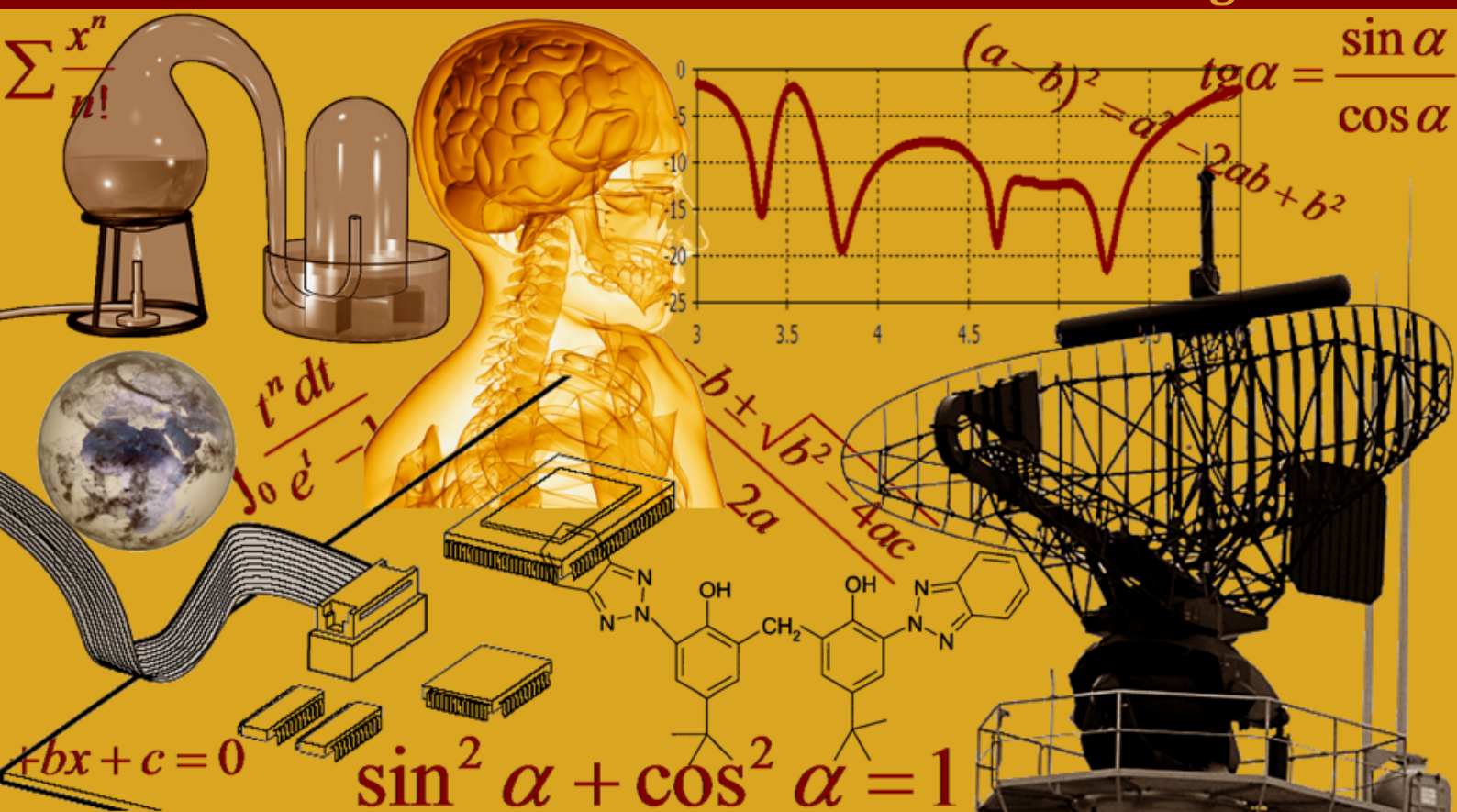


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 26 N. 1 August 2016



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Scientific Research

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

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

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

Table of Contents

Object-Oriented Programming and its Concepts	1-6
Assessment of accessibility and utilization of public health services by elderly slum dwellers in Jaipur city	7-13
Chemical characterization of <i>Cliona viridis</i> : Sponge of Atlantic Moroccan Coast	14-22
Abundance, distribution pattern and potential suitable habitat of <i>Sterculia setigera</i> Del. in Togo (West Africa)	23-38
Effet de la résistance génétique à la cécidomyie sur la composition et la variabilité allélique des sous unités gluténines chez le blé dur	39-46
Low Carbon Logistics, Green Logistics & Sustainable Logistics: Establishing Concepts and Scope	47-64
Implementation Practices of Public Procurement Plans and Policies in Bitung City of North Sulawesi Province Indonesia	65-74
DETERMINING THE CENTERS OF ECONOMIC GROWTH AND REGIONAL DEVELOPMENT USING SCALOGRAM ANALYSIS: An Empirical Study In West Halmahera Regency, Indonesia	75-82
Production des plants de Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>) sur substrats de culture à base de parche de café à différents gradients de désinfection dans une pépinière maraîchère hors sol au Gabon	83-94
Fractures of Children aged 0 to 5 years at the University Hospital Aristide Le Dantec in Dakar: Epidemiological study	95-99
L'hydrocèle par persistance du canal péritonéovaginal à Dakar: A propos de 117 cas	100-104
Using of Automatic Slice-based Adjustment of Golem Voxel Phantom for Developing of Sudanese Voxel Phantom	105-116
Effet des engrais chimiques sur les caractères agronomiques des variétés de cacaoyers dans la région de Daloa (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire)	117-124
EAU, HYGIENE ET ASSAINISSEMENT DANS LA COMMUNE D'ALLADA AU BENIN	125-134
Application of Business Intelligence in the Financial Services Industry	135-145
Etude ethnobotanique et floristique de quelques plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal dans le secteur de Bakumu-Mangongo (Territoire d'Ubundu, Province de la Tshopo, RD Congo)	146-160
Biodiversité des rongeurs et musaraignes de la forêt de Yasikia (Opala, République Démocratique du Congo)	161-168
Evaluation du processus d'ingénierie de formation: Cas des encaisseurs de l'ONEP	169-181
Pression de chasse sur <i>Petrodromus tetradactylus tordayi</i> (Thomas, 1910 : Mammalia) dans six villages des environnants de la Réserve Forestière de Yoko (Province de la Tshopo, RD Congo)	182-189
Contribution à la connaissance des produits forestiers non ligneux de la Municipalité d'Ambuila (Uíge, Angola): Les plantes sauvages comestibles	190-204
Etude anthracologique et élucidation de l'origine de perturbations des forêts de la réserve forestière de Yoko et ses environs (Province de la Tshopo, RD Congo)	205-217
MIGRATION THE APPLICATIONS TO CLOUD COMPUTING	218-227
ISOLEMENT DU JUS DE PRESSE DE CANNE À SUCRE D'UNE SOUCHE DE <i>CANDIDA</i> SP THERMOPHILE ET PRODUCTRICE DE FRUCTOFURANOSIDASE	228-235
Temperature fluctuations at interannual and decennial timescales on the eastern mountainous region in Democratic Republic of the Congo from period of 1940 to 1997	236-254
Adénosarcome utérin: étude de 5 cas	255-259
Rôle de la Calcium-ATPase de la Membrane Plasmique dans l'Homéostasie Calcique dans les îlots Pancréatiques de Rat	260-267
Contribution de la Calcium-ATPase de la Membrane Plasmique dans la Sécrétion d'Insuline dans les îlots Pancréatiques de Rat	268-279
Amélioration de la qualité de la pomme par l'usage des engrais foliaires: Impact économique sur les revenus de l'agriculteur	280-290
Socioeconomic perception and knowledge of the consumption of Ablo, a cereal food fermented of Benin	291-298
EPURATION DES EAUX USEES PAR LAGUNAGE A MICROPHYTES EN AFRIQUE TROPICALE: CAS DE LA	299-319

STATION DE TRAITEMENT DE ZONGO-ZENON A PARAKOU (NORD-BENIN)	
MODELISATION PHYSIQUE ET MATHEMATIQUE DE L'ECOULEMENT SANGUIN DANS L'ANEVRISME DE L'AORTE ABDOMINALE	320-330
Présence de <i>Hyalomma truncatum</i> une nouvelle espèce de tique dans la plaine de la Ruzizi, Est de la République Démocratique du Congo par l'importation des races améliorées des bovins de la Tanzanie et du Burundi	331-340
Elévation des transaminases et facteurs associés chez les personnes vivant avec le VIH -SIDA (PVVIH) au Centre de Traitement Ambulatoire de la PHARMAKINA - BUKAVU (CTA)	341-346
Energy-Efficient Link-aware PSO-Based Clustering Algorithm in Wireless Sensor Networks (WSNs)	347-354
Stress tolerance indexes of Maize (<i>Zea mays</i> L.) grown in the southwestern savannah in the Democratic Republic of Congo	355-360

Object-Oriented Programming and its Concepts

Ashwin Urdhwarshie

Department of Technology Management,
University of Bridgeport,
Bridgeport, CT 06604, USA

Copyright © 2016 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: Object Oriented Programming (OOP) utilizes an alternate arrangement of programming language than old procedural programming dialects (C, Pascal, and so forth.). It is a methodology which is essentially centered on the way objects collaborate to convey and share the data. It changed the utilization of procedural oriented programming, where the attention was on the methodology of execution. The object oriented methodology brought another way, giving more significance to the items. There are four basic concepts which are to be emphasized. The first concept is that of an Object. It is the basic building block of any programming language. It represents the way you can describe anything in the programming world. The next is Class; a class in OOP is the principle body of any system. The classes frame the fundamental improvement unit of any system. Third factor is Inheritance, where we can create a new class known as derived class from the parent base class. This helps in reducing the time for coding and the derived class is error free. The last factor is Polymorphism, which means the capacity to ask for that the same operations be performed by an extensive variety of diverse sorts of things.

KEYWORDS: OOP, Object, Class, Inheritance, Polymorphism.

1 INTRODUCTION

Object-oriented programming (OOP) is a programming language that has been designed around objects rather than "procedures" and actual information rather than programming logic. Basically, a program is a set of executable methods which takes data as input, does the processing, and then gives the desired result. The actual effort or the foundation of programming was focused on the way of writing the logic rather than the definition of the data. It was Object-Oriented Programming that mainly laid emphasis that the objects in the programming paradigm are the one that should be altered according to our need and usage; and not the logic required behind its manipulation.

1.1 OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING DEFINITION

Object oriented programming is an approach which is mainly focused on the way object interacts to communicate and share the information. It altered the usage of traditional procedural oriented programming, where the focus was on the procedure of execution. The object oriented approach brought a new path, giving more importance to the objects [1]. Object oriented programs are strictly type checked and flexible outlined, modifications on one object have no impact on the other related objects, which is one of the most important features in OOP [2]. Finding easy solutions to the programming problems is the first approach of any code. It also provides a new way to divide the problem and give proper programmable solutions [3]. The impact change that OOP has brought up is very unique and has various diverse aspects of programming [4]. This has been a recent technology which has replaced the usage of the traditional structural programming language [5]. The concepts used are for systemizing and implementing the simulation tools in the programming language [6].

1.2 IMPACT OF OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING ON SOFTWARE DEVELOPMENT

Object Oriented Programming is a transformative advancement in programming building. The establishments for some object-oriented languages were built up by many years of software development knowledge which lead to the motivation of creation of elements, for example, closed methods, modules and hidden data [7]. OOP deals with the minimum of three software engineering goals; namely reusability, extensibility and flexibility.

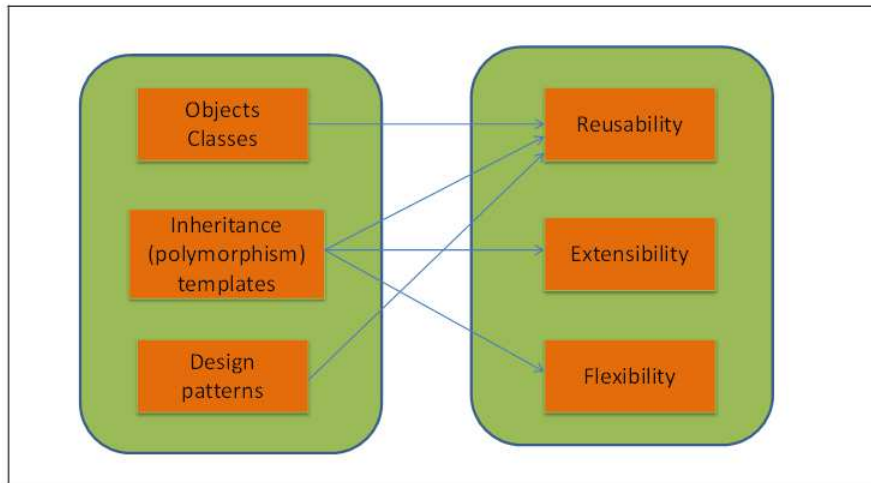


Fig. 1. Software Engineering Goals

Fig. 1 shows the goals of software engineering which are dependent on the OOP concepts.

Reusability is very beneficial in two ways for any developer. Firstly, the time for producing a code is reduced; once developed it becomes easy and efficient to reuse it many times. Secondly, the reliability of the code increases as we are using the previously existing code for our development. Extensibility can be related to the concept of inheritance in OOP. The attribute or behavior that is set for the base class will be extended to its derived class automatically and hence the same attribute can be used to refer the derived class variables. OOP is very flexible in terms of software development. Its flexibility can be understood by polymorphism, where we can add more variations and do modifications using the same function name but with different variables [7].

1.3 BENEFITS OF OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING OVER PROCEDURAL ORIENTED PROGRAMMING

The programming language that uses various high end languages like COBOL, C etc is popularly known as Procedural Oriented Programming language or POP. In this language the main emphasis is on what procedure is followed for the program execution [8]. Also, which function is used is important. It includes number of steps or procedures that the system must follow and also it organizes these procedures into several groups known as functions. The functions created in the program share the global data and these functions transfer data from one to another. It focuses on following top-down approach of design.

Object-Oriented Programming is more realistic and is very popular among the developers. It tries to develop programs more likely modeled in a way the users imagine and work along [9]. There are many benefits of Object-Oriented Programming language over the traditional Procedural Oriented Programming. Firstly, with the advent of inheritance we can avoid the redundancy in our code and can increase the extensibility factor of our class, which was not possible while implementing Procedural Oriented Programming. Secondly, by implementing the concept of data hiding, the programmer can develop secure programmable code which cannot be altered in other parts of program. With the option of having many forms of objects to work together, there is no hindrance of one object on other. The understanding of the software becomes much easy while dealing with OOP. For communication and transfer of information, the objects interact with each other, which was difficult in POP [8].

2 RESEARCH METHOD

Motivation behind the research was to understand the impact of Object- Oriented Programming and its concepts on the programming world. The Research Method used a review centric approach which was done on the articles and journals from the IEEE database and Google Scholar. In- depth research was done on the impacts which object oriented programming has done in the programming paradigm. The University of Bridgeport Library was a source to find out various journals and articles on OOP and its various concepts. The practical implementation was carried out of the concepts of OOP in the programs which showed the importance of OOP.

3 OOP AND INDEPENDENT FACTORS MODEL

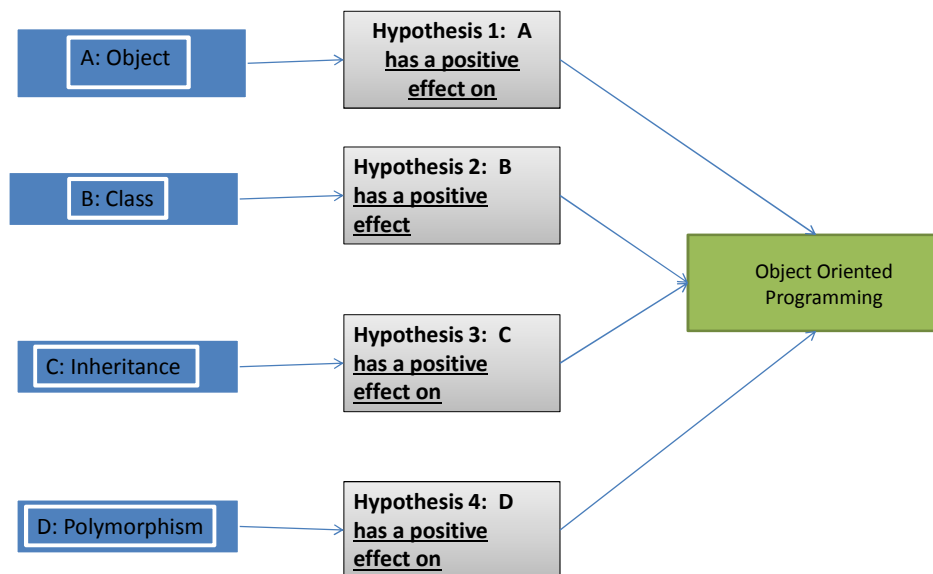


Fig. 2. OOP and Independent factor model

3.1 THE IMPORTANCE OF OOP

The most important aspect in programming is the formation of network. The emergence of Object-Oriented Programming increased drastically with the advent of the Internet for business sector. In spite of being used by almost everyone since 1960, it was not surprising that it would be so famous and adapted by majority after the invention of Internet [10]. Also, the concepts of OOP play a very vital role in programming language. OOP provides good design patterns which are basically a figurative model of the design of object; called class. It gives references for the user to create new objects and is very user friendly. It also gives us an option of sharing the code, which is called as inheritance where the old methods can be reused into new class. By giving prior error handling method, it gives user to recheck the code and compile the run-time errors with the use of exception handling [11].

3.2 FACTOR1: OBJECT

For any web application or a program to come into existence, the basic requirement is the way to code that program. The outline of any program has to be done prior developing it. For developing any program, there is necessity of an object in OOP [12]. They act as mediator between the program and the methods which are added with it. Also, privacy is the most important thing in any application or program development hence, objects contain private data as we do not want any hacker or unauthorized person to gain access to our data [13]. Only a few authorized users can access the data through certain operations. Object is anything that exists and has some value [14]. Suppose a person has his name, age and gender:

the person will then act as an object and the rest would be related attributes. The concept of private data and operations on that particular set of objects is very essential to understand [15]. For communication between different sets of objects, a particular rule is followed, which, is mandatory [16]. The contents within the objects are secure, and the structure and content in object is very necessary for users [17].

3.3 FACTOR2: CLASS

A class in OOP is the main body of any program. All the methods and its definitions are presented inside the class. Classes form the basic development unit of any program [18]. Every class contains objects inside it which are executable. It is a collection of distinct objects with which information can be shared [19]. Class features the data definition, i.e. the way data has been defined with the attributes and respective methods. Classes use attributes and functions to operate the given data [20]. The classes contain certain functions for its operation which are used for the user-defined functionality [21]. Hierarchical definition of class gives us a clear idea of which class has the priority to execute and function and the class follows a proper order of execution [22]. Class is the key element in software monitoring and implementing the concepts of OOP [23].

3.4 FACTOR3: INHERITANCE

Inheritance gives any user the provision to utilize the same code in his program just by changing the definition of its variables [24]. The process of deriving a whole new class from the base class has various advantages: the execution time would get reduced, the possibilities of errors will be less as we are using the same attributes which have been compiled by the system and, they are error free [25]. With the help of the existing class, we can create a new class using same functions [26]. The existing class will be used as a reference class for the derived class. To organize our grammar or language in a systematic way in the program, we must use inheritance. The reusability of the same grammar in the new sub-class would reduce execution and compilation time [27]. Reusing the attributes, methods make the task of programming easy and the reusability of the code from our existing class to our new derived class is very feasible for the users [28]. By making the use of inheritance, we save the execution time and the programming complexity. Inheritance has "is-a" relationship with the derived classes, which gives us a clear picture of the classes will look and their proper definition is represented while following this relationship technique [29].

3.5 FACTOR4: POLYMORPHISM

The fast execution of any process or program is the main motivation behind the programmer's logic. There are many aspects to think upon when coding is done for any program, for example, the programs logic, the scope, the semantics of the program. One does not want to put his time and efforts in giving each variable or an object a specific individual meaning and definition; hence the concept of polymorphism was introduced. Polymorphism gives the way to represent variables as a group or a common way to represent the variables [30]. The code usage gives the programmer to utilize the time and get fast results [31]. We could define only one singular code for many different types of variables to perform the action of execution quickly. By allowing common functions to work for various objects we avoid the complexity and bind objects together [32]. Binding of objects makes the task of giving definition easy, which is very necessary if we have to write long codes for programs [33]. By giving access to users on defining their objects limits to certain classes, the user gets the leverage to use the same object at different positions with different functions [34]. It joins the derived classes together which gives us a clear picture of what polymorphism and its importance in OOP [35].

4 CONCLUSION

The research now has proven the importance and the impact that Object-Oriented Programming has in today's programming environment. Also it has shown a very drastic change in the nature of programming by the advent of Object-Oriented Approach. The elements of OOP play a very important role in the development of the language and give broad options to the users while developing in the programming environment. Object, which is a crucial part of OOP, is the basis for representing of any information. Class; a blueprint or prototype is essential for the structure of the program. Every function and method resides inside the class definition. Inheritance, which gave the concept of reusability of the code, makes the programming easy and time efficient. Hence concluding, OOP plays a vital role and its usage is being increasing in every programming module.

ACKNOWLEDGMENT

I would like to thank Professor Christian Bach for his valuable guidance and support in this research.

REFERENCES

- [1] Laimek, R. and W. Pawgasame. Internal ballistics simulation based on object oriented programming. in Defence Technology (ACDT), 2015 Asian Conference on. 2015.
- [2] Neyer, A., F.F. Wu, and K. Imhof, Object-oriented programming for flexible software: example of a load flow. Power Systems, IEEE Transactions on, 1990. 5(3): p. 689-696.
- [3] Longshu, L. and X. Yi. The teaching research on a case of object-oriented programming. in Computer Science and Education (ICCSE), 2010 5th International Conference on. 2010.
- [4] Dewar, R. and F. Gasperoni. Safety and OOP. in System Safety, 2006. The 1st Institution of Engineering and Technology International Conference on. 2006.
- [5] Lei, Z. Study on comparison of AOP and OOP. in Computer Science and Service System (CSSS), 2011 International Conference on. 2011.
- [6] de Lima, C.H.M., et al. A software development framework based on C++ OOP language for link-level simulation tools. in Telecommunications Symposium, 2006 International. 2006.
- [7] kafura. Object-Oriented Programming and Software Engineering. 1996
Available from: <http://people.cs.vt.edu/kafura/cs2704/oop.swe.html>.
- [8] Procedure Oriented Programming(POP) vs Object Oriented Programming(OOP). 2011.
- [9] Pillay, A., Object Oriented Programming using Java. 2007.
- [10] Weisfeld, M. The Importance of Object-Oriented Programming in the Era of Mobile Development. 2013; Available from: <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2036576>.
- [11] Course, B.J.E., Object-oriented concepts, 2010.
- [12] Reyna, A.M., et al. Object-oriented programming as an alternative to industrial control. in Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE), 2012 9th International Conference on. 2012.
- [13] D'Andrea, R.J. and R.G. Gowda. Object-oriented programming: concepts and languages. in Aerospace and Electronics Conference, 1990. NAECON 1990., Proceedings of the IEEE 1990 National. 1990.
- [14] Zimmerman, M.L. and P. Mallasch. Using object-oriented programming in computational electromagnetic codes. in Antennas and Propagation Society International Symposium, 1995. AP-S. Digest. 1995.
- [15] Marchesi, M., G. Orlandi, and F. Piazza. Network synthesis using object-oriented programming. in Electrotechnical Conference, 1989. Proceedings. 'Integrating Research, Industry and Education in Energy and Communication Engineering', MELECON '89., Mediterranean. 1989.
- [16] Khan, E.H., M. Al-A'ali, and M.R. Girgis, Object-oriented programming for structured procedural programmers. Computer, 1995. 28(10): p. 48-57.
- [17] Breen, D.E., P.H. Getto, and A.A. Apodaca. An object-oriented programming methodology for a conventional programming environment. in Software Engineering, 1988 Software Engineering 88., Second IEE/BCS Conference.: 1988.
- [18] Heung Seok, C. and K. Yong Rae. A cohesion measure for classes in object-oriented systems. in Software Metrics Symposium, 1998. Metrics 1998. Proceedings. Fifth International. 1998.
- [19] Omar, N. and N.A. Razik. Determining the basic elements of object oriented programming using natural language processing. in Information Technology, 2008. ITSIM 2008. International Symposium on. 2008.
- [20] Seban, R.R. An overview of object-oriented design and C++. in Aerospace Applications Conference, 1994. Proceedings., 1994 IEEE. 1994.
- [21] Maney, H.D. An object-oriented synthetic aperture radar processor implemented using C++ classes. in Aerospace and Electronics Conference, 1994. NAECON 1994., Proceedings of the IEEE 1994 National. 1994.
- [22] McIntyre, S.C. and L.F. Higgins, Object-oriented Systems Analysis and Design: Methodology and Application. Journal of Management Information Systems, 1988. 5(1): p. 25-35.
- [23] Butler, S., et al. Mining java class naming conventions. in Software Maintenance (ICSM), 2011 27th IEEE International Conference on. 2011.
- [24] Vedpal, N. Chauhan, and H. Kumar. A hierarchical test case prioritization technique for object oriented software. in Contemporary Computing and Informatics (IC3I), 2014 International Conference on. 2014.
- [25] Makkar, G., J.K. Chhabra, and R.K. Challa. Object oriented inheritance metric-reusability perspective. in Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET), 2012 International Conference on. 2012.

- [26] Pole, T. A case study in the use of multiple inheritance in designing a library of reusable software components. in Southeastcon '91., IEEE Proceedings of. 1991.
- [27] Mernik, M., et al. The template and multiple inheritance approach into attribute grammars. in Computer Languages, 1998. Proceedings. 1998 International Conference on. 1998.
- [28] Rathore, N.P.S. and R. Gupta. A novel coupling metrics measure difference between inheritance and interface to find better OOP paradigm using C#. in Information and Communication Technologies (WICT), 2011 World Congress on. 2011.
- [29] Krishnapriya, V. and K. Ramar. Exploring the Difference Between Object Oriented Class Inheritance and Interfaces Using Coupling Measures. in Advances in Computer Engineering (ACE), 2010 International Conference on. 2010.
- [30] Milojkovic, N., et al. Polymorphism in the Spotlight: Studying Its Prevalence in Java and Smalltalk. in Program Comprehension (ICPC), 2015 IEEE 23rd International Conference on. 2015.
- [31] Tan, Y., C. Yau, and A. Fong. Architectural Support on Object-Oriented Programming in a JAVA Processor. in Application-specific Systems, Architectures and Processors, 2006. ASAP '06. International Conference on. 2006.
- [32] Bor-Yuan, T., S. Stobart, and N. Parrington. Using extended general statecharts to generate test cases for overloaded/polymorphic object-oriented programs: a case study. in Technology of Object-Oriented Languages, 1997. TOOLS 24. Proceedings. 1997.
- [33] Rountev, A. and A. Milanova. Fragment class analysis for testing of polymorphism in Java software. in Software Engineering, 2003. Proceedings. 25th International Conference on. 2003.
- [34] Mannino, M.V., I.J. Choi, and D.S. Batory. An overview of the Object-Oriented Functional Data Language. in Data Engineering, 1989. Proceedings. Fifth International Conference on. 1989.
- [35] Hang, Z., H. Zhiqui, and Z. Yi. Polymorphism Sequence Diagrams Test Data Automatic Generation Based on OCL. in Young Computer Scientists, 2008. ICYCS 2008. The 9th International Conference for. 2008.

Assessment of accessibility and utilization of public health services by elderly slum dwellers in Jaipur city

Sanjaya Saxena¹ and Mamta Chauhan²

¹Registrar, State Institute of Health and Family Welfare, Rajasthan, Jaipur, India

²Associate Professor, State Institute of Health and Family Welfare, Rajasthan, Jaipur, India

Copyright © 2016 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: *Background:* Access to public health care may be restricted for old slum dwellers due to many reasons pertaining to health care system itself and socio economic conditions in slums objective. This study of elderly slum dwellers attempts to find out these factors affecting accessibility of public health services with an aim to propose measures for better service delivery to the poor elderly population in the slum. *Methodology:* 125 elderly aged 60 and above were randomly selected from Jawahar Nagar Urban slum of Jaipur, Rajasthan. Structured interview schedules were developed, field tested and used to interview elderly slum dwellers. *Result:* Out of 125 elderly people, 73.6% respondents were in the age group of 60-70, with 56.8% women and 43.2 % men. 78.4% elderly people were illiterate and just 0.8% had studied up to 12th standard. 56% elderly population was dependent on others as they did not have any source of income. 12.8% were living alone and 44% were living with their children. 33.3 % think overall public health services are affordable to them, whereas despite highly subsidized cost of care 40% found it not affordable. The allopathic system of treatment is acceptable to the elderly slum dwellers. According to 40.8% elderly, the quality of services is better in private sector >for minor illnesses the facility of choice is nearby dispensary and reason is short distance. The facility of choice during serious illnesses and emergencies is a private hospital and reason is that there is no better care available nearby. 78.26 % elderly were aware about the free treatment facility available at Government health centres but unaware elderly have not accessed any public health facility. 77.6% elderly didn't have free health care card mostly due to unawareness. Other barriers were Behaviour of service providers (88.3%), Distance from Home (64.7%), Transport Facility (82.4%), Amenities at health facility (88.3%), and convenience for attendants (88.3%). *Conclusions:* Though the elderly people of the slum agreed the cost of care and effectiveness is better at public health care facilities but their accessibility to public health care is restricted mostly because of long waiting time and behaviour of health care providers. There is lack of sensitization among health care providers regarding needs of old persons.

KEYWORDS: elderly, slum dwellers, Public Health Facility, Private Health Facility.

INTRODUCTION

Being old in age is not merely increasing in age but also exposing to various difficulties in terms of social, economic and biological conditions which may put the elderly in to a vulnerable situation. Though the aged person is depleted in energy, mobility and earnings yet, he or she is rich in one valuable resource which, one can only possess with ageing that is experience. The elderly are often left neglected due to the decrease in their productivity which leads them to a life that is not comfortable and full of socio-psychological inconveniences. Probably this phenomenon has led the government to take cognizance of the situation of elderly and frame a policy for them. Thus NPOP (National Policy for Old People) came in to existence in 1999 which was a step taken in to the direction of improving lives of elderly.¹

The well-being of senior citizens (old age as defined by WHO is-Population aged 60 years² and above) is mandate in the constitution of India under Article 41-“ the state shall ,within the limits of its economic capacity and development ,make effective provision for securing the right to public assistance in cases of old age “.³

India is in a phase of demographic transition. There has been a sharp increase in the number of elderly persons between 1991-2001. It has been projected that by the year 2015, the number of elderly people would rise to about 324 million. India has thus acquired the label of an aging nation. The elderly as per the 2001 census were 7,66,22,321 i.e. 7.5 % of total population; out of which males were 37,76,8,327 i.e. 7.1 % of total population and aged females were 38,85,3,994 i.e. 7.8% of total population.⁴ One of the main social effects of extension of life in later years is extended period of widowhood for women (Ingle GK, Nath A).⁵

Over the past decades, India's health program and policies have been focusing on issues like population stabilization, maternal and child health and disease control. However, the current statistics for the elderly in India gives a prelude to a new set of medical, social and economic problems that could arise if a timely initiative in this direction is not taken by the program managers and policy makers (Ingle GK, Nath A).⁵ A major proportion of the elderly were out of the work force, partially or totally dependent on others and suffered from range of health related problems. There is growing need for good quality geriatric health care services at the primary level and it should be based on the “felt Needs”. (Pandve, Harshal.T and Poonam Deshmukh)⁶.

There are studies highlighting various medical problems of elderly population. However, there is a need to highlight the socio-economic problems faced by the elderly population in urban slums for planning a strategy to improve the health and meet the health needs of the elderly population for better quality of life. Thus it is imperative to study the accessibility as well as utilization of the health services by the elderly, so as to come out with appropriate recommendation to meet the health needs based on evidences.

Moreover, no such study was conducted in Rajasthan elaborating the health care needs of the elderly slum dwellers and in order to plan interventions to improve access of health services for elderly slum dwellers, we need to know factors that promote/hamper the accessibility of services.

METHODOLOGY

STUDY DESIGN

A Descriptive Cross Sectional study was conducted from 2011-12 in slum area of Jawahar Nagar, Jaipur Rajasthan.

STUDY AREA

Jawahar Nagar Urban slum (JNUs) Jaipur-city.

STUDY POPULATION

There were around 65000 slum dwellers in Jawahar Nagar Urban Slum of which 7.5% are in age group of 69 and above. So there should be around 4875 old people. However 80% families were nuclear thus the older population in JNUS is around 975 approximately.

SAMPLING SIZE AND TECHNIQUE

There are 7 sectors in Jawahar Nagar Urban slum. Out of these 7 sites approximately 15-16 elderly from each site were selected (total 125) using a method similar to snowball technique with help of local social worker.

DATA COLLECTION

Data collection was done through using a pre tested interview schedule and was done during April-May 2012.

TOOLS

Interview schedules.
Semi-structured interview schedules.

RESULTS

Majority of the respondents i.e. 73.6%, were in the age group of 60-70 followed by the age group of 71-80 with 20.8%. Only 1.6% of the respondents were in the age group of 91-100. Females outnumbered males with 56.8% as compared to males with only 43.2%. All respondents were married, however 28.8% of women were widow (51% of total women respondents).

It was found that 78.4% of the respondents were illiterate and 12.0% have done school education up to primary level whereas just 0.8% have done up to senior secondary level. So far as the occupation of the elderly slum population is concerned, it was found that majority of them, about 54.4%, were dependent on others as they have 'no work' for them followed by 21.6% daily labourers. Only 8.0% were retired government employees. Also 4.8% of respondents were found to be beggars.

ACCESSIBILITY OF HEALTH SERVICES

AVAILABILITY

Public health facilities were not very far from the slum area (Table-1). The dispensary and satellite hospital are 1.0 to 2.5 Km from different slum sectors. The medical college hospital (SMS hospital) is 3.5 Km from the slum. The time taken to reach at dispensary and satellite hospital varies from 10 to 20 minutes by foot and 3-6 minutes by vehicle. Similarly, time taken to reach SMS Hospital varies from 30-40 minutes by foot and 10-13 minutes by vehicle. Number of Doctors available in these facilities varies from 2 at dispensary to a maximum of 400 at SMS hospital. During peak season, patients attending monthly OPD also vary from 1800 at dispensary to 180000 at SMS hospital.

Table 1: Availability of Public Health Facilities Near Jawahar Nagar Slum

Facility type	Available quantity	Availability of doctors (Approx.)	Peak monthly OPD (Approx.)	Distance from slum (Approx.)	Time taken to reach (Approx.)
Dispensary	1	1 + 1 at MCWC	1800-2000	1.0 to 2.5 Km	10-20 mnts by foot 3-6 mnts by vehicle
Satellite hospital	1	20	20000-22000	1.0 to 2.5 Km	10-20 mnts by foot 3-6 mnts by vehicle
SMS Medical college hospital	1	400	120000-130000	3.5 Km	30-40 mnts by foot 10-13 mnts by vehicle

All the services at public health facilities are universally available for all without any discrimination on the basis of caste, class, religion, race, age or sex.

AFFORDABILITY

At all the public sector medical services are free of any costs for certain categories of people and for poor. The cost of OPD registration is Rs. 5, and Rs. 15 for Indoor registration, which is very high in private sector ranging from 20 to 200 for OPD registration and 200 to 2000 thousand per day for IPD facility. The cost of Diagnostic tests is also less in public sector facilities than that in private sector. There is almost no difference in costs of various services among public health facilities.

Figure 1 shows the data of elderly slum dwellers, who suffered major illnesses, that 33.3% think overall public health services are affordable for them, whereas despite highly subsidized cost of care, 40% found it not affordable. Similarly, only 17.6% elderly found private health care services affordable and 76.5% found them not affordable.

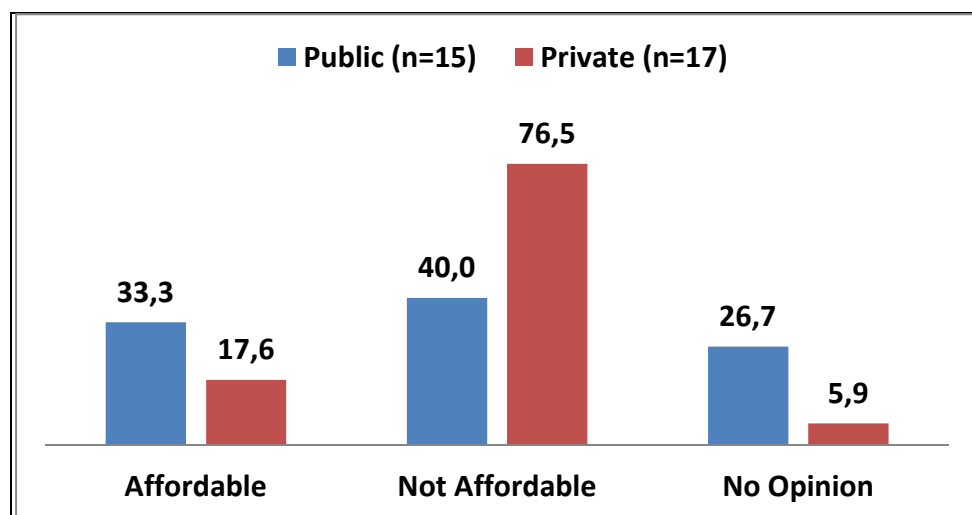


Fig. 1. Percent of Elderly Slum Dwellers According to Affordable Health Services

ACCEPTABILITY

Figure 2 shows multiple responses (hence total percentage is not equal to 100) given by the elderly slum dwellers. It was found that 97.39% elderly take allopathic treatment. This shows that the allopathic system of treatment is acceptable to the elderly slum dwellers which is the system followed at public health facilities.

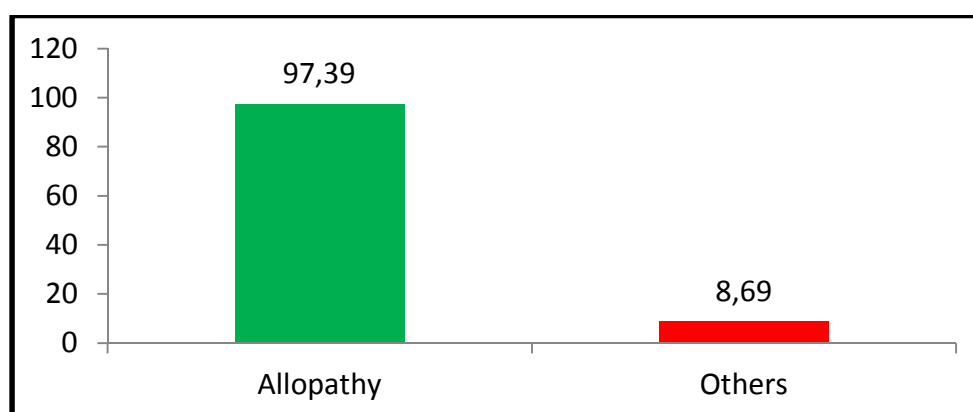
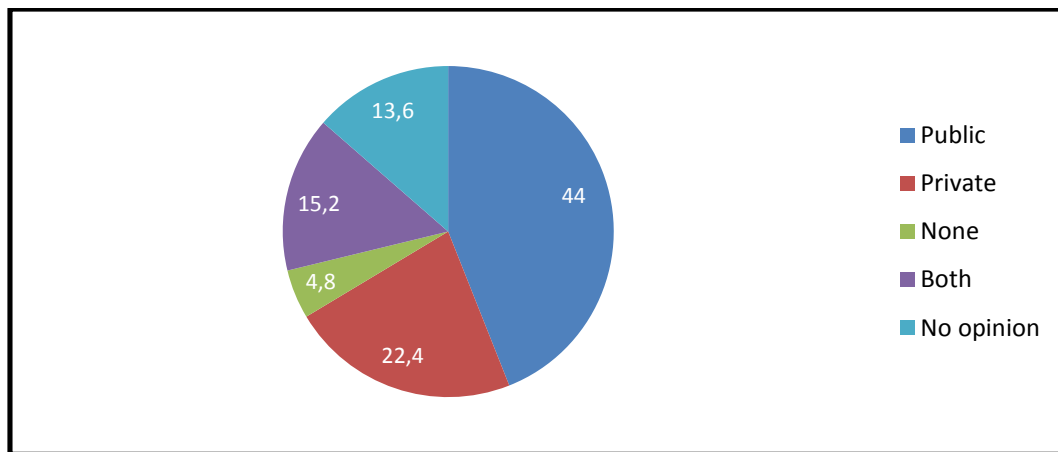


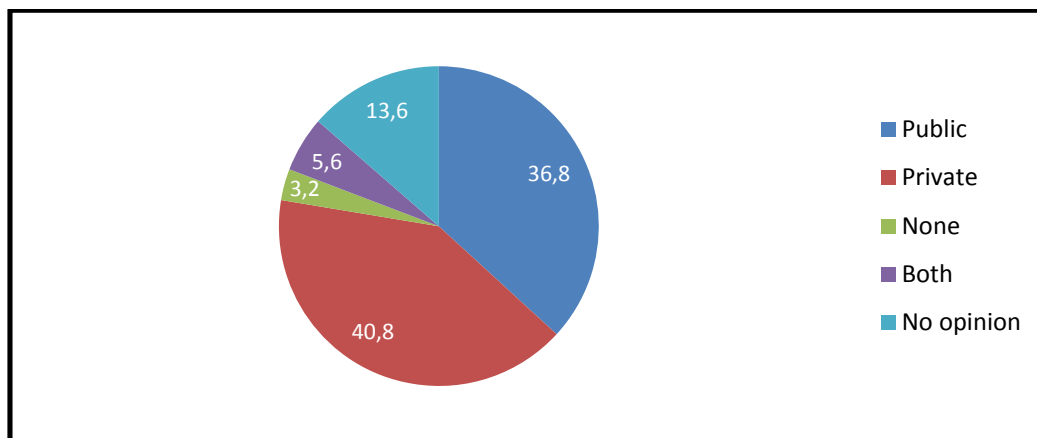
Fig. 2. Percentage of Elderly Slum Dwellers Accepting Allopathic System of Health Care (n=115)

QUALITY AND APPROPRIATENESS

The elderly have expressed their opinion about the quality and appropriateness (effectiveness) of health care services in public sector (Fig 3 and 4). According to 40.8% elderly, the quality of services is better in private sector whereas 36.8% rate the quality of public sector health care services as good. As far as the appropriateness of treatment is considered, 44.0% find the treatment appropriate in public sector hospitals and 22.4% say that private sector hospitals also provide effective treatment.



**Fig. 3. Percent of Elderly Slum Dwellers
According to Opinion about Appropriate Treatment (n=125)**



**Fig. 4. Percent of Elderly Slum Dwellers
According to Opinion about Quality of Services (n=125)**

Table 2 shows that the reasons for choosing particular hospital by the elderly who have suffered serious illness in the last 12 months for treatment.

**Table 3.12. Reasons for Choosing Particular
Health Facility by Elderly Slum Dwellers for Serious Illness (n=32)**

Reason for choosing health facility	Private (n=17)	Public (n=15)
Short distance	–	6.7
Referred by earlier doctor	11.8	20
Services are free/affordable	5.9	33.3
No better care available nearby	29.4	13.3
Was not cured at previous hospital	11.8	–
Good response of health care provider	5.9	–
Less waiting time	5.9	–
Suggested by friends/relatives	17.6	13.3
Empanelled for govt./other schemes	–	13.3
Convenient for family members	11.8	6.7
Total	100	100

It is obvious from table 2 that role of friends, relatives and family members is important in decisions of the elderly regarding visiting a particular health facility.

Below in the figure 3.21, given is the response of 17 private facility users for major illness that what barriers they see that they did not go to the public health facility.

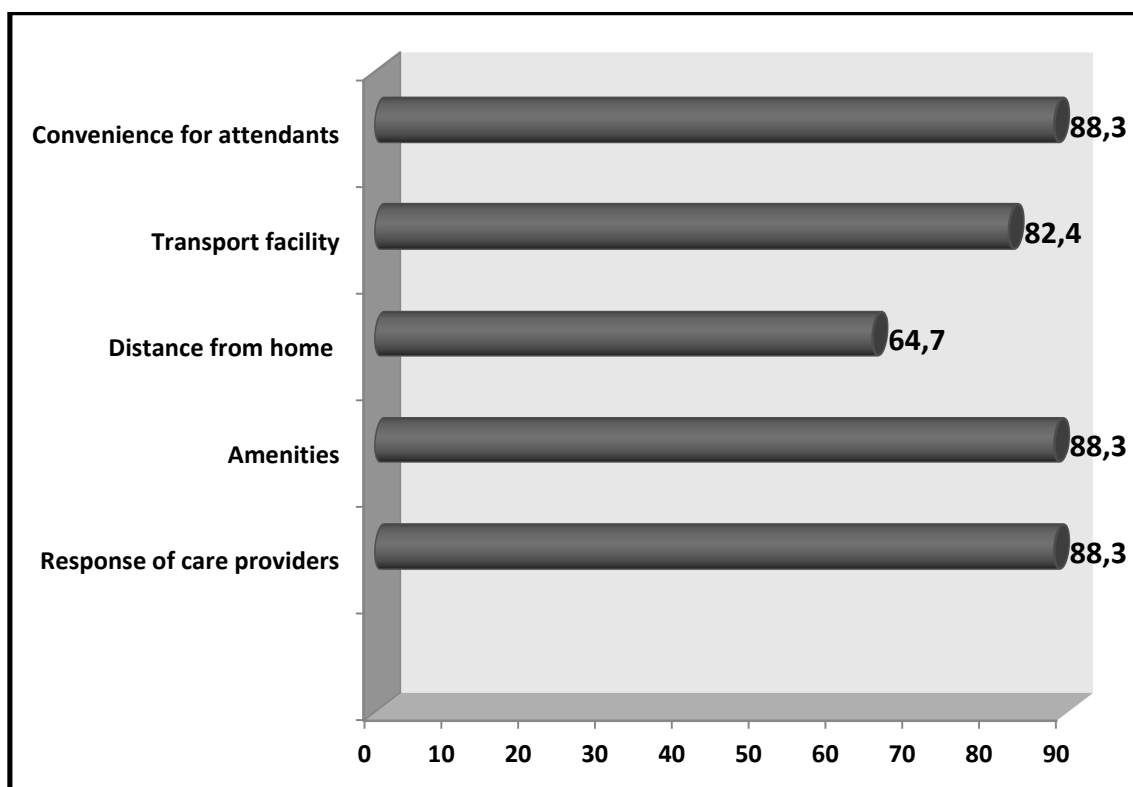


Fig. 5. Barriers of Public Health Care Accessibility

The barriers in accessibility of public health facility were assigned following weights by the elderly-

- a) Behavior of service providers88.3%
- b) Distance from home.....64.7%
- c) Transport facility.....82.4%
- d) Amenities at the health facility.....88.3%
- e) Convenience for attendants.....88.3%

DISCUSSIONS

Thus, from all above findings, it may be deduced that services at public health facilities are universally available for all without any discrimination on the basis of caste, class, religion, race, age or sex. The allopathic system of treatment is acceptable to the slum dwellers. 92% of the elderly seek treatment when they fall ill. Out of those who never took treatment, 20% could not take treatment due to financial constraint. About 10% did not know where to go for treatment. 10% hide illness so as not to bother others.

87% respondents out of 115 aware of the govt. health facilities, have utilized the government health services. Though the distance of public health facility is not a grave matter in the study area as they are all nearby and distance is fixed for them but it does matter when comparison is made with the private health facilities as they are many and some of them are almost at doorsteps so there is a choice of distance to be covered.

The facility of choice for individual elderly slum dweller in minor illness and in emergency is mostly a private health facility and for serious illness it is a public health facility. Majority of elderly who visited public and private health facility for serious illnesses, found them not affordable.

The elderly found quality of services better in private sector but more effective in public sector facilities. Majority of elderly are dependent on their family members for their accessibility to health care. The utilization of public health facilities is less than private facilities. Despite enough willingness to go to public health facility, there are certain barriers like Dependency of elderly on family members that hinder the accessibility of public health care facility by elderly slum dwellers. Poorest of the poor (No income groups) have restricted access to public health facilities.

CONCLUSION

Though people agreed that cost of care and effectiveness is better at public health care facilities but their accessibility to public health care is restricted mostly because of long waiting time and behavior of health care providers. There is lack of sensitization among health care providers regarding needs of the old persons as only 24 doctors have been trained in geriatric care and private practice by doctors is also a barrier due to which doctors do not distinguish between poor and rich.

The role of 'Significant Others' was identified as a confounding factor in influencing choice of a health care facility made by elderly slum dwellers.

Private facilities have been graded above the public facilities by the slum dwellers in many aspects yet despite many odds the cost of care and effectiveness of treatment is considered much better at public health facilities, in the opinion of the elderly slum dwellers.

Moreover, the accessibility is hampered on all the parameters viz.; availability, cost, timeliness, ease of access, behavior of service provider, and coverage through insurance or beneficiary schemes and it is also affected by the dependency of elderly on family members and influenced by their convenience.

RECOMMENDATIONS

It is neither non-availability nor non-affordability rather non-elderly friendliness is the hindrance in utilization of public health care services. Thus to make public health facilities more elderly friendly, following may be recommended - Exclusive geriatric care hospital, sensitization of health care providers, to and fro free transport facility, improve awareness about free drugs and other health care schemes and a 24 hour geriatric helpline are main recommendations at intervention level for department of health. Besides welfare interventions like BPL card, old age pension, widow pension for all eligible slum dwellers and some vocation for elderly are also recommended.

REFERENCES

- [1] National Policy for Senior Citizens (2011), socialjustice.nic.in/pdf/dnpsc.pdf
- [2] World population Ageing: 1950-2050; Department of Economic and Social affairs, Population Division, United Nations. New York.2002.
- [3] The constitution of India. www.legalserviceindia.com/constitution/const_india.htm
- [4] Central Statistics Office, 2011, 'Situation Analysis of the Elderly in India', New Delhi: Ministry of Statistics & Programme Implementation, Govt. of India.
- [5] Ingle GK, Nath A., 2008, Concerns and solutions for problems in geriatric health in India. *Indian Journal of Community Med*; 33: 214-218.
- [6] Pandve, Harshal. T. and Poonam Deshmukh, 2010, 'Health Survey among Elderly Population Residing in an Urban Slum of Pune City', *Journal of The Indian Academy of Geriatrics*, Vol. 6, pp. 5-8.

Chemical characterization of *Cliona viridis*: Sponge of Atlantic Moroccan Coast

Khadija BARY¹, Belkasssem ELAMRAOUI^{1,2}, and Taoufiq BAMHAOUD¹

¹Laboratory of Quality control in Bio-industry and Bio-active Molecules,
Faculty of Science, Chouaib Doukkali University, BP 20, El Jadida 24000, Morocco

²Polydisciplinary Faculty of Taroudant, Ibn Zohr University, Taroudant, Morocco

Copyright © 2016 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 chemical study of *Cliona viridis*, marine sponge recognized by its antibacterial and antifungal activity was investigated for the first time in Morocco. *Cliona viridis* contains different levels of primary and secondary metabolites. The antioxidant activity was evaluated by the DPPH test and calculated in mg Vit E equivalent/g of dry weight. The fatty acid composition determined by gas chromatography (GC) showed a predominance of palmitic, oleic and linoleic acids. Furthermore, we found the presence of several sterols which cholesterol is the most abundant.

KEYWORDS: Marine sponge, *Cliona viridis*, Chemical composition, Primary metabolites, Secondary metabolites, Antioxydant activity, Fatty acid, Sterols.

1 INTRODUCTION

Marine sponges are the primitive multicellular invertebrates that are part of the marine biomass from the Lower Cambrian period (600,106 years). They are present all over the planet and are living in many ecosystems.

Physical and behavioral defenses are rare among sponges. However, being sessile and soft organisms, they have to face many dangers, such as predation, competition for living space, epibiosis or infection by pathogenic microorganisms. It seems reasonable to study these organisms even if you have to put your head under water [1]. Most of the bioactive compounds from sponges consist of anti-inflammatory, antitumor, immunosuppressive (or) neurosuppressive, antiviral, antibiotics, antifouling and antimalarial properties [2]. The aim of the present work was to analyse the chemical composition of the marine sponge *Cliona viridis* and to investigate the antioxidant activity by evaluating the reduction of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) reagent. Also we studied the chemical composition of fatty acid and sterols of hexanic extract of the marine sponge *Cliona viridis*.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 BIOLOGICAL MATERIAL AND SAMPLING SITE

The marine sponge was collected during winter season, in January 22, 2010 at low tide to a depth of 3 meters below the waves of breezeblocks in the commercial port of Jorf Lasfar, El Jadida. After harvest, marine sponge was washed, frozen and lyophilized.

The systematic identification of the marine sponge was carried out by Dr. Maria-Jesús Uriz, Professor at the Centro de Estudios Avanzados de Blanes (CEAB) and Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Spain.



Figure 1: Collected sponge *Cliona viridis*

2.2 CHEMICAL COMPOSITION OF THE MARINE SPONGE

The determination of the chemical composition has consisted in dosage of the primary metabolites and to search some secondary metabolites known for their biological activity.

2.2.1 COMPOUNDS BELONGING TO THE PRIMARY METABOLISM

DOSAGE OF LIPIDS

The dosage of lipids was realized by using a soxhlet. The sample was continuously extracted with hexane which gradually dissolves the fat. The solvent containing the fat returns into the balloon by successive spills. Once the extraction was complete, the solvent was evaporated, and the fat was weighed and the percentage was calculated using following formula:

$$\%lipides = \frac{M(lipides) \times 100}{M(\acute{e}chantillon)}$$

DOSAGE OF TOTAL SUGARS

The dosage of total sugars was performed using phenol /sulfuric acid method as described previously [3]. Briefly, in the presence of concentrated sulfuric acid, the oses were dehydrated and the products condense with phenol to give yellow-orange complex. Then, we measured the optical density at 490nm. A standard was prepared from a solution of glucose with different dilutions ranging from 0 to 0.4mg /ml.

DOSAGE OF PROTEINS

The dosage of proteins was done by dosing the nitrogen compounds, that runs in three steps: digestion, distillation and titration [4].

2.2.2 STUDY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE MARINE SPONGE: PRELIMINARY TESTS

The tests were conducted according to the standard techniques described by Paris and Moyse [5], Bouquet [6], and Debray et al [7]. These tests consist to highlight the presence of a certain number of chemical groups known to their biological activities [8].

RESEARCH OF ALKALOIDS

The test based on the ability of alkaloids to combine with the heavy metal or with iodine was performed.

Mayer Test: 0.5 g of powder material was added to 15 ml of 70% ethanol. After a long agitation, the extract was allowed to stand until complete decantation, followed by filtration and evaporation. The residue was taken up in a few ml of 50% HCl. After adding a few drops of Mayer's reagent (mercuritetraiodure potassium), the formation of a yellow precipitate, indicated the presence of alkaloids.

RESEARCH OF STEROLS

The research was based on the Lieberman-Burchard reaction [9]. Three grams of dry ground material were macerated in 15 ml of chloroform for 20 minutes. Then, the mixture is filtered and concentrated to 2 ml. One milliliter of acetic anhydride and 1 ml of concentrated sulfuric acid were successively added. The presence of sterol compounds gives a red-brown color veering to purplish-brown.

RESEARCH OF SAPONOSIDES

It is based on the determination of the index of moss. In a 500 ml conical flask, 100 ml of boiling water and 2 g of ground material were introduced. Boiling was maintained for 30 minutes. The mixture was filtered, cooled and adjusted to 100 ml.

In a series of ten test tubes were successively introduced 1, 2, 3, 4, ... 10 ml of decocted, all tubes were filled to 10 ml with distilled water and agitated vigorously for 15 seconds. After standing for 15 minutes, the height of moss was measured. If the latter was equal to 1 cm, the dilution of the substance in the tube corresponds to the index of moss searched. An index greater than 100 was considered as a positive reaction indicating a wealth of material in saponosides.

RESEARCH OF TANNINS

1.5 g of dry ground material was placed in 10 ml of 80% methanol. After 15 minutes of agitation, the extracts were filtered and placed in tubes. The addition of 1% FeCl₃ can detect the presence or not of tannins. The color turns to blue-black in the presence of gallic tannins and to greenish brown in the presence of catechin tannins.

RESEARCH OF FREE QUINONES

One gram of dry ground material was placed in a tube with 15-30 ml of petroleum ether. After agitation and standing for 24 h, the extract was filtered and concentrated on a rotary evaporator. The presence of free quinones was confirmed by adding a few drops of NaOH 1/10, when the aqueous phase turns yellow, red or purple.

RESEARCH OF ANTHRAQUINONES

At the chloroform extract was added aqueous KOH 10% (v/v). After agitation, the presence of anthraquinones is confirmed by a turn of the aqueous phase to red.

RESEARCH OF COUMARINS

An infused at 10% or an alcoholic extract was examined under UV light. A bluish fluorescence indicates a positive reaction.

Note: Other compounds also show a marked fluorescence to UV. This revelation is therefore only an indication.

RESEARCH OF FLAVONOIDS (REACTION TO CYANIDIN)

At 2 ml of infused, 2 ml of hydrochloric alcohol and some magnesium turnings were added. An orange to red color appears in the presence of flavonoids.

2.2.3 DOSAGE OF THE POLYPHENOLS

EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS

The polyphenols were extracted by maceration of 50 mg of powder in 2 ml of organic solvent (acetone 80%), for 1 hour and at 4 ° C to stop the action of polyphenoloxidases which degrade phenolic compounds. After centrifugation, the supernatant containing the polyphenols was recovered. Therefore, we proceed to a second extraction overnight on the base to extract supplementary polyphenols to obtain a dosage more comprehensive. The two supernatants were added to the dosage [10].

DOSAGE OF THE POLYPHENOLS USING THE FOLIN-CIOCALTEU REAGENT

To 100 µl of extract, 500 µl of Folin reagent diluted 10 times and 400 µl of sodium carbonate (75g / l) were added to the tubes. After agitation, the tubes were incubated 5 min at 40 ° C and the absorbance was read at 735 nm after 60 min. A standard range was prepared by gallic acid in concentrations ranging from 0 to 500 ppm [10].

2.2.4 EVALUATION OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY

DPPH TEST

The antioxidant activity was measured by the DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) method, according to the protocol described previously [11]. In this test the antioxidants reduce the DPPH from a violet color to a yellow compound, the diphenyl picryl hydrazine, the intensity of the color is inversely proportional to the ability of the antioxidants present in the medium to give protons. The solution of DPPH was prepared by dissolving 4 mg of DPPH in 100 ml of methanol. 0.5 ml of the extract to be tested was added to 125 μ l of the DPPH solution and 0.5 ml of the methanol. After agitation by a vortex, the mixture was left in the dark for 30 min and discoloration relative to the negative control containing only DPPH solution was measured at 517 nm by a spectrophotometer. The positive control was represented by a standard solution of an antioxidant, BHT (butylhydroxytoluene) and the absorbance was measured in the same conditions as the test sample. The antioxidant activity, that expresses the capacity of trapping the free radical, was estimated by the percentage of discoloration of the DPPH dissolved in methanol.

PPM TEST

PPM test (phosphomolybdate) was based on the reduction of molybdenum in the oxidation state (VI) to the oxidation state (V). This reduction was materialized by forming a greenish complex (phosphate / Mo (V)) at an acidic pH. The method consisted in introducing into an Eppendorf tube 100 μ l of the mixed extract with 900 μ l of a reagent composed of (0.6 M) sulfuric acid, (28 mM) sodium phosphate and (4 mM) ammonium molybdate [12]. The tube was capped and incubated at 95°C for 90 min. After the sample had cooled to room temperature, the absorbance was measured at 695 nm. The control is constituted of 100 μ l of methanol mixed with 900 μ l of the reagent mentioned above. The calibrators, the controls and the samples were incubated under the same conditions. The antioxidant capacity was expressed as mg equivalent vitamin E per gram of dry matter (mg EVE / GMS).

2.2.5 STUDY OF THE COMPOSITION OF FATTY ACIDS AND STEROLS

PREPARATION OF METHYL ESTERS OF FATTY ACIDS (FAME)

One g of the hexane extract obtained by Soxhlet was submitted to the action of methanolic potassium hydroxide (2N) with a volume of isooctane. After vigorous stirring the mixture for 30 seconds the sodium hydrogensulfate monohydrate was added and stirred vigorously. The upper layer containing the methyl esters (FAME) was allowed to decant [13].

The FAME was analyzed by Gas Chromatography (GC).

(Compound chromatographic system: flame ionization detector, temperature of the detector and the injection chamber is 200 °C, helium gas)

PREPARATION OF STEROLS

The sterols were analyzed according to the Norm ISO 12228 [14]. After saponification of a test of 250 mg taken by an ethanolic KOH solution under reflux, then the unsaponifiables were extracted with ethyl ether. The sterol fraction was separated by chromatography on a silica gel plate; the sterols recovered from the silica gel were transformed into trimethylsilyl ethers and analyzed by gas chromatography.

3 RESULTS

3.1 COMPOUNDS BELONGING TO THE PRIMARY METABOLISM

The averages levels in lipids, carbohydrates and proteins of *Cliona viridis* were shown in Table 1:

Table 1: Averages levels of lipids, carbohydrates and proteins expressed in percentage relative to the dry weight

Lipids	Carbohydrates	Proteins
2.9% (+/-1.46)	15.35% (+/-0.03)	2.67% (+/-0.02)

The sugar content was calculated from a calibration curve of a range of glucose (Figure 2).

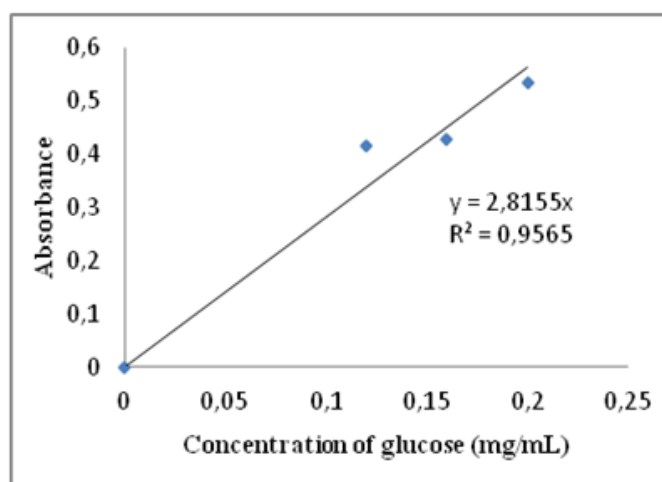


Figure 2: Calibration curve of glucose

From the Table 1, *Cliona viridis* represents a source of primary metabolites with a significant proportion of carbohydrates compared to lipids and nitrogen compounds.

3.2 COMPOUNDS BELONGING TO THE SECONDARY METABOLISM

These substances are known to be responsible for the pharmacological activity. The results of tests of the chemical composition are presented in the table 2.

Table 2: Determination of chemical composition of the crushed sponge

Chemical substances	Results of the tests
Sterol substances	+++
Saponins	+++
Tannins	+
free quinones	+
Anthraquinones	-
Flavonoids	+
Alkaloids	+
Coumarins	-

(+ + +: presence in abundance, +: Presence in low quantity, -: Absence)

According to table 2, we observed the presence of different chemical compounds recognized by their biological activity with high concentration of sterol and saponins substances.

Therefore according to our preliminary tests, we found that *cliona viridis* produced molecules with potential biological interest. In the case of particular species of sponges, it seems that the production of these active metabolites does either not directly related to the organisms themselves but rather to heterotrophic endosymbionts (bacteria) or autotrophic (microalgae and cyanobacteria). The ability to produce such metabolites is of obvious interest in the context of the search for new molecules presenting interesting therapeutic potential [15].

3.3 DETERMINATION OF POLYPHENOLS

The polyphenols content was calculated relative to a reference antioxidant; gallic acid after plotting a calibration curve (Figure 3). The polyphenol content was 3.67 (+ / -0.01) mg EGA/g DW.

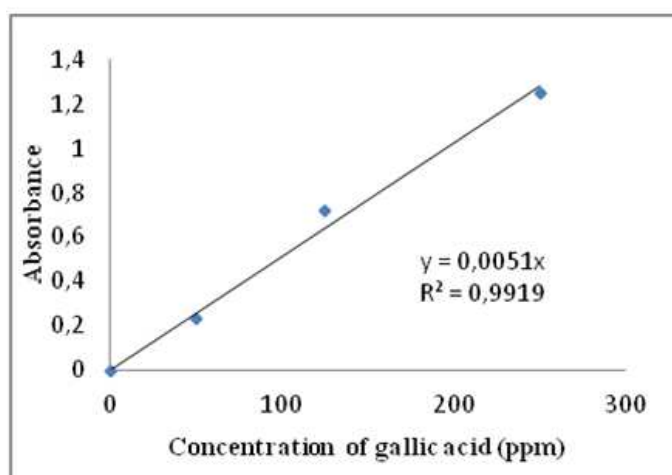


Figure 3: Calibration curve of gallic acid (ppm)

3.4 EVALUATION OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY

3.4.1 DPPH TEST

The result is expressed as percentage of the anti-radical activity according to the following equation:

$$\% \text{ Antioxidant Activity} = \frac{\text{Abs control} - \text{Abs test}}{\text{Abs control}} \times 100$$

Where Abs is the absorbance at the wavelength of 517 nm.

The result was expressed by the average of three measurements $\pm$ standard deviation, and was expressed relative to those obtained for the BHT as a reference.

The percentage of the extract of the sponge is 0.11% (+ / - 0.06), this value remains low compared to BHT; and used as a reference is 90% and thus indicates that this sponge contains the modest antioxidants, which is consistent with the result obtained for the low content of polyphenols in the sponge studied.

3.4.2 PPM TEST (PHOSPHOMOLYBDATE)

The antioxidant capacity was expressed as mg equivalent vitamin E per gram of dry weight (mg EVE / g DW). The figure 4 corresponds to the calibration curve of vitamin E:

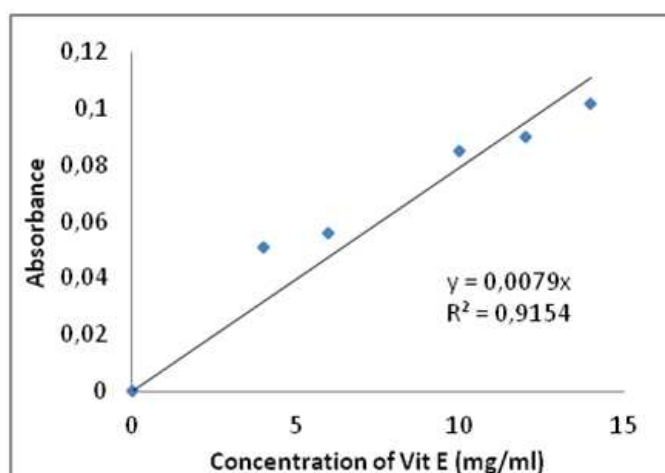


Figure 4: Calibration curve of the Vitamin E

From equation of the curve, it was found that the antioxidant capacity was 461.5 (+ / -0.01) mg Vit E / g of dry weight (461.5 + / -0.01 mg EVE / g DW).

3.5 STUDY OF THE COMPOSITION OF FATTY ACIDS AND STEROLS

3.5.1 THE METHYL ESTERS OF FATTY ACIDS (FAME)

The methyl esters of FA of *Cliona viridis* were identified by comparing their retention times with those of standards. The results are presented in the table 3.

Table 3: Profile of Fatty Acids of the sponge studied

Peak	Ret Time (min)	Area%	Component Name
1	9.096	9.969	-
2	10.916	2.082	-
3	13.576	28.688	Palmitic acid (C16: 0)
4	14.433	7.112	Palmitoleic acid (C16: 1)
5	22.331	6.955	Stearic acid (C18: 0)
6	23.539	28.530	Oleic acid (C18: 1) ω9
7	25.720	16.665	Linoleic acid (C18: 2) ω6

No study has been performed in Morocco on the fatty acid composition of *Cliona viridis*. This study allowed us to identify the variety of fatty acids contained in *C. viridis* with predominance of palmitic, oleic and linoleic acids and as percentages 28.68%, 28.52% and 16.66%, respectively. These two latter acids ω9 and ω6, are part of the family of omega recognized by their cardioprotective effect [16]. Noting also the presence of minority acids which are palmitoleic and stearic acids.

3.5.2 STEROLS ANALYSIS

Silylated sterols of *Cliona viridis* were identified by comparing their retention times with those of standards. The results are presented in the table 4.

Table 4: Profile of Sterols of the sponge studied

Peak	Ret Time (min)	Area%	Component Name
1	25.837	5.909	-
2	27.516	30.804	Cholesterol
3	28.098	1.703	-
4	28.977	16.616	Brassicasterol
5	30.929	7.9344	Campesterol
6	31.201	4.0893	-
7	32.447	3.466	Stigmasterol
8	34.262	1.115	-
9	35.652	25.197	β-Sitosterol
10	36.112	2.337	Δ 5 - Stigmasterol
11	36.598	0.269	-
12	37.217	0.129	-
13	37.735	0.067	Δ 7 - Stigmasterol
14	39.184	0.364	Δ 7- Avenasterol

The identification of the hexane extract of sterols was performed by a methodology which combines by soxhlet extraction, the bypass and the gas chromatography whose conditions are: Capillary Column 25/0, 32/0, 25μm of a nonpolar phase; Injector temperature 300 °C; Detector temperature 300 °C; Oven temperature 200 to 280 ° C with 10 °C / min; 1ml/mn flow, carrier gas is helium at 1 ml / min.

Cliona viridis contains therefore principally the unsaturated sterols C27-C29, the same result found in previous work done by DONATO SICA et al., 1978 in the same species of Italy always with a predominance of cholesterol [17].

The sponges contain a wide variety of fats (sterols) compared to other animals. Some sterols were found only in sponges such as clionasterol and poriferasterol, others like cholesterol are common with other animals.

4 CONCLUSION AND DISCUSSION

Cliona viridis, belongs to demosponges and is the most important class of the phylum Porifera whose skeleton is formed by siliceous spicules or spongin (famous fibrous protein forming a rigid network), sometimes in association of two. It includes the species of the genus *Suberites*, covering some crabs, the sponges of the genus *Cliona*, which perforate the pebbles and shells, and those of the genus *Spongilla*, enfeoffed to fresh water. The sponges of the genus *Hippospongia* and *Euspongia* with which we do the sponges of toilet, also belong to this group [18-19].

Sedentaries at maturity, sponges have a priori no defense against their predators expect the metabolites that they secrete into their environment (Genin, 2002) [20].

In this preliminary study, we obtained leant the value of primary and secondary metabolites as a new source that can be exploited in the pharmaceutical scale. However, it remains unclear whether the sponges produce themselves all of these metabolites or the latter are synthesized by the microorganisms living in symbiosis with them.

So, it is found that *Cliona viridis* contains a high content of primary metabolites principally the sugars. The latter are recognized by their role in the mechanism of recognition and cellular interactions of the sponge. Some sugars may be related to proteins or lipids, thus forming glycolipids or glycoproteins: molecules implicated in many physiological processes and showed a proven pharmacological activity [21-22].

As components of cellular membranes, they organize the cell surface characteristic and modify the process of interaction, communication and differentiation.

Also, *Cliona viridis* has proved rich in secondary metabolites, some of which are present at low quantity, however, they should not be neglected, because the synergy between the different chemicals should be considered in the biological activity [23].

The antioxidant activity evaluated is due to the presence of polyphenols. The search of new natural antioxidants of marine origin, especially from sponges, has recently been the subject of several studies [24-25].

On the other hand, the GC analysis of the hexane extract of *Cliona viridis* has allowed the identification of fatty acids and sterols with interesting biological activity.

Indeed, for the study of fatty acids, the basic analysis is addressed to methyl esters, volatile derivatives producing many diagnostic fragment ions after electron impact. However, the methyl esters do not permit most often to precisely determine the position of a double or triple bond, a ramification, an additional function. It is then necessary to use another type of derivative containing a nitrogen atom [26], especially N-acyl pyrrolidide [27] dimethyloxazoline [28] picolynique ester [29]. Moreover, screening of chemical compounds in *C. viridis* revealed the presence of tannins, alkaloids, sterols, saponins, flavonoides, free quinones and polyphenols. The antioxidant activity of *C. viridis* extract is due to the presence of these chemicals compounds and thus the sponge could serve as potential source in medicine drugs. In the current investigation, the extracts from *C. viridis* gave good results indicating that it possesses significant amount of chemicals compounds and in vitro antioxidant activity. Phenolic compounds and other chemicals compounds appear to be responsible for the in vitro antioxidant activity of the extracts and may contribute to the therapeutic activity observed. On the basis of the results obtained, *C. viridis* extracts are rich sources of natural antioxidants appears to be an alternative to synthetic antioxidants. Further investigation to determine antioxidant activity by in vivo methods could be considered.

REFERENCES

- [1] E.J. Dumdey, J.W. Blunt, M.H.G. Munro, C.N. Battershill, M.J.In. Page: *Sponge Sciences; Multidisciplinary Perspectives*, Y. Watanabe, N. Fusetani, eds., Tokyo, Springer-Verlag, pp 353.
- [2] E. Fattorusso, O. Taglialatela-Scafati, *Mar Drugs*, , 7(2) (2009)130-152.
- [3] M. Dubois, K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers, F.Smith. *Analytical Chemistry*, , 28 (3) (1956) 350-356.
- [4] R. Thibault, M. Tremblay, "the dosage of proteins", Expo-Journal, Internal Report, Department of Natural Sciences, Cegep of Saint-Félicien, (2002) 8 pages.
- [5] R. Paris, H. Moses, "Précis of medicinal material", Paris, Masson (1969).
- [6] M. Bouquet, "Works and documents of Orstom", (1971) (Paris, No. 13).
- [7] M. Debray, H. Jacquemin, R. Razafindrambo, "Works and documents of the Orstom" (1971) (Paris, No. 8).
- [8] N. Dohou, K. Yamni, S. Tahrouch, L.M. Idrissi Hassani, A. Badoc, N. Gmira, *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, , 142 (2003) 61-78
- [9] R.P. Cook, "Reactions of Steroids with Acetic anhydride and Sulphuric Acid (the Liebermann-Burchard test)", *analyst*, 86 (1961) 373-381.
- [10] B. Nathalie, J.P. Charpentier, "Rapid method of evaluation of the content of phenolic compounds of organs of a forest tree", *Special Issue* (2006).
- [11] C. Popovici, I. Saykova, B. Tylkowski, *Revue de génie industriel*, , 4 (2009) 25-39.
- [12] P. Prieto, M. Pineda, M. Aguilar, *Anal. Biochem.*, , 269 (1999) 337-341.
- [13] International Olive Council. Preparation of methyl esters of fatty acids of olive oil and olive pomace oil. COI/T.20/Doc. No. 24-(2001).
- [14] Norm ISO 12228, Fractionation of unsaponifiable: Determination of content of individual and total sterols.
- [15] A. Bendaoud, Photosynthetic symbionts of sponges: Isolation, cultivation and production of active metabolites, Thesis (2007).
- [16] PM. Kris-Etherton, AHA Science Advisory. Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease. American Heart Association. Nutrition Committee.Circulation. (1999)
- [17] D. SICA, F. SIMONE, E. RAMUNDO, F. ZOLLO, *Biochem. Syst. Ecol.*, , 6 (1978) 77-79.
- [18] C. LEVI, P. LABOUTE, G. BARGIBANT, J.L. MENU, "Sponge of the New Caledonian Lagoon", Edition de l'ORSTOM, collection Faune tropicale N°XXX, Paris (1991).
- [19] J.N.A. HOOPER, F. WIEDENMAYER, "Zoological catalogue of Australia : Porifera", Edition CSIRO Australia, 12 (1994) 187-190, 225-247.
- [20] B. Aurélien "Isolation of active products from extracts of marine organisms. Internship report -september 2009.
- [21] E. Fattorusso, A. Mangoni. , *Marine Glycolipide. Progress in the Chemistry of Organic Natural Products* 72 (1997) 215-301.
- [22] V. Costantino, E. Fattorusso, A. Mangoni , M. Di Rosa , A. Ianaro , *Bioorg. Med. Chem. Letters* 9. , (1999) 2-276.
- [23] S. Bourgou, R. Ksouri, A. Bellila, I. Skandrani, H. Falleh , B. Marzouk, *C R Biol.*, , 331 (2008) 48-55.
- [24] A. Longeon, B.R. Copp, E. Quévrain, M. Roué, B. Kientz1, T. Cresteil, S. Petek, C. Debitus, M.L.B. Kondracki, *Mar. Drugs*., 9 (2011) 879-888.
- [25] N.K. Utkina, *Chem. Nat. Compd.*, , 45(6) (2009) 849-853.
- [26] Christie WW. The Lipid Library. www.lipidlibrary.co.uk (Update: 9 juillet 2010).
- [27] BA. Andersson, *Prog Chem Fats Other Lipids*., 16 (1978) 279-308.
- [28] G. Dobson , WW. Christie, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 104 (2002) 36-43.
- [29] Christie WW (ed) *Advances in Lipid Methodology*. Vol. 1. Royaume-Uni: The Oily Press, Dundee, 1992.

Abundance, distribution pattern and potential suitable habitat of *Sterculia setigera* Del. in Togo (West Africa)

Wouyo Atakpama¹, Kpérkouma Wala¹, Gérard Nounagnon Gouwakinnou², Hodabalo Pereki¹, Aniko Polo-Akpisso¹, Amah Akodewou¹, Komlan Batawila¹, and Koffi Akpagana¹

¹Laboratory of Botany and Plant Ecology, Faculty of Sciences, University of Lomé, P.O. Box 1515, Lomé, Togo

²Laboratory of Applied Ecology, Faculty of Agronomic Sciences, University of Abomey-Calavi, P.O. Box 526 Cotonou, Bénin

Copyright © 2016 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 aims to: (i) check its abundance and distribution *Sterculia setigera* Del. in Togo according to biophysical factors and (ii) forecast its potential suitable habitat. *S. setigera* trees (DBH ≥ 10 cm) were numbered and human activities were recorded within 518 plots. Geographic Information System offers applications for evaluation of the abundance in relation to anthropogenic threats, human population density, elevation, annual mean temperature, annual mean precipitation, and types of soils. The distribution model based on Maximum Entropy was used to forecast the potential suitable habitat using the species occurrence data and environmental data. Occurrence data were gathered from fieldworks, herbarium records, and scientific published papers. Environmental data were formed by 19 bioclimatic variables and altitude data. Based on cross-correlations among variables, variables' contribution, and jackknife test of variables' importance, six bioclimatic variables were selected for model running. The two main variables that contributed towards predicting the potential suitable habitat were the annual precipitation and the temperature seasonality. The abundance of the species is more positively correlated by the soil type and the topography while it is negatively correlated to rainfall. Anthropogenic threats' importance increase from the south to the north of the country while human population density decrease. The most suitable habitat of *S. setigera* were predicted in eco-floristic zones I and III of Togo. Further studies on the nursery, the regeneration, the cultivar selection and the assessment of the future climate impact will be a great asset for its sustainable management and domestication.

KEYWORDS: *Sterculia setigera*, abundance, habitat suitability, sustainable management, Togo.

1 INTRODUCTION

It is known that human activities and ecological factors affect the distribution, the structure and the diversity of plant species [1-6]. Studies have demonstrated that the abundance, the distribution, and the fruiting potential of indigenous multipurpose trees depend on environmental conditions, and each species has its one exigency and ability facing environmental threats [7-10]. Apart from anthropogenic threats, the climate change is reported as a second significant driver for the biodiversity loss [11]. Uncertainties related to the climate change repercussions on the biodiversity [12] and the population livelihoods call for the need to consider the climate for a better setting up of sustainable management of plant resources.

Since the last decade, steadily request to forecast current and future distribution pattern puts forward biologists, ecologists, and conservationists to the application of Ecological Niche Modelling (ENM). These investigations intended to sustain the conservation of biodiversity, which is facing to unprecedented loss due to human activities and climate change. Growing interest in modelling methods for conservation purposes brings environmentalists and biologists to the use of the Geographical Information System (GIS) and Climate Envelops Models to determine the relationship between species spatial distribution and environmental variables. They are important support-tools to assess quickly the potential impact of climate

variation on the abundance and the distribution of species and ecosystems [13, 14], which can permit to face challenges of development.

Some of the most significant impacts of global climate change will be felt among developing countries' populations [15], from which West African rural communities, who depend mostly on agriculture, pastoralism, and natural resources. Sub-Saharan Africa is, due to its low economic development and the insecurity of local conditions (popular poverty, recurrent droughts, and overdependence on rain-fed agriculture), a region that needs special attention in building adaptation policies to avoid the adverse effect of climate change on ecosystems and access to natural resources such as fertile soils and water [16, 17].

Countless plant species providing non-timber products are acknowledged to improve sub-Saharan residents' livelihood. Products from these plants are used for dietary, medicine, cosmetic, human settlements [18-20]. Some of them such as edible fruits, and gum tree species are economically quoted to be an asset for local communities' income strength [21-24]. However, these species are threatened by human activities [25, 26] and climate change and variability. Their depletion will affect communities' livelihood and income. Therefore, the optimum achievement of the millennium development goal (lowering of poverty and environmental conservation) facing the future climate fluctuations such as rainfall, drought, and warming rise, there is a great need to assess the impact of environmental factors and human activities on the abundance and distribution of plant species and forecast the habitat suitability for their sustainable management.

Among valued West African plants, *S. setigera* has medical, dietary, cosmetic, and fodder properties [20, 27-31]. Its gum is notably a high economical raw material [32, 33]. This species is met from Senegal to Cameroon in west Africa, and from Eritrea to Angola in oriental Africa [34]. In Togo, the species is scattered from the northern to southern along different climatic, soil, and geomorphological ranges. However, the knowledge of this plant as gum species and its gum economic interest as reported by Jonhsonet *al.* [33] in Senegal is overlooked by Togolese [35]. On-going studies started in Togo since 2008 are justified by the diagnosis of the species as valued resources, which can improve local livelihoods [6, 29, 35, 36].

The present study (i) analysed the distribution and the abundance of *S. setigera* according to biotic and abiotic factors: rainfall, temperature, soil type, topography, human population density and anthropogenic threats, and (ii) forecasted *S. setigera* habitat suitability as a preliminary for planning its sustainable management, domestication, and gum yield in Togo.

2 METHODOLOGY

2.1 STUDY AREA

Togo, with a total land mass of 56,600 km² and a population of 6,191,155 inhabitants [37] is a West African country located from 6°06'-11°08'N and 0°09' W-1°49'W. It is subdivided into five (5) eco-floristic zones [38] established on the basis of geo-climatic factors (Figure 1). The relief is marked by Atakora mountain chain sling the country from the northeast to southwest. On both sides of Atakora are settled alluvial plains: Oti and Mô plains at the northwest, and Mono plain at the southeast. The country is shared by three (3) hydrographic basins: Volta basin in the north modelled by Oti River and its feeder streams (Kara, Koumongou), Mono basin to the centre, and seaward basin in the south cross by Zio and Haho rivers.

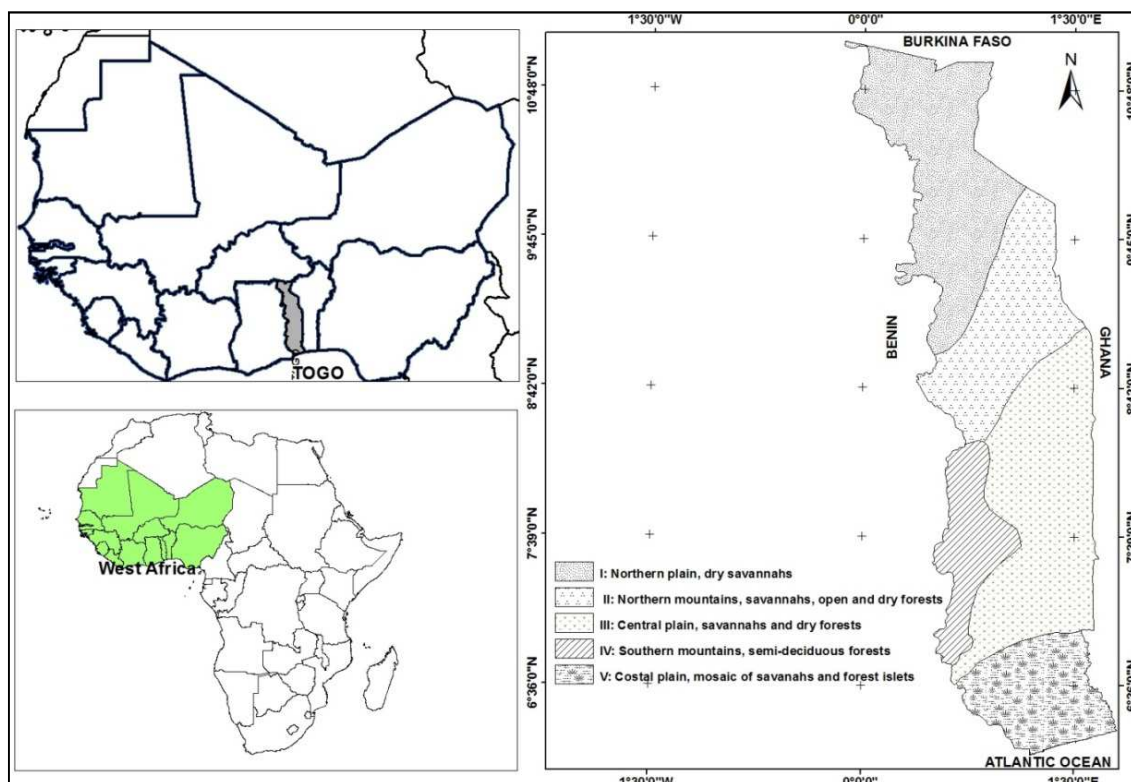


Figure 1: Location of study area

2.2 ASSESSMENT OF ABUNDANCE AND DISTRIBUTION PATTERN

2.2.1 DATA COLLECTION

Data were gathered from 10 October to 15 December 2013. Beforehand, 120 squares of 10 x 10 km were selected on a grid map of Togo. These squares were kept apart from each other at least by 10 km and covered the entire study area corresponding to the species stands early identified [6, 29]. In each square, 0 to 5 plots matching to the presence of *S. setigera* were designed. A total of 518 plots sized 30 m x 30 m in savannahs, 50 m x 50 m in parklands, 20 m x 20 m in open forests, and 50 m x 10 m in riparian forests were done. The size of plot according to each type vegetation were set with reference to previous studies realised in sub-Saharan region and Togo [3, 6, 19, 39-41]. In these plots, *S. setigera* trees with a diameter at breast height (DBH) ≥ 10 cm were numbered. Additionally, ecological variables: topography (plain, mountain side, tableland, ravine), exposition, vegetation cover, type of soil, soil texture, outcrop, and human activities (bushfire, woodcutting, plant part harvesting, grazing, field, and human settlements) occurrence were recorded. Among several parameters which can modify plant species abundance and distribution, we could distinguish: the rainfall, the humidity, the temperature, the evapotranspiration, the topography, the soil fertility, texture and moisture, and human population density and activities. Five (5) of these parameters were selected as factors, which can influence the abundance and the distribution of *S. setigera*: the annual precipitation, the annual mean temperature, the elevation, the soil type, and anthropogenic threats. The choice of these variables was based on bibliographic review [34, 42, 43]. Elevation, annual precipitation and temperature data were obtained from WorldClim Database (<http://www.worldclim.org>) derived from ≈ 1950 -2000 climate data, Version 1.4 (release 3) [44]. Soil data was obtained from Harmonized World Soil Database [45]. Human population sizes of 2010 year were obtained from data published by the Togolese General Direction of Statistic and National Accounting service [37]. Geographic coordinates and altitudes of each plot were recorded using a handheld Global Positioning System receiver (GPS GARMIN etrex 30[®]) for spatial analysis.

2.2.2 DATA PROCESSING

Geographic Information System (GIS) applications are fully used for mapping and analysis. The coordinate of each plot, coupled with densities of *S. setigera* trees per hectare ($D = \frac{n}{S} \times 10000$ with n , the number of *S. setigera* trees counted in a given plot and S , the surface of the plot in m^2) and the number of human activities per plot were projected on the eco-floristic map of Togo conformed to the coordinate system used in Togo (WGS_1984_UTM_Zone_31N). Then, the abundance and the distribution were mapped using Neutral Neighbouring interpolation technique. This technique was also used for spatial analysis of human activities level census within target sample plots during fieldworks, and human population sizes. Evaluation approach through the sum of the elevation, the annual mean temperature, and the annual mean precipitation has been achieved using the overlay analysis to determine the correlation between these three (3) factors and the abundance and the distribution of *S. setigera*. Soil data were also associated in order to mandate soils on which the species commonly grows.

The correlation between *S. setigera* distribution and densities, and environmental variables was assessed using STATA 12.0 statistical software. Each variable values were associated to each sample plot referring to geographic coordinates. The temperature, the precipitation, the soil type, and human population size variables were extracted from raster maps using Spatial Analysis Tools of ArcView GIS 10 Software while elevation, *S. setigera* densities, human activities level were generated from fieldworks data. The statistic test was used to accept or reject the correlation hypothesis of variables.

2.3 ASSESSMENT OF HABITAT SUITABILITY

2.3.1 OCCURRENCE DATA

In order to increase the accuracy of habitat suitability results [46-48], all the West Africa range of distribution of *S. setigera* was taken into account. Species records were gathered from three (3) main sources: fieldworks between 2009 to 2014 in Togo and Benin, published scientific papers, and Global Biodiversity Information Facilities portal (<http://www.gbif.org>). Gazetteers provided by the US National Imagery and Mapping Agency's (NIMA) database of foreign geographic feature names (GNS-National Geospatial-Intelligence Agency, 2005) were used to assign geographical coordinates to herbarium and published papers, which were not geo-referenced. Herbarium records were obtained for other countries apart from Togo, since the three (3) years survey allowed a numerous occurrence data from Togo. Herbarium records anterior to 1950 and those with non-assigned date of collection were removed to match with the timeframe of environmental data set. Five hundred forty-three (543) locations of *S. setigera* occurrence: 441 from fieldworks, 92 from herbarium and 10 from published papers were collected. After maintaining one record per 1 km^2 cell; as MaxEnt automatically removed duplicate, this number was reduced to 417 records.

2.3.2 ENVIRONMENTAL DATA

Current climatic data (19 variables, Table 1) and altitude data available at approximately 1 km^2 resolution were downloaded from WorldClim database (<http://www.worldclim.org>). The current data Version 1.4 (release 3) was derived from the period of 1950-2000 [44]. These data were used successfully by several authors in modelling species distribution [49, 50].

2.3.3 PREDICTION OF HABITAT SUITABILITY

The model was run with the current version of MaxEnt 3.3.3k (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>, accessed 26 March 2014) using the default parameters. All duplicate records in a grid were removed to reduce the sampling bias in favour of some sites where sampling was highly intensified [51]. The choice of MaxEnt was supported by the fact that it requires presence-only data to predict the geographic distribution of a species based on the theory of maximum entropy and it can run the model using continuous and categorical predictor variables [52]. It has performed better with small sample sizes comparatively to other modelling methods and was used successfully by other scientists [49, 53-55].

Initially, 20 current environmental variables (19 bioclimatic variables and altitude variable) were used to run the model (Table 1). MaxEnt estimates the habitat suitability for the species based on the probability distribution of species occurrence that is closer to be uniform while still subjected to environmental constraints. MaxEnt generates automatically response curves (the Area Under Curve "AUC" of the Receiver Operating Characteristics Curve "ROC" of the cross-validation) for each predictor variable and a Jackknife test that estimates respectively the model performance and the relative influence of

individual predictors to the model robustness [53]. The AUC value varies from 0 to 1 (gradually from lowest to highest suitability). An AUC value of 0.5 indicates that the performance of the model is no better than random, while values closer to 1.0 indicate best model performance [56]. The AUC values <0.5 are worse than random, 0.5-0.7 signifies poor performance, and 0.7-0.9 indicates reasonable/moderate performance [57]. After scrutiny cross-correlations among variables to account for multicollinearity [58], variables were reduced to six (6). The Jackknife test and percent variable contributions were used to estimate respectively the relative influence of different predictor variables.

Table 1: Bioclimatic variables used for model running

Codes	Variables
BIO_01	Annual Mean Temperature
BIO_02	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))
BIO_03	Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO_04	Temperature Seasonality (standard deviation *100)
BIO_05	Max Temperature of Warmest Month
BIO_06	Min Temperature of Coldest Month
BIO_07	Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)
BIO_08	Mean Temperature of Wettest Quarter
BIO_09	Mean Temperature of Driest Quarter
BIO_10	Mean Temperature of Warmest Quarter
BIO_11	Mean Temperature of Coldest Quarter
BIO_12	Annual Precipitation
BIO_13	Precipitation of Wettest Month
BIO_14	Precipitation of Driest Month
BIO_15	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
BIO_16	Precipitation of Wettest Quarter
BIO_17	Precipitation of Driest Quarter
BIO_18	Precipitation of Warmest Quarter
BIO_19	Precipitation of Coldest Quarter

For model validation, 25 % of the whole records were set to test the model suitability, and 75 % were used for calibration in 10 replicates running. The average value of AUC resulting from the 10 replicate runs was used to assess the model performance. The continuous suitability index map generated by the model calibrated in 10 replicates was converted to binary habitat and non-habitat map using “10th percentile training presence threshold”.

The species potential suitable habitat generated by MaxEnt were analysed and mapped using ArcGIS 10.2.2 and DivaGIS 7.5.0. ArcGIS was used to map the overall predicted suitable habitat and prepare files submitted for analysis in DivaGIS. DivaGIS was used especially to assess the habitat suitability throughout the country and to compare predicted suitability between eco-floristic zones, and the importance of protected areas in the conservation of *S. setigera*.

3 RESULTS

3.1 ABUNDANCE, DISTRIBUTION, AND BIOTIC FACTORS

The highest abundance of *S. setigera* corresponds to eco-floristic zone I and III (Figure 2A). This abundance in eco-floristic zone I is observed in the west and the northeast parts. In the eco-floristic zone IV, the species is nearest absent. The west part remains the most provide part of the zone V. Concerning the whole protected areas of Togo, the species is more represented in the complex Oti-Kéran-Mandouri and Galanguashi wildlife reserves situated in the zone I.

Regarding anthropogenic threat importance, it tends to increase from southern to northern part of the country while the human population sizes decrease globally (Figure 2B, C). Five (5) main kinds of human activities were identified: fire, agriculture, grazing, woodcutting, and plant materials harvesting (bark, leaves, fruits, and roots). The common activities are fire and agriculture (greater than 50 % of contact). The other activities are found in Sudanian zone, in particular, grazing was observed in zones I and II. Charcoal production was sometime encountered in the zone I, II, and III.

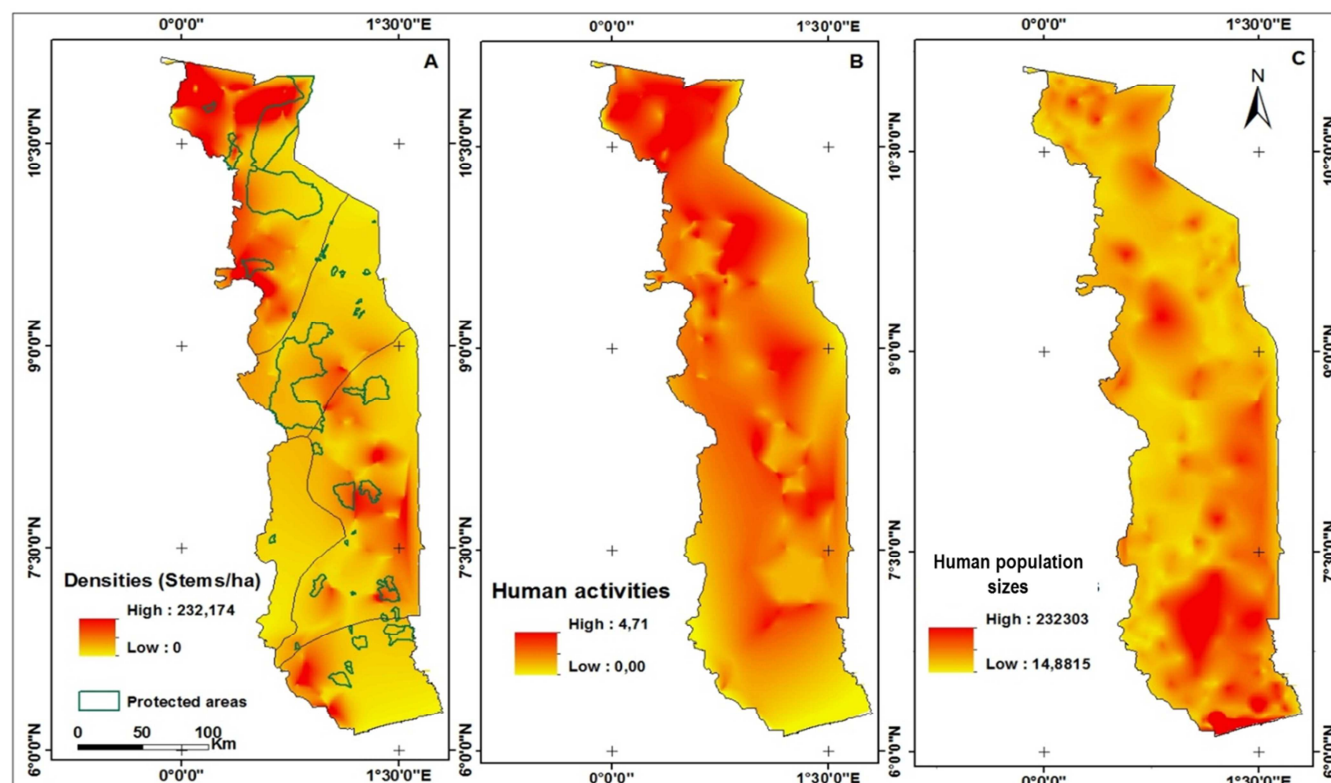


Figure 2: Comparison of areas of abundance and distribution of *S. setigera* with human activities level and population densities

3.2 IMPACT OF ABIOTIC FACTORS ON THE DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF *S. SETIGERA*

The analysis matching to the elevation, the mean annual temperature, and the mean annual precipitation showed that the abundance and the distribution of *S. setigera* did not fit properly when processing each parameter solely. According to the topography, *S. setigera* occurs mostly on rocky hills of eco-floristic zone I and plain of eco-floristic zone III between 80 to 250 m (Figure 3a). It was not found in areas of elevations greater than 350 m overlapping the Atakora chain and lower than 80 m corresponding to the south part of eco-floristic zone V. The high abundance of the species is associated to areas of the country where the temperature is higher (Sudanian zone) while it is nearly absent in areas with lower temperature (Atakora chain and its boundaries) (Figure 3b). When taking into account the annual precipitation, *S. setigera* trees are nearest absent within the zone with high rainfall, greater than 1250 mm (Figure 3c). Overall, the distribution and abundance are more correlated with the elevation than the temperature, and the rainfall.

The overlay of the three (3) parameters: the annual rainfall, the annual mean temperature and the elevation showed that the distribution and the abundance of the species were designed by their ensuant. The distribution of the species corresponds to elevation between 80 to 250 m with mean temperature higher than 26.5 °C and rainfall lower than 1250 mm/year (Figure 3d).

According to soil, *S. setigera* trees were found on lexisol and plinthisol (Figure 4). Within these soils, *S. setigera* is found mostly on shallow soils, quite often gravelly, outcrop and mostly on rocky hill areas.

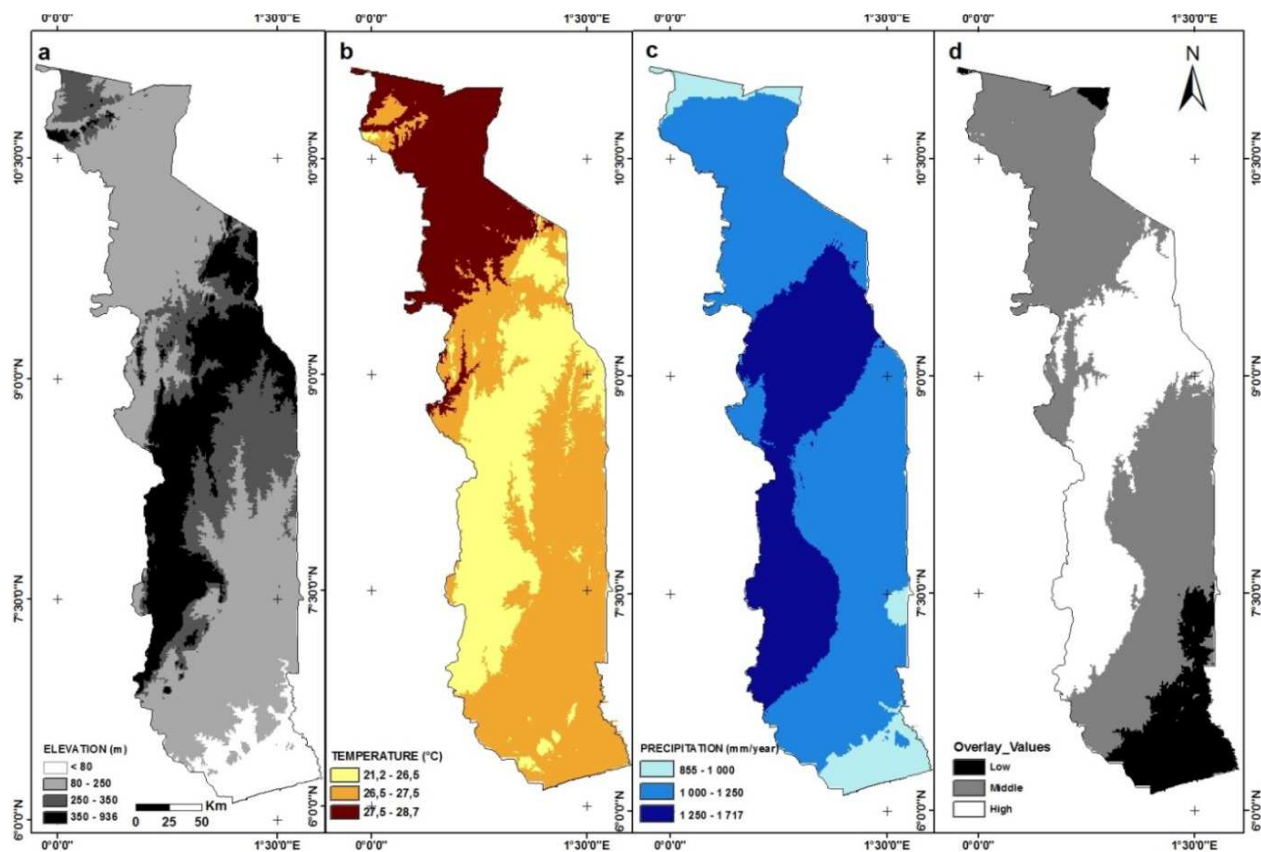


Figure 3: Classified maps of areas of distribution and abundance of *S. setigera* based on elevation, temperature and mean annual rainfall

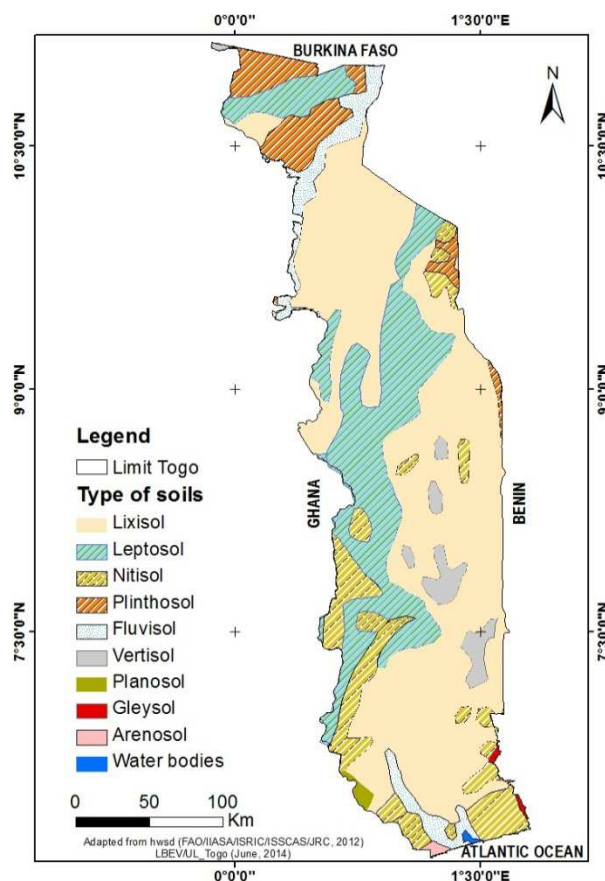


Figure 4: Soil map of Togo (FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2012)

3.3 CORRELATION BETWEEN *S. SETIGERA* ABUNDANCE AND ENVIRONMENTAL FACTORS

Statistic tests showed a significant correlation between the overall variables and *S. setigera* distribution and abundance ($P < 0.05$). With the exception of precipitation which showed a negative correlation, there is a positive correlation between other factors and *S. setigera* density (Table 2). This result confirmed the predominance of *S. setigera* trees on hills zone with high temperature ranges particularly within the eco-floristic zone I. The negative correlation between the density of *S. setigera* and the annual mean precipitation could explain the nearest absence of the species within the zone IV. In contrast, there is no correlation between human population density and anthropogenic threats observed.

Table 2: Pairwise correlation between *S. setigera* density and environmental variables

	Soil type	Precipitation	Human population	Altitude	Temperature	Threats level
<i>S. setigera</i> density	0.17*	-0.38*	0.20*	0.18*	0.16*	0.20*
Threats level	0.12*	-0.49*	0.11	0.44*	0.30*	1.00
Temperature	0.04	-0.50*	-0.23*	-0.15*	1.00	
Altitude	0.17*	-0.20*	0.22*	1.00		
Human population	0.09	-0.16*	1.00			
Precipitation	-0.49*	1.00				

* = significant difference ($p < 0.05$)

3.4 HABITAT SUITABILITY MODEL

3.4.1 CURRENT POTENTIAL SUITABLE HABITAT

Using the value of "10th percentile training presence threshold" as a cut-off, the continuous grid with probability values 0-1 was converted to suitable/unsuitable habitat considering the occurrence below 0.25 as non-suitable habitat for *S. setigera*.

So, the probability value from 0.25-0.4 was considered as poor suitable habitat, 0.4-0.6 as moderately suitable habitat, and probability above 0.6 was considered as highly suitable habitat.

The current suitable habitat excludes a large part of eco-floristic zone IV corresponding to semi-deciduous forests, sited on the most elevated areas of the country (Atakora mountains chain), in the southern part of Togo (Figure 5). The occurrence of the species was also less predicted in the northerly part of Atakora Mountains. The overall suitable habitat represents about 93 % of the total area of the country i.e. 52,638 km². A large part of the country was considered to be moderately suitable (59 %) and highly suitable (10 %) for *S. setigera*. The high probabilities correspond mostly to eco-floristic zone I while moderate probabilities were mostly predicted in zone III (Figure 6). The model predicted also a high abundance in the southeast of eco-floristic zone V, where the species is less observed by opposition to the southwest part of this areas.

Even though, most of protected areas are predicted to be moderately and highly suitable, this habitat represent only 12 % of the total potential suitable habitat. A large part of the suitable (88 %) were located out of protected areas. The most suitable protected areas is Oti-Mandouri.

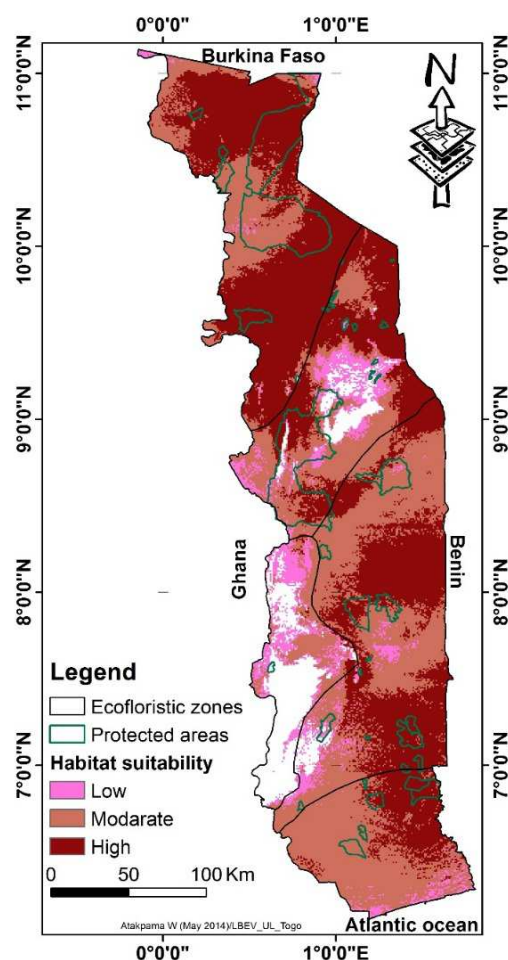


Figure 5: Potential habitat suitability model of *S. setigera* in Togo

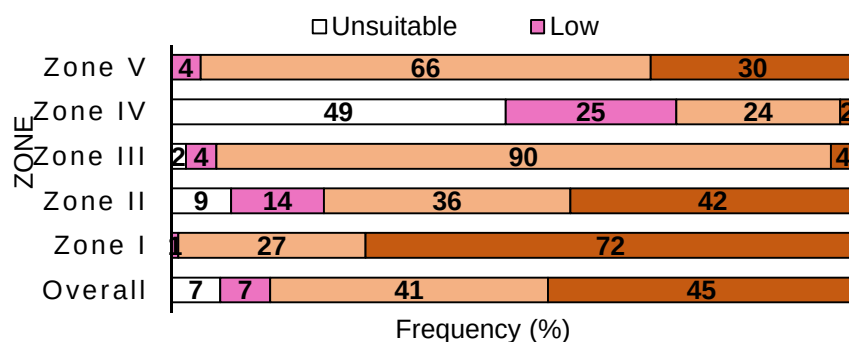


Figure 6: Habitat suitability for *S. setigera* according to each eco-floristic zones

3.4.2 MODEL PERFORMANCE AND FACTORS INFLUENCING

The model showed a good predictive ability with an average test AUC value after 10-fold cross-validation of 0.965 ± 0.006 and an average training AUC value of 0.970 ± 0.01 . The model showed the maximum training sensitivity and specificity threshold of 0.128 and the equal training sensitivity and specificity of 0.213.

The model performed better than random using six (6) bioclimatic variables (Table 2). These variables are the isothermality (BIO_03), the temperature seasonality (Bio_04), the mean temperature of the coldest month (BIO_06), the mean temperature of the driest quarter (BIO_09), the annual precipitation (BIO_12), and the precipitation of coldest quarter (BIO_19). Variables with the highest gain when used in isolation were BIO_12 and BIO_19, which appears to have the most useful information by itself with respective contributions of 27.0 % and 6 % (Table 1). The variable that decreases the gain the most when it is omitted is the BIO_03, which appears to have the most useful information that is not present in the other variables (Figure 7). The importance of isothermality shows that temperature is an important variable shifting the species occurrence. This should be linked to the relationship of this variable and three (3) others temperature variables, since it is the ratio between mean diurnal ranges (BIO_02), and temperature annual range (BIO_07).

Table 2: Percent contribution of the six selected variables

Variables	Percent contribution
Min Temperature of Coldest Month (TCM)	41.3 %
Annual Precipitation (AP)	27 %
Mean Temperature of Driest Quarter (TDQ)	9.2 %
Isothermality (* 100)	9.1 %
Temperature Seasonality (TS)	7.4 %
Precipitation of Coldest Quarter (PCQ)	6.00 %

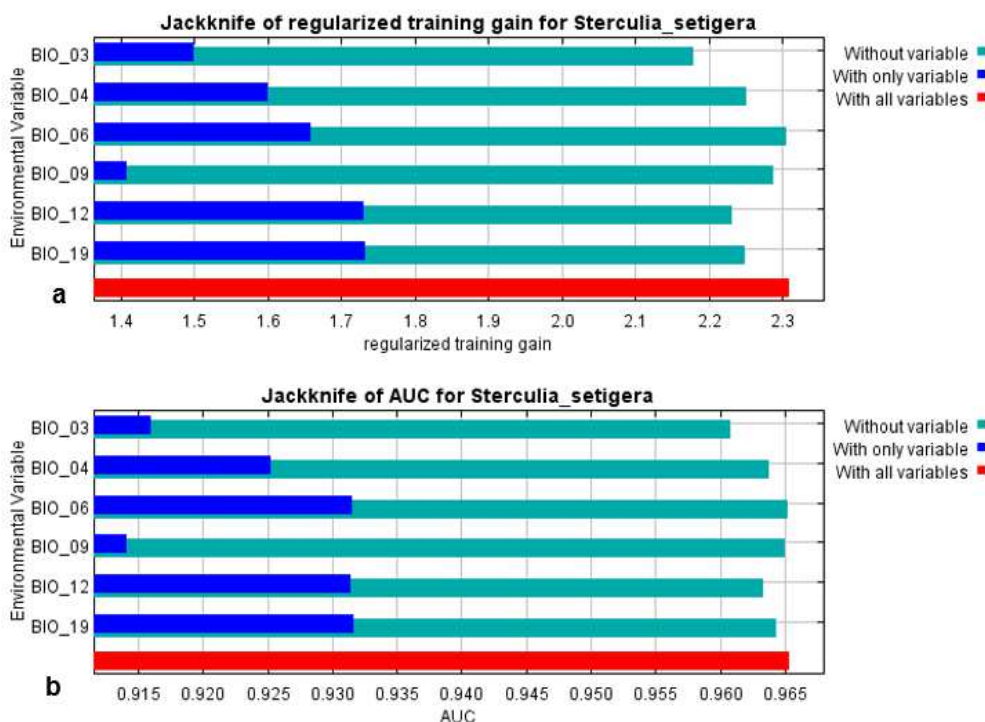


Figure 7 Relative predictive habitat suitability model power of the six chosen variables contribution for *S. setigera* based on the results of Jackknife tests in MaxEnt: (a) regularized training gain and (b) AUC (area under the ROC curve) (Values average over 10 replicate runs)

4 DISCUSSION

4.1 ABUNDANCE AND DISTRIBUTION

Plant species abundance and distribution were shaped by a combination of several factors. The present study showed that the abundance and the distribution of *S. setigera* are mostly affected by both biophysic factors (elevation and soil type) and precipitation. This finding is in accordance to the one of Atakpama *et al.* [59], who study the species stands in Sudanian zone of Togo. According to this one, the abundance of the species on hillside and tableland stands was higher than the ones found upon plains. Even though, the gradient in water and topography do not explain solely the habitat preferences of the species, they influence seedlings' emergence and mortality [60], consequently, the abundance of adult trees. Globally, the topography mostly affects indirectly the abundance and the distribution of plant species through its correlation with temperature and precipitation, and thus, through landscape diversity and configuration, soil, and water dynamics [61]. Local climate conditions: slight, wetness, type of vegetation, temperature, rainfall, evapotranspiration, soil stability, texture, and fertility could be highly changed as soon as the elevation and slope varied.

Seeds' germination and saplings' survival and growth are affected by the water availability and dynamic, the temperature range and fluctuation, and soil texture. The limitation of water losses by deciduousness of *S. setigera* adult trees and its seedlings' swollen root, which is a stock of water and nutriment help seedlings to survive drought as geophytes [8, 62]. These adaptability characteristics to the water deficit could be a reason of its availability not only from southern to northern Togo, but also its best development on rocky hills and fewer wet Sudanian domain of the country.

The lexisol and plinthosol areas where the species often grow coincides to tropical ferruginous leached and battleship soils. The lexisol is laid on sandstone schists in eco-floristic zone I and on gneiss and granite-gneiss rocks in zone III [63]. Plinthosol is laid on sandstone schist and granite with crude texture, localized in northern part of eco-floristic zone I. The growth of *S. setigera* on tropical ferruginous soil were previously stated by Jonhsonet *et al.* [33] in Senegal. Its predilection of gravelly soil and rocky hills [34, 42, 43] could justify its abundance in zone I, particularly in Tone, Kpendjal, and Cinkassé prefectures, which have more rocky hills' domain and gravelly soils. Even though, threat levels are higher in Sudanian zone, the abundance of the species is due to the favourable environment: presence of rocky hills and gravelly soils unfit for agriculture.

Apart from climatic and soil factors, the abundance and the distribution of the species are also linked to human population density, living standards, and socio-cultural knowledge. Results showed that the importance of human activities is not directly linked to human population density, even though both factors affect the distribution and the abundance of the species. Human population decreases from the southern to the northern part of the country in opposition to anthropogenic threats, which tend to increase. The importance of human activities in sudanian zone should be justified by the highest poverty rate and the important proportion of farmers [37, 64, 65]. Consequently, people use highly plant resources for their daily needs: alimentation, pharmacopeia, source of income and other uses. Admittedly, cultural consideration of *S. setigera* as malefic in Moba ethnic group scattered in Kpendjal, Tône, and Cinkassé prefecture could not favour the preservation of seedlings, however it is a great asset for adult individuals preservation, since the latter are not cut down during farm clearances [66, 67]. Moreover, agroforestry practices of farmers of this zone and their deeply knowledge of this plant part uses by comparison to people leaving in Guinean zone [29] contribute to the conservation the species during farm clearances. The involvement of people on the distribution and abundance were previously reported for *Pentadesma butyracea*, *Tamarindus indica*, and *Vitex doniana* in Benin [7, 68, 69].

4.2 HABITAT SUITABILITY

The habitat suitability model revealed that the most suitable habitat of *S. setigera* is eco-floristic zone I and III. The species was also predicted in eco-floristic zone II and V. Therefore, the species fundamental niche is larger than its occurrence observed [6]. This result is in accordance with previous studies which showed that a species fundamental niche is always larger than its realized niche [46, 70]. Constraints of human settlements, human population density, land use, soil, and use knowledge may be the factors, which have limited the species dispersal. Apart from climatic parameters, topography, and soil characteristic, ethno-ecological knowledge and use are valuable factors, which affect plant species dispersal and survival. The soil characteristic is unsuitable for the species [42] in the predicted area of northeast of eco-floristic zone V. The human population densities, human activities and land use type [6, 37, 59] could explain the apparent absence of the species in some suitable predicted areas of eco-floristic zone II. The non-observation in areas predicted as suitable habitat may also be explained by the limitation of seed dispersal which is known to be low [8]. Therefore, human activities and climate fluctuation especially drought recurrence observed these last years [71] should reduce its regeneration capacity.

In future, the vulnerability of *S. setigera* could be increased in the face of climate change with the reduction of water availability [15, 17]. However, the capacity of the species to grow on a wide variety of soil with low nutrients [34, 42, 43], with water constraint through water and nutrient' stock within swollen roots by seedling [8] could be an asset against rude and changing climate conditions.

Even through, the prediction seem suitable, the integration of soil, evapotranspiration, and land cover variables will better improve the model. The soil through its structure, nutriment availability, and water dynamic (soil moisture content and infiltration) is an important ecological factor which affects plants species germination and growing. According to scholars, *S. setigera* could be growth on a variety of soils, but it enfolds rocky hills and gravelly soils [42, 43, 72]. The importance of edaphic variables in the quality of prediction models was showed by Coudunet *al.* [73].

The evapotranspiration is another very important ecological factor, since it is correlated to plants' transpiration. The precipitation combined to potential evapotranspiration will help to determine the water balance, a useful factor which define the soil humidity (partially explained by precipitation and temperature) and consequently plants flowering, fruiting, seeds dispersal, and germination, and plants development. Land cover and land use affect soil moisture and infiltration, and evapotranspiration [74]. Assessing the impact of such factors is important for a best strength of a niche model. Elsewhere, the distribution of plant species is not affected solely by climatic factors, the biotic factors such as human activities which could favour or hinder seed dispersal. The complex interaction among vegetation, soils, geology, climate variables, and human activities schedule plant species distribution and abundance. Despite these limits, climatic variables remain very useful and most available variables used in the assessment of species modelling, especially in a large scale.

5 CONCLUSION

S. setigera is widespread in Togo and is more abundant in respectively in eco-floristic zone I and III. Its abundance and distribution pattern were affected by biotic and abiotic factors. It enfolds tropical ferruginous soils and is met in areas less wet and elevated with relative high temperature. Human activities encountered within *S. setigera* stands increase from south to north by opposition to population sizes. So, the importance of human activities is not linked only to the presence of people but also to plant resources use knowledge and needs. The species potential habitat suitability model performed reveals habitat suitability in some areas where *S. setigera* is not observed. Apart from elevation, the two variables which affect

mostly the distribution of *S. setigera* are the annual precipitation and the isothermality. Eco-floristic zones I and III were pointed out as the most suitable habitat of *S. setigera* and could be chosen as future vulgarization areas. Conservation strategies are needed for lasting management and valorisation of the species. To improve model quality further, the combination of land use, edaphic parameters, evapotranspiration variables, and human activities data are in need. The knowledge of socio-economic importance would contribute greatly to the conservation of the species since the socio-economic value is a factor, which determine the preservation and the integration of species in agroforestry systems. Cultivars' selection, nursing, and assessment of future climate impact on the population viability will be further research priority for a sustainable management and domestication of the species in Togo. The implication of protected areas on the conservation of the species will be also investigated.

ACKNOWLEDGMENT

This study was financed by International Foundation for Science (IFS). Our heartleaf to all Togolese local communities and fieldwork guides.

REFERENCES

- [1] F. Folega M. Dourma K. Wala K. Batawila C.-y. Zhang X.-h. Zhao, and K. Akpagana, "Assessment and impact of anthropogenic disturbances in protected areas of northern Togo", *For. Stud. China*, vol. **14**, no. 3, pp. 216-223, 2012.
- [2] S.M. Khan S. Page H. Ahmad, and D. Harper, "Anthropogenic influences on the natural ecosystem of the naran valley in the western himalayas", *Pakistan J. Bot.*, vol. **44**, no. pp. 231-238, 2012.
- [3] K. Dimobe K. Wala M. Dourma M. Kiki Y. Woegan F. Folega K. Batawila, and K. Akpagana, "Disturbance and Population Structure of Plant Communities in the Wildlife Reserve of Oti-Mandouri in Togo (West Africa)", *Ann. Rev. Res. Biol.*, vol. **4**, no. 15, pp. 2501-2516, 2014.
- [4] L. Tchassanti S. Akpavi M. Dourma K. Dimobe G. Tebonou Y. Nuto K. Batawila, and K. Akpagagana, "Impacts de l'exploitation artisanale de l'or sur les ressources naturelles à Kemeni (région centrale du Togo)", *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, vol. **15**, no. 2, pp. 23-38, 2013.
- [5] K. Wala, "La végétation de la chaîne de l'Atakora au Bénin: diversité floristique, phytosociologie et impact humain", *Acta Bot. Gall.*, vol. **157**, no. 4, pp. 793-796, 2010.
- [6] W. Atakpama F. Folega M. Dourma A.Y. Woegan B. Diwediga K. Wala K. Batawila, and K. Akpagana, "Woody species diversity, structure and distribution of *Sterculia setigera* Del. in Togo (West Africa)", *Ann. Rev. Res. Biol.*, vol. **4**, no. 24, pp. 4511-4528, 2014.
- [7] B. Fandohan A.E. Assogbadjo R.G. Kakaï, and B. Sinsin, "Geographical distribution, tree density and fruit production of *Tamarindus indica* L. (Fabaceae) across three ecological regions in Benin", *Fruits*, vol. **66**, no. 2, pp. 53-66, 2011.
- [8] A. Ouédraogo and A. Thiombiano, "Regeneration pattern of four threatened tree species in Sudanian savannas of Burkina Faso", *Agrof. Syst.*, vol. **86**, no. 1, pp. 35-48, 2012.
- [9] D. Daldoum M. Massaud, and Y.O. Adam, "Distribution, fruit production and natural regeneration of *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. subsp. *birrea* in the Nuba mountains, Sudan", *World J. Agri. Sci.*, vol. **8**, no. 3, pp. 234-239, 2012.
- [10] B. Bastide and S.J. Ouédraogo, "Feux précoces et production fruitière de *Detarium microcarpum* Guill. et Perr. en zone sud soudanienne du Burkina Faso", *Sécheresse*, vol. **20**, no. 4, pp. 388-393, 2009.
- [11] W. Thuiller, "Biodiversity: climate change and the ecologist", *Nature*, vol. **448**, no. 7153, pp. 550-552, 2007.
- [12] S. Saatchi W. Buermann H. Ter Steege S. Mori, and T.B. Smith, "Modeling distribution of Amazonian tree species and diversity using remote sensing measurements", *Rem. Sens. Envi.*, vol. **112**, no. 5, pp. 2000-2017, 2008.
- [13] R. Jalonen M. Van Zonneveld E. Thomas H. Gaisberger B. Vinceti H.L. Thong, and J. Loo. "Identifying tree populations for conservation action through geospatial analyses". in *Asia and the Pacific Workshop - Multinational and transboundary conservation of valuable and endangered forest tree species (5-7 December 2011)*. Guangzhou, China: IUFRO, 2012.
- [14] M. van Zonneveld A. Jarvis W. Dvorak G. Lema, and C. Leibing, "Climate change impact predictions on *Pinus patula* and *Pinus tecunumanii* populations in Mexico and Central America", *For. Ecol. Manag.*, vol. **257**, no. pp. 1566-1576, 2009.
- [15] R.K. Pachauri and A. Reisinger, "Climate change 2007. Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth assessment report", in *Secondary "Climate change 2007. Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth assessment report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva (Switzerland)*. p. 104, 2007.
- [16] C. Müller, "Climate change impact on Sub-Saharan Africa: an overview and analysis of scenarios and models. Bonn. 47, 2009.

- [17] R.T. Watson I.R. Noble B. Bolin N.H. Ravindranath D.J. Verardo, and D.J. Dokken, "Land use, land-use change, and forestry: a special report of the intergovernmental panel on climate change", in *Secondary "Land use, land-use change, and forestry: a special report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. p. 388, 2000.
- [18] A. Akodéwou S. Akpavi M. Dourma K. Batawila K.B. Amégnaglo W. Atakpama, and K. Akpagana, "*Sorindeia warneckei* Engl. (Anacardiaceae), une espèce multi-usagère de la dépression de la Lama au Togo", *Afrique Sci.*, vol. **10**, no. 2, pp. 450-461, 2014.
- [19] M. Dourma K. Wala R. Bellefontaine K. Batawila K. Guelly, and K. Akpagana, "Comparaison de l'utilisation des ressources forestières et de la régénération entre deux types de forêts claires à *Isoberlinia* au Togo", *BFT*, vol. **302**, no. 2, pp. 5-19, 2009.
- [20] M.A. Mbow E. Traore M. Diouf, and L. Akpo, "Valeurs bromatologique et nutritive de jeunes feuilles de *Sterculia setigera* Del. en milieu soudanien au Sénégal", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. **7**, no. 1, pp. 203-212, 2013.
- [21] A. Atato K. Wala K. Batawila N. Lamien, and K. Akpagana, "Edible Wild Fruit Highly Consumed during Food Shortage Period in Togo: State of Knowledge and Conservation Status", *J. Life Sci.*, vol. **5**, no. pp. 1046-1057, 2011.
- [22] C. Buchmann S. Prehler A. Hartl, and C.R. Vogl, "The importance of baobab (*Adansonia digitata* L.) in rural West African subsistence suggestion of a cautionary approach to international market export of baobab fruits", *Ecol. Food Nut.*, vol. **49**, no. 3, pp. 145-172, 2010.
- [23] G.N. Gouwakinnou A.M. Lykke A.E. Assogbadjo, and B. Sinsin, "Local knowledge, pattern and diversity of use of *Sclerocarya birrea*", *Journao of Ethnobiology and Ethnomedecine*, vol. **7**, no. pp. 8, 2011.
- [24] N. Lamien M. Ekué M. Ouedraogo, and J. Loo, "*Parkia biglobosa*, african locust bean", in *Secondary "Parkia biglobosa*, african locust bean. Biovers. Int.: Rome, Italy. p. 01-08, 2011.
- [25] A.E. Assogbadjo R.L.G. Kakaï B. Sinsin, and D. Pelz, "Structure of *Anogeissus leiocarpa* Guill., Perr. natural stands in relation to anthropogenic pressure within Wari-Marô Forest Reserve in Benin", *African J. Ecol.*, vol. **48**, no. 3, pp. 644-653, 2010.
- [26] M. Oumrou T. Sinadouwirou M. Kiki R.G. Kakaï G.A. Mensah, and B. Sinsin, "Disturbance and population structure of *Vitex doniana* Sw. in northern Benin, West Africa", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. **4**, no. 3, pp. 624-632, 2010.
- [27] M.A. Mbow S. Ngom M. Diouf, and L.E. Akpo, "Prédiction de la qualité fourragère des feuilles de *Sterculia setigera* Del. par la méthode de la Spectroscopie Proche Infra Rouge (SPIR)", *J. Appl. Biosci.*, vol. **62**, no. pp. 4628-4636, 2013.
- [28] M. Ouedraogo K. Konaté P. Zerbo N. Barro, and L.L. Sawadogo, "Phytochemical analysis and in vitro antifungal profile of bioactive fractions from *Sterculia setigera* (Sterculiaceae)", *Cur. Res. J. Biolo. Sci.*, vol. **5**, no. 2, pp. 75-80, 2013.
- [29] W. Atakpama K. Batawila A. Gnamkoulamba, and K. Akpagana, "Quantitative approach of *Sterculia setigera* Del. (Sterculiaceae) ethnobotanical uses among rural communities in Togo (West Africa)", *Ethnobotany Research & Applications*, vol. **14**, no. pp. 065-080, 2015.
- [30] I.T. Babalola and E.A. Adelakun, "Isolation of stigmast-5-en-3 β -ol (β -sitosterol) from dichloromethane extract of *Sterculia setigera* Leaves (Sterculiaceae)", *Arch. Appl. Sci. Res.*, vol. **5**, no. 5, pp. 16-19, 2013.
- [31] I.T. Babalola E.A. Adelakun Y. Wang, and F.O. Shode, "Anti-TB Activity of *Sterculia setigera* Del., Leaves (Sterculiaceae)", *J. Pharma. Phytochem.*, vol. **1**, no. 3, pp. 19-26, 2012.
- [32] J. Henric, "*Sterculia setigera* et la gomme mbep", *Le Flamboyant*, vol. **54**, no. pp. 8-9, 2001.
- [33] A. Jonhson M. Sy, and M. Gaye, "*Etude de cas sur les produits naturels: le lallo mbepp au Sénégal*. USAID/EGAT, IRG. 66, 2005.
- [34] M. Arbonnier, "*Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*". 2 ed.: CIRAD-MNHN. 573, 2002.
- [35] W. Atakpama K. Batawila K. Wala M. Dourma H. Pereki K. Akpagana, and M. Gbeassor, *Use values and gum production test of Sterculia setigera Del.: a multifunctional species of Togo*, in "For. Trees Serving the People of Africa and the World. UIFRO-FORNESSA: Nairobi, Kenya. pp. p. 259, 2012.
- [36] K. Batawila, "Investigation sur la disponibilité de *Sterculia setigera* (Malvaceae) Sterculiaceae au Togo. Plante à intérêt cosmétique", in *Secondary "Investigation sur la disponibilité de Sterculia setigera (Malvaceae) Sterculiaceae au Togo. Plante à intérêt cosmétique*. LBEV-FDS-UL, Univ. Lomé, Togo. p. 4, 2008.
- [37] DGSCN, "*Recensement générale de la population et de l'habitat (du 06 au 21 novembre 2010). Résultats définitifs*, ed. B.d.R. Nationale. Togo: République Togolaise/Ministère auprès du Président de la République, Chargé de la Planification, du Développement et de l'Aménagement du Territoire. 57, 2011.
- [38] H. Ern, "Die Vegetation Togos, Gliederung, Gefährdung, Erhaltung", *Willdenowia*, vol. **9**, no. pp. 295-315, 1979.
- [39] F. Folega M. Dourma K. Wala K. Batawila Z. Xiuhai Z. Chunyu, and K. Akpagana, "Basic overview of riparian forest in sudanian savanna ecosystem: case study of Togo", *Rev. Ecol. Terre Vie*, vol. **69**, no. 1, pp. 24-38, 2014.
- [40] F. Folega C. Zhang Y. Woegan K. Wala M. Dourma K. Batawila J. Seburanga X. Zhao, and K. Akpagana, "Structure and ecology of forest plant community in Togo", *Journal of Tropical Forest Science*, vol. **26**, no. 2, pp. 225-239, 2014.

- [41] A.B. Kebenzikato K. Wala M. Dourma W. Atakpama K. Dimobe H. Pereki K. Batawila, and K. Akpagana, "Distribution et structure des parcs à *Adansonia digitata* L. (baobab) au Togo", *Afrique Sci.*, vol. **10**, no. 2, pp. 434-449, 2014.
- [42] M. Sacandé and M. Sanon, "*Sterculia setigera* Delile", in *Secondary "Sterculia setigera* Delile. Forest & Landscape: Hørsholm Kongevej, Danemark. p. no. 134, 2007.
- [43] SIFOR, "Répertoire des espèces forestières ligneuses des régions de Mopti, Tombouctou et Gao", in *Secondary "Répertoire des espèces forestières ligneuses des régions de Mopti, Tombouctou et Gao. Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement: Bamako (Mali). p. 181, 2009.*
- [44] R.J. Hijmans S.E. Cameron J.L. Parra P.G. Jones, and A. Jarvis, "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas", *Int. J. Clim.*, vol. **25**, no. pp. 1965-1978, 2005.
- [45] FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, "*Harmonized World Soil Database (version 1.2)*. Laxenburg, Austria: FAO, Rome, Italy and IIASA. 38, 2012.
- [46] N.G. Gouwakinnou, "Using niche modeling to plan conservation of an indigenous tree species under changing climate: example of *Sclerocarya birrea* in Benin, West Africa", *Res. Dev. sub-Saharan Africa*, vol. **5**, no. 5, pp. 1-8, 2013.
- [47] B. Fandohan G.N. Gouwakinnou N.H. Fonton B. Sinsin, and J. Liu, "Impact des changements climatiques sur la répartition géographique des aires favorables à la culture et à la conservation des fruitiers sous-utilisés: cas du tamarinier au Bénin", *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, vol. **17**, no. 3, pp. 450-462, 2013.
- [48] M.C. Fitzpatrick and W.W. Hargrove, "The projection of species distribution models and the problem of non-analog climate", *Biodivers. Conserv.*, vol. **18**, no. 8, pp. 2255-2261, 2009.
- [49] R. Khanum A. Mumtaz, and S. Kumar, "Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling", *Acta Oecologica*, vol. **49**, no. 2, pp. 23-31, 2013.
- [50] P.H. Evangelista S. Kumar T.J. Stohlgren, and N.E. Young, "Assessing forest vulnerability and the potential distribution of pine beetles under current and future climate scenarios in the Interior West of the US", *For. Ecol. Manag.*, vol. **262**, no. pp. 307-316, 2011.
- [51] J. Elith S.J. Phillips T. Hastie M. Dudík Y.E. Chee, and C.J. Yates, "A statistical explanation of MaxEnt for ecologists", *Diversity Distrib.*, vol. **17**, no. 1, pp. 43-57, 2011.
- [52] S.J. Phillips R.P. Anderson, and R.E. Schapire, "Maximum entropy modeling of species geographic distributions", *Ecol. Model.*, vol. **190**, no. pp. 231-259, 2006.
- [53] J. Elith C.H. Graham R.P. Anderson M. Dudík S. Ferrier A. Guisan R.J. Hijmans F. Huettmann J.R. Leathwick, and A. Lehmann, "Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data", *Ecography*, vol. **29**, no. pp. 129-151, 2006.
- [54] R.G. Pearson C.J. Raxworthy M. Nakamura, and A.T. Peterson, "Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar", *J. Biogeogr.*, vol. **34**, no. pp. 102-117, 2007.
- [55] P. Hernandez I. Franke S. Herzog V. Pacheco L. Paniagua H. Quintana A. Soto J. Swenson C. Tovar, and T. Valqui, "Predicting species distributions in poorly-studied landscapes", *Biodivers. Conserv.*, vol. **17**, no. pp. 1353-1366, 2008.
- [56] N. Young L. Carter, and P. Evangelista, "*A MaxEnt Model v3. 3.3 e Tutorial (ArcGIS v10)*. Natural Resource Ecology Laboratory at Colorado State University and the National Institute of Invasive Species Science, Colorado, USA. 30, 2011.
- [57] A.T. Peterson J. Soberón R.G. Pearson R.P. Anderson E. Martínez-Meyer M. Nakamura, and M.B. Araújo, "*Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)*. Princeton University Press, Rinceton, NY. 328, 2011.
- [58] M.H. Graham, "Confronting multicollinearity in ecological multiple regression", *Ecology*, vol. **84**, no. 11, pp. 2809-2815, 2003.
- [59] W. Atakpama M. Dourma K. Wala H. Pereki K. Batawila, and K. Akpagana, "Structure and natural regeneration of *Sterculia setigera* Del. plants communities in Sudanian Zone of Togo (West Africa)", *IJPSS*, vol. **3**, no. 4, pp. 330-346, 2014.
- [60] M.I. Daws T.R. Pearson D.F.P. Burslem C.E. Mullins, and J.W. Dalling, "Effects of topographic position, leaf litter and seed size on seedling demography in a semi-deciduous tropical forest in Panama", *Plant Ecol.*, vol. **179**, no. 1, pp. 93-105, 2005.
- [61] A.H. Hirzel and G. Le Lay, "Habitat suitability modelling and niche theory", *J. Appl. Ecol.*, vol. **45**, no. 5, pp. 1372-1381, 2008.
- [62] L. Poorter and L. Markesteijn, "Seedling Traits Determine Drought Tolerance of Tropical Tree Species", *Biotropica*, vol. **40**, no. 3, pp. 321-331, 2008.
- [63] M. Lamouroux, "Carte pédologique du Togo au 1/1.000. 000", in *Secondary "Carte pédologique du Togo au 1/1.000. 000. ORSTOM, Lomé-Togo, 1960.*
- [64] B.K. Lawson Body K. Baninganti E. Homevoh, and E.A. Lamadokou, "Analyse comparative de l'état de pauvreté et d'inégalité au Togo: une approche multidimensionnelle basée sur l'indice de richesse", in *Secondary "Analyse*

- comparative de l'état de pauvreté et d'inégalité au Togo: une approche multidimensionnelle basée sur l'indice de richesse. PR-PMMA-414, Rapport Final: June 18-22, 2006, Addis Ababa, Ethiopia. p. 42, 2006.
- [65] D. Agbeviade, "Profil de pauvreté infantile dans quatre pays de l'UEMOA: une analyse comparative basée sur l'approche multidimensionnelle de la pauvreté", in *Secondary* "Profil de pauvreté infantile dans quatre pays de l'UEMOA: une analyse comparative basée sur l'approche multidimensionnelle de la pauvreté. p. 42, 2007.
- [66] W. Atakpama, "Etude des formations à *Sterculia setigera* Del. dans la zone écofloristique I du Togo : aspects structural et socio-économique", in *Secondary* "Etude des formations à *Sterculia setigera* Del. dans la zone écofloristique I du Togo : aspects structural et socio-économique. Univ. Lomé (ogo). p. 55, 2010.
- [67] W. Atakpama K. Batawila M. Dourma H. Pereki K. Wala K. Dimobe K. Akpagana, and M. Gbeassor, "Ethnobotanical knowledge of *Sterculia setigera* Del. in the Sudanian zone of Togo (West Africa)", *ISRN Botany*, vol. **2012**, no. pp. 8 p, 2012.
- [68] C. Dadjo A.E. Assogbadjo B. Fandohan R. Glèlè Kakai S. Chakeredza T.D. Houehanou P.V. Damme, and B. Sinsin, "Uses and management of black plum (*Vitex doniana* Sweet) in Southern Benin", *Fruits*, vol. **67**, no. 04, pp. 239-248, 2012.
- [69] C. Avocèvou-Ayisso B. Sinsin A. Adégbidi G. Dossou, and P. Van Damme, "Sustainable use of non-timber forest products: Impact of fruit harvesting on *Pentadesma butyracea* regeneration and financial analysis of its products trade in Benin", *For. Ecol. Manag.*, vol. **257**, no. 9, pp. 1930-1938, 2009.
- [70] S. Kumar and T.J. Stohlgren, "Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia", *J. Ecol. Nat. Envi.*, vol. **1**, no. 4, pp. 094-098, 2009.
- [71] H. Badjana K. Houkpè K. Wala K. Batawila K. Akpagana, and K.S. Edjamé, "Analyse de la variabilité temporelle et spatiale des séries climatiques du nord du Togo entre 1960 et 2010", *Eur. Sci. J.*, vol. **10**, no. 11, pp. 257-275, 2014.
- [72] M. Arbonnier, "*Arbres, arbustes et lianes d'Afrique de l'Ouest*. 2e ed. CIRAD, MNHN. 673, 2002.
- [73] C. Coudun J.-C. Gégout C. Piedallu, and J.-C. Rameau, "Soil nutritional factors improve models of plant species distribution: an illustration with *Acer campestre* (L.) in France", *Journal of Biogeography*, vol. **33**, no. pp. 1750-1763, 2006.
- [74] D. Mao and K.A. Cherkauer, "Impacts of land-use change on hydrologic responses in the Great Lakes region", *Journal of Hydrology*, vol. **374**, no. 1, pp. 71-82, 2009.

Effet de la résistance génétique à la cécidomyie sur la composition et la variabilité allélique des sous unités gluténines chez le blé dur

Siham Ouriniche^{1,2}, Mona Taghouti³, Abderraouf Hilali¹, Nasserlhaq Nsarellah², and Aziz Baidani¹

¹Laboratoire d'Agro-Alimentaire et Santé, Université Hassan 1er Faculté des Sciences et Techniques, Settat, Maroc

²Laboratoire d'Amélioration Génétique des plantes, Institut National de la Recherche Agronomique, Settat, Maroc

³Laboratoire de Technologie Agro-Alimentaire et Qualité, Institut National de la Recherche Agronomique, Rabat, Maroc

Copyright © 2016 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: Durum wheat is an important crop in North Africa and Morocco. Hessian fly is the most important insect pest of wheat in the dryland areas in Morocco. Breeding wheat for genetic resistance to pests is the most sustainable strategy. The objective of this study is to assess the genetic diversity of quality criteria in a recombinant population segregated for resistance to Hessian fly and to verify the effects of the presence of H.fly resistance genes on these criteria. Grains of 180 recombinant inbred lines derived from hybrid (Cando-cross-H25 / CI115 // CM829 / BZAIZ-AHF) were analyzed for composition of high molecular weight-glutenin subunits and low molecular weight-glutenin subunits (HMW-GS and LMW-GS). The reaction of these lines to Hessian fly being previously known, these results were compared between H. fly resistant and susceptible lines. Electrophoretic analysis revealed six different bands. The various combinations of these bands gave eight allelic forms encoded by Glu B1 locus. Two allelic classes were observed for low molecular weight-glutenin subunits, they are LMW-SG-1 and LWM-SG-2. The protein composition of this collection presents a great variability that will be useful to breeders by allowing choosing the useful alleles and broadening the genetic base. The characteristics studied were found similar between classes of H. fly resistant and susceptible lines.

KEYWORDS: Glutenin, SDS-PAGE, allelic variability, durum wheat, genetic resistance, Hessian fly.

RESUME: Le blé dur est une culture importante en Afrique du Nord et au Maroc. La cécidomyie est l'un des principaux ravageurs du blé dur dans la plupart des zones arides et semi-arides. La résistance génétique est en cours d'être étudiée et développée. L'objectif de cette étude est d'évaluer, la diversité génétique des critères de qualité dans une population recombinante ségréguée pour la résistance à la cécidomyie et de vérifier les effets de la présence de gènes de résistance à la cécidomyie sur ces mêmes critères. Les grains de 180 lignées recombinantes issues de l'hybride (Cando-cross-H25/CI115//CM829/BZAIZ-AHF) ont été analysés pour la composition en sous unités de gluténines de haut et de faible poids moléculaire (SG-HPM et SG-FPM). La réaction de ces lignées à la cécidomyie étant préalablement connue, ces résultats ont été comparés entre les lignées sensibles et résistantes à la cécidomyie. L'analyse électrophorétique a permis de dénombrer six bandes différentes. Les diverses combinaisons de ces bandes ont donné huit formes alléliques, du locus Glu B1. Deux classes alléliques ont été observées pour les sous unités gluténines de faible poids moléculaires, celles-ci sont SG-FPM-1 et SG-FPM-2. La composition protéique de cette collection présente une grande variabilité qui sera utile aux améliorateurs en permettant de choisir les allèles utiles et en élargissant la base génétique. Les caractéristiques étudiées se sont révélées similaires entre les classes de lignées résistantes et sensibles à la cécidomyie.

MOTS-CLEFS: Gluténines, SDS-PAGE, variabilité allélique, blé dur, résistance génétique, cécidomyie.

1 INTRODUCTION

Le blé dur est une culture importante au Maroc. La cécidomyie est l'un des principaux insectes ravageurs du blé dans les zones arides et semi-arides et la résistance génétique est l'approche indiquée pour le control. Les études génétiques sur la résistance génétique à cet insecte ne font que commencer. Dans le processus de l'amélioration génétique des performances agronomiques, l'attention doit être gardée pour la qualité technologique. L'amélioration de la qualité technologique et nutritionnelle du blé nécessite le développement de recherches dans les domaines de la sélection variétale [11]. Au Maroc, le blé dur est principalement consommé sous forme de semoule et de pâtes alimentaires. Il est aussi utilisé dans la fabrication du pain [3]. L'aptitude des semoules à fournir des pâtes de qualité dépend de leurs compositions en protéines [18]. Les gluténines représentent 40 à 50% des protéines de réserve du blé [15]. Elles sont présentes dans le grain mature sous forme d'agréats de tailles variables qui sont extrêmement importants dans la définition des propriétés technologiques des blés [20].

L'élasticité des gluténines dépend de la nature des sous-unités entrant dans sa composition [9]. Elles sont séparées en deux sous-groupes : les sous unités gluténines de faible poids moléculaire (SG-FPM) dont le poids moléculaire est compris entre 30 et 60 kDa et celles de haut poids moléculaire SG-HPM dont le poids moléculaire varie entre 80 et 120 kDa [17], [20].

Le polymorphisme des gluténines est contrôlé par des gènes codant pour les SG-HPM, dans le cas du blé, ces gènes sont situés sur le bras long des chromosomes A1 et B1, qui sont liés aux loci Glu-A1 et Glu-B1. Chacun de ces loci code pour une sous-unité de type-x et de type-y. Les loci Glu-A3 et Glu-B3 sont situés sur le bras court des chromosomes 1 et sont les loci majeurs des SG-FPM [4], [16], [25].

L'observation du polymorphisme des sous unités des gluténines est utilisée comme complément dans l'identification variétale. Ces protéines constituent des marqueurs biochimiques, qui peuvent fournir des informations sur l'évolution de la diversité des blés au cours des cycles successifs de la création variétale.

Cette étude est menée dans le cadre du développement et de la valorisation des ressources phytogénétiques de blé dur par l'analyse du polymorphisme des marqueurs biochimiques (sous unités gluténines de haut et faible poids moléculaire) et de l'étude de l'association génétique entre les gènes de résistance à la cécidomyie avec ces déterminants génétiques de la qualité du grain. L'objectif de cette étude est d'évaluer les critères de qualité du grain chez une collection de lignées recombinantes de blé dur ségrégant pour la résistance génétique à la cécidomyie.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL ET ESSAIS AU CHAMP

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué d'une collection de 180 lignées recombinantes de blé dur issues d'un croisement entre des variétés de blé dur (Cando-cross-H25/ CI115//CM829/ BZAIZ-AHF) possédant la résistance à la cécidomyie et des variétés adaptées aux conditions pédoclimatiques des zones arides et semi-arides. La population est issue de 4 parents (hybride double) et devrait donc comprendre plus de deux allèles par locus.

Cette population a été fournie par le centre international des recherches dans les zones arides (ICARDA) et par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA du Maroc), et est destinée aux études d'associations génétiques impliquant la résistance génétique à la cécidomyie avec plusieurs caractères du blé dur.

Ces lignées ont été précédemment soumises à une infestation par la mouche de Hesse et l'évaluation de la réponse a été faite pour grouper les lignées en résistantes et sensibles. Les deux groupes ont été soumis à une analyse des fréquences des sous unités gluténines de haut et de faible poids moléculaires.

2.2 ANALYSE BIOCHIMIQUE

2.2.1 EXTRACTION DES GLUTÉNINES

La méthode d'extraction utilisée est la technique de séparation des protéines, selon leur solubilité dans trois solutions de bases décrite par [24]. L'extraction s'est faite à partir de 20 mg de la mouture mélangée à 1 ml d'une solution d'extraction contenant 50% du 1-propanol (v.v). Puis, le mélange est homogénéisé intermédiairement toutes les dix minutes, et incubé à température ambiante durant 30 minutes, suivi d'une centrifugation à 10 000 rpm pendant 5 minutes, afin d'éliminer le surnageant par aspiration. Ce premier rinçage du culot est suivi par un deuxième rinçage par l'ajout de 0.5

ml de la solution 50% de 1-propanol dans le but de s'assurer de l'élimination complète des gliadines. A cette étape, le culot ne contient que des gluténines dont l'extraction consiste en une réduction suivie d'une alkylation. La réduction des gluténines a été faite par l'ajout de 0,1ml de la solution contenant 50% du 1-propanol, de 0.08M Tris HCl (pH=8.0) et 1% (p/v) de Dithiotreitol. Puis, le mélange est vortexé et incubé à température ambiante pendant 30 minutes, suivi d'une centrifugation à 10000 rpm durant 5 minutes. L'alkylation des protéines consiste à ajouter 0,1 ml de la solution de base contenant le 4-vinyl-pyridine (1,4% (v/v)). Puis, le mélange est ainsi incubé à 65°C pendant 15 minutes et centrifugé à 10000 rpm pendant 2 minutes. Un aliquote de 0,1ml de surnageant est transféré dans un autre tube contenant 0,1 ml d'une solution constituée de 2% SDS, 40% glycérol, 0.02% Bleu de Bromophénol et 0.08M de Tris HCl (pH=8.0). Finalement, le mélange est bien agité et incubé à une température de 65°C durant 15 minutes pour la formation du complexe SDS-gluténines réduites et alkyles. Les échantillons sont donc prêts pour une séparation des SG-HPM et des SG-FPM par SDS-PAGE.

2.2.2 LA SEPARATION DES PROTEINES PAR SDS-PAGE

La technique d'électrophorèse utilisée est celle proposée par [10] modifiée par [24]. Le support d'électrophorèse est formé de deux gels, un gel de séparation (14%) constitué d'acrylamide, de N_N' Mèthylen_Bis-Acrylamide, de 1,5M Tris HCL (pH= 8,8) et de SDS 10%, La polymérisation de ces constituants est catalysée par Ammonium Persulfate 10% (APS) et le TEMED, qui sont ajoutés en derniers. Et un autre gel de concentration (4%) dont ses constituants sont ceux du gel de séparation avec une différence au niveau des Tris HCL qui a un pH de 6,8.

Une fois le dépôt des extraits effectué, le gel est soumis à une tension constante de 100 V pendant environ 18h. Les protéines chargées négativement migrent vers l'anode et sont séparées selon leur encombrement moléculaire. La migration est arrêtée lorsque le colorant (Bleu de Bromophénol) quitte le gel.

2.2.3 FIXATION ET COLORATION

Après la sortie du front de migration (coloré en bleu), la migration est arrêtée. Les gels sont démoulés et récupérés dans des bacs en plastique puis recouverts avec une solution de coloration constituée d'un fixateur des protéines, le TCA (Trichloracétique acide) à 10% et d'un colorant, le bleu de Coomassie R 250. Les gels sont maintenus en agitation pendant 24 heures pour éviter le dépôt du colorant. Après, ils sont décolorés dans de l'eau et seront prêts à la lecture d'après la nomenclature établie par [12] adoptée pour les gluténines de haut poids moléculaire et pour les sous unités gluténines de faible poids moléculaire.

2.3 ANALYSE STATISTIQUE

Après la lecture des sous unités gluténines de haut et de faible poids moléculaire, Les fréquences alléliques ont été calculées à l'aide d'un logiciel statistique approprié SPSS et les fréquences entre les deux groupes ont été calculées par le test Ki carré impliquant les fréquences attendues des formes alléliques et des deux classes, résistante et sensible.

3 RÉSULTATS

Pour l'ensemble de 180 lignées recombinantes de blé dur ségrégant pour la résistance à la mouche de Hesse (RILs), 15 gels d'électrophorèse ont été effectués. Les variétés Erdent, Cham 1 et Fanfarron ont été utilisées comme témoins pour chacun des gels.

3.1 LA DIVERSITE ALLELIQUE DES SOUS UNITES DE GLUTENINES POUR LA TOTALITE DES GROUPES

L'analyse des diagrammes électrophorétiques nous a permis de distinguer six types de bandes de mobilités différentes (6, 8, 9, 16, 7 et 20), Fig.1. Ces bandes recouvrent les sous unités à haut poids moléculaire contrôlées par le chromosome B (Tableau 1).

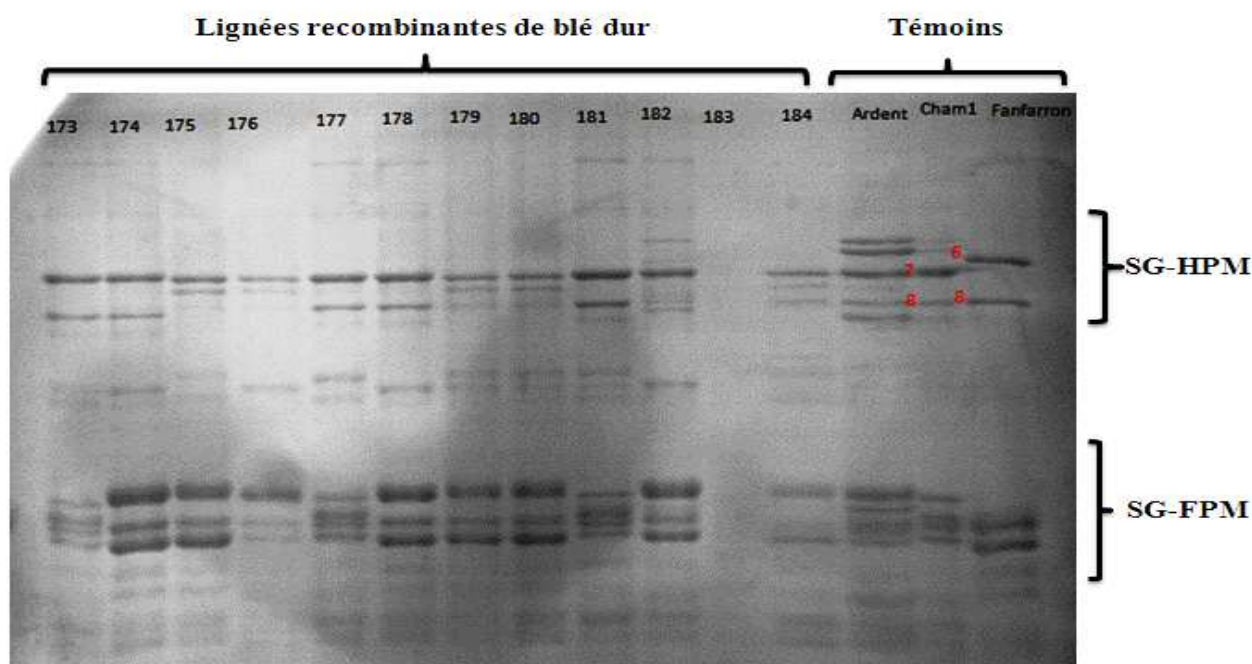


Fig.1. SDS-PAGE de quelques lignées recombinantes de blé dur

Les résultats obtenus montrent que les gluténines des RILs (Recombinant Inbred Lines) de blé dur présentent un grand polymorphisme.

Au niveau du locus Glu B1, huit formes alléliques différentes ont été observées pour les sous unités de haut poids moléculaires : (6+8), (6+8,9), (6+9), (7+8), (7+8,9), (7+8,16), (7+8,20) et (7+9) décrites précédemment par [12] , la forme allélique « Nulle » a caractérisé le locus Glu A1. Deux classes alléliques ont été observées pour les sous unités gluténines à faible poids moléculaire : FPM-1 et FPM-2.

Les fréquences des diagrammes des sous unités de gluténines de haut et de faible poids moléculaires pour l'ensemble des trois groupes sont présentées dans le tableau 1.

L'allèle le plus fréquent au niveau du Glu B1 est l'allèle (7+8) avec un pourcentage de 62,2 % suivi par l'allèle (7+9) avec 14,4%, puis viennent les deux allèles (7+8,9) et l'allèle (6+8) avec des fréquences respectives de 8,9 et 8,3 %. Tandis que les allèles (7+8,20), (6+8,9), (6+9) et (7+8,16) sont les moins exprimés dans notre collection avec des fréquences respectives de 3,3% , 1,7% et 0,6% (Fig.2).

Les deux types des sous unités gluténines de faible poids moléculaire exprimés dans cette collection sont SG-FPM-1 et SG-FPM -2 avec des fréquences de 28,3% et de 71,7% respectivement (Fig.2).

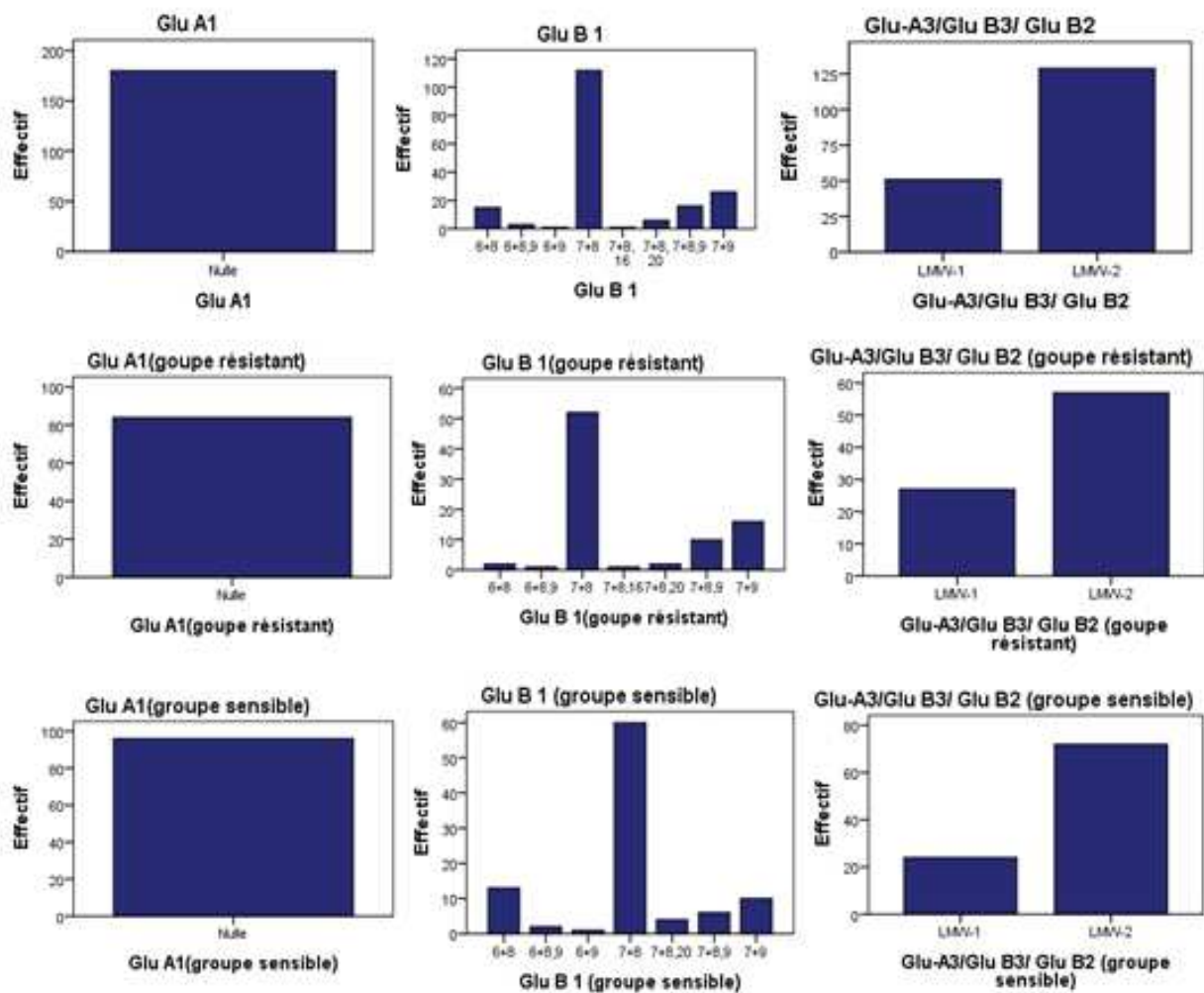


Fig. 2. Distribution des fréquences des sous unités de gluténines de haut et de faible poids moléculaires de l'ensemble des trois groupes

Tableau 1 : Les fréquences des diagrammes des sous unités de haut et de faible poids moléculaires des trois groupes 'résistant et sensible', 'résistant' et le groupe sensible

locus	allèle	Totalité des groupes		Groupe résistant		Groupe sensible	
		effectif	%	effectif	%	effectif	%
Glu A1	Nulle	180	100	84	100	96	100
Glu B1	6+8	15	8,3	2	2,4	13	13,5
	6+8,9	3	1,7	1	1,2	2	2,1
	6+9	1	0,6	-	-	1	1,0
	7+8	112	62,2	52	61,9	60	62,5
	7+8,16	1	0,6	1	1,2	-	-
	7+8,20	6	3,3	2	2,4	4	4,2
	7+8,9	16	8,9	10	11,9	6	6,3
	7+9	26	14,4	16	19,0	10	10,4
Glu-A3/Glu B3/ Glu B2	FPM-1	51	28,3	27	32,1	24	25,0
	FPM -2	129	71,7	57	67,9	72	75,0

3.2 LA DIVERSITE ALLELIQUE DES SOUS UNITES DE GLUTENINES POUR LE GROUPE RESISTANT

La variabilité allélique est aussi importante pour le groupe des lignées résistantes au niveau du chromosome B1 avec sept formes alléliques. La forme allélique la plus dominante est l'allèle (7+8) avec une fréquence de 61,9% suivie par l'allèle (7+9) avec un pourcentage de 19,0% puis vient l'allèle (7+8,9) avec une fréquence de 11,9% (Tableau 1). Les autres allèles sont présents mais avec de faibles fréquences (Fig.2).

En ce qui concerne les sous unités gluténines de faible poids moléculaires des deux types alléliques FPM -1 et FPM -2 ont été exprimés chez ce groupe de lignées avec des fréquences qui sont respectivement de l'ordre de 32,1% et de 67,9% (Fig. 2).

3.3 LA DIVERSITE ALLELIQUE DES SOUS UNITES DE GLUTENINES POUR LE GROUPE SENSIBLE

Pour le groupe des lignées sensibles, les résultats obtenus révèlent aussi que le locus Glu-B1 présente une importante variation allélique avec un total de sept allèles identifiés. L'allèle le plus fréquent est l'allèle (7+8) trouvé dans 62,5 % de la collection du groupe sensible, suivi par l'allèle (6+8) avec un pourcentage de 13,5 %, puis l'allèle (7+9) avec une fréquence de 10,4 % (tableau 1). Les allèles (7+8,9), (7+8,20), (6+8,9) et (6+9) sont exprimés dans ce groupe avec des fréquences respectives de 6,3%, 4,2%, 2,1% et 1%. Cependant, la forme allélique (7+8,16), absent chez le groupe sensible, apparaît chez le groupe résistant avec une faible fréquence de 1,2% (Fig.2). Les formes alléliques de faible poids moléculaire FPM-1 et FPM-2 associées aux loci Glu-A3/Glu B3/ Glu B2 présentent respectivement des pourcentages de 25% et 75% (Fig.2).

3.4 L'ASSOCIATION DE LA COMPOSITION EN SOUS UNITES DE GLUTENINES AVEC LA RESISTANCE A LA CECIDOMYIE

Les données présentées dans la première partie concernent les deux groupes de lignées (résistantes et sensibles à la cécidomyie). En terme de génotype, ces lignées présentent le résultat de la ségrégation aléatoire de tous les allèles présent dans les génotypes issues du double croisement et sont destinées à des études d'association des caractères, des gènes et ou des gènes avec marqueurs moléculaires. Le tableau 1 présente les données par groupe de lignées et par caractéristique génétique liée à la composition en protéines (locus et forme allélique). Les données indiquent que pour le locus Glu A1, il n'y a pas de polymorphisme : on ne peut pas statuer sur le statut d'association avec la résistance à la cécidomyie. Pour le locus Glu B1, deux des huit formes alléliques observées sont phénotypiquement associés avec un locus de la résistance ou de la sensibilité à la cécidomyie. La forme allélique (7+8, 16) semble être associée avec la résistance génétique alors que la forme allélique 6+9 semble être associée avec la sensibilité. Cependant les fréquences absolues de ces deux formes ne sont que de 1/180 et ne peuvent être retenues pour tirer une conclusion quant à l'association significative entre les deux caractéristiques. Pour les loci Glu-A3 / Glu-B3 / Glu-B2, les résultats montrent une indépendance des formes alléliques et les loci de la résistance à la cécidomyie.

4 DISCUSSION

Les différentes formes alléliques de notre collection de RILs de blé dur étaient analysées au niveau des locus Glu A1, Glu B1 et Glu A3/GluB3/GluB2. Pour les sous unités gluténines de haut poids moléculaires, les résultats ont montré que toutes les lignées étudiées possèdent la sous unité nulle au niveau de locus Glu A1. Ce résultat concorde avec celui trouvé par [21] qui ont étudié le polymorphisme des SG-HPM d'une collection constituée de 144 espèces sauvages et cultivées, diploïdes et tétraploïdes, y compris 25 accessions de *Triticum diccicum* et 13 *Triticum durum*, et dans cette étude, toutes les lignées *Triticum durum* montrent l'absence complète des sous unités codées par le locus Glu-A1. Cependant, huit formes alléliques ont été détectées au niveau du locus Glu B1 qui a montré une variabilité allélique très importante des sous unités gluténines de haut poids moléculaire pour chacun des trois groupes : résistant, sensible et la totalité des groupes. En effet, six types de bandes protéiques différentes sont répertoriés, il s'agit des sous unités 6, 7, 8, 9, 16 et 20. Le polymorphisme des sous-unités de gluténines de haut poids moléculaire a aussi été détecté chez un ensemble de blés provenant d'une large collection mondiale [19]. La connaissance de ce polymorphisme peut être utile comme complément à l'identification variétale [2]. De plus, certaines études ont montré que les SG-HPM influent directement sur la qualité de la pâte en panification et sont considérées comme responsables pour 45-70% de la variation de la performance boulangère des blés européens [5], [18]. Aussi, d'autres auteurs ont souligné que l'héritage des gènes de gluténines et la présence de différentes formes alléliques associées aux chromosomes B1 ont des effets sur la qualité de la pâte [8], [13], [14], [18], [22].

Les formes alléliques de haut poids moléculaire (6+8), (7+8) et (7+9) étaient les plus communes et les plus fréquentes par rapport aux sous-unités gluténines 16 et 20 au niveau de chacun des trois groupes. De plus, [1], [23], [7] ont rapporté que

les génotypes de blé dur portant la sous unité gluténines de haut poids moléculaire 20 exposent généralement des propriétés de la pâte plus faibles et une qualité de cuisson inférieure à celles exprimant les sous unités gluténines de haut poids moléculaires 6+8 et 7+8 [1], [23], [7].

Concernant les sous unités gluténines de faible poids moléculaire GS-FPM codé au niveau des locus Glu-A3, B3 et Glu-B2, les résultats obtenus ont montré que 129 sur les 180 lignées analysées possèdent la sous unité FPM -2. Tandis que, 51 lignées ont exprimé la sous unités gluténines de faible poids moléculaire de type 1 (FPM-1). La présence des sous unités gluténines de faible poids moléculaire de type 2 (FPM -2) chez certaines lignées serait à l'origine d'une qualité supérieure comparée aux lignées possédant FPM-1 [6].

Pour l'analyse des associations génétiques entre les loci de la composition protéique et ceux de la résistance à la cécidomyie, les résultats indiquent que le locus Glu A1 ne présente pas de polymorphisme. Pour le locus Glu B1, deux des huit formes alléliques observées semblent être phénotypiquement associées avec un locus de la résistance ou de la sensibilité à la cécidomyie (7+8,16 et 6+9), mais la fréquence absolue de ces formes est réduite et ne peut offrir de conclusions sûres. Pour les loci Glu-A3 / Glu-B3 / Glu-B2, Les résultats montrent une indépendance des formes alléliques des loci de la résistance à la cécidomyie.

5 CONCLUSION

Cette étude a mis en évidence une bonne diversité alléliques des sous unités gluténines de haut et de faible poids moléculaires et des allèles impliquées dans une collection de 180 lignées recombinantes de blé dur.

L'analyse électrophorétique a permis de dénombrer six bandes différentes. Les diverses combinaisons de ces bandes ont donné huit formes alléliques du locus Glu B1. Sur les onze formes alléliques appartenant aux trois loci étudiés, aucune association avec le caractère de la résistance ou la sensibilité à la cécidomyie ne semble être démontrée.

REFERENCES

- [1] K. Ammar, W.E Kronstad, C.F Morris, "Breadmaking quality of selected durum wheat genotypes and its relationship with high molecular weight glutenin subunits allelic variation and gluten protein polymeric composition", *Cereal Chem*, 77: 230-236, 2000.
- [2] J.C Autran, "Recent data on the biochemical basis of durum wheat quality" 257-273, In Charalambous G. & Inglett G. : "The quality of foods and beverages", vol. 1. Acad. Press, pp: 443, 1981.
- [3] A. Belaid, N. Nsarellah, A. Laamari, M. Nachit, A. Amri, "Assessing the economic impact of durum wheat research in Morocco. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Aleppo, Syria", pp. 50, 2005.
- [4] J.A Beitz, K.W Shepherd, J.S Wall, "Cereal single-kernel analysis of glutenin: use in wheat genetics and breeding", *Cereal Chemistry*, 52:513-532,1975.
- [5] G. Branlard, D.A Le Blanc, "Les sous-unités glutenines de haut poids moléculaire des blés tendres et des blés durs cultivés en France". *Agronomie*, 5 (6) : 467-477, 1985.
- [6] R. D'Ovidio, "Single-seed PCR of LMW glutenin genes to distinguish between durum wheat cultivars with good and poor technological properties", *Plant Molecular Biology*, 22: 1173-1176, 1993.
- [7] P.R Shewry, S.M Gilbert, A.W.J Savage, A.S Tatham, Y.F Wan, P.S Belton, N. Wellner, R. D'Ovidio, F. Békés, N.G Halford, "Sequence and properties of HMW subunit 1Bx20 from pasta wheat (*Triticum durum*) which is associated with poor end use properties", *Theor. Appl. Genet.*, 106:744-750, 2003.
- [8] L.R Joppa, L. Khan, N.D Williams, "Chromosomal location of genes for gliadin polypeptides in durum wheat *Triticum turgidum*", *Theor. Appl. Genet.*, 64:289-293, 1983.
- [9] B.S Khatkar, R.J Fido, A.S Tatham, J.D Schofield, "Functional properties of wheat gliadins. I. Effects on mixing characteristics and bread making quality", *J Cereal Sci.*, 35:299-306, 2002.
- [10] U.K Laemmli, "Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4", *Nature*, 227: 680-685, 1970.
- [11] V.B.T Lammerts, P.C Struik, E. Jacobsen, "Ecological concepts in organic farming and their consequences for an organic crop ideotype". *Neth. J. Agric. Sc.*, 50: 1-26, 2002.
- [12] P.I Payne, G.J Lawrence, "Catalogue of alleles for the complex gene loci, Glu-A1, Glu-B1 and Glu-D1 which code for high-molecular weight subunits of glutenin in hexaploid wheat", *Cer. Res. Commun.*, 11: 29-35, 1983.
- [13] M.C Martinez, M. Ruitz, G.M Carrillo, "New B low Mr glutenin subunit alleles at the Glu-A3, Glu-B3 and Glu-B2 loci and their relationship with gluten strength in durum wheat", *Journal of Cereal science*, 40 :101-107, 2004.

- [14] M.T Nieto-Taladriz, M. Ruitz, M.C Martinez, J.F Vazquez, J.M Carrillo, "Variation and classification of B-low molecular weight glutenin subunit alleles in durum wheat", *Theoretical and Applied Genetics*, 95:1155-1160,1997.
- [15] T.B Osborne, "Proteins of the wheat kernel". Publ. No. 84.Carnegie Inst.: Washington DC, 1907 .
- [16] P.I Payne, L .M Holt, E.A Jackson, C.N Law, A.B Damania "Wheat storageProteins : their genetics and their potential for manipulation by plantBreeding", *Phil. Trans. Roy. Soc.B,Bioloical sciences*, 304 : 1120,1984.
- [17] P.I Payne, K.G Corfield, "Subunit composition of wheatglutenin protein isolated by gel filtration in a dissociating medium", *Planta*, 145 :83-88, 1979.
- [18] P.I Payne, "Genetic of wheat storage proteins and the effect of allelic Variation on bread-making quality". *Ann. Rev. Plant. Physiol*, 38 : 141 -153, 1987.
- [19] P.L Payne, L.M Holt, C.W. Law, "Structural and geneti-cal studies on the high molecular weight subunits of wheat glutenin", *Theor. Appl. Genet.*, 63: 129-138 , 1982.
- [20] C.W Wrigley, "Giant proteins with flour power". *Nature* 381:738-739, 1996.
- [21] H.S Randhawa, H.S Dhaliwal, N.K Singh, "Diversity for HMW glutenin composition and the origin of polyploidy wheats" *Ceral Research Communications*, Vol. 25 N° 1, 77-84,1997.
- [22] M. Ruiz, J.M Carillo, "Linkage relationships between prolamin genes on chromosome 1 A and 1 B in durum wheat" *Theor. Appl. Genet.*, 87: 353-360, 1993.
- [23] H.D Sapirstein, P. David, K.R Preston, J.E Dexter, "Durum wheat breadmaking quality: effects of gluten strength, protein composition, semolina particle size and fermentation time". *J. Cereal Sci.*, 45: 150-161, 2007.
- [24] N.K Singh, K.W Shepherd, G.B Cornish, "A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin", *Journal of Cereal Science* 14: 203-208, 1991.
- [25] P.R Shewry, A.S Tatham, J. Forde, M. Kreis, B.J Miflin, "The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: A reassessment". *Journal of Cereal Science*, 4 :97-106, 1986.

Low Carbon Logistics, Green Logistics & Sustainable Logistics: Establishing Concepts and Scope

Cintia Machado de Oliveira¹, Márcio de Almeida D'Agosto¹, Rodrigo de Alvarenga Rosa², and Fabiana do Couto Assumpção¹

¹Transport Engineering Program,
Federal University of Rio de Janeiro,
Rio de Janeiro, RJ, Brazil

²Postgraduate Program in Civil Engineering,
Federal University of Espírito Santo,
Vitória, ES, Brazil

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article presents a systematic literature review, whose main objective is to identify the concepts of green logistics, sustainable logistics and low carbon logistics and to point out the peculiarities, similarities and/or differences among them. As secondary objectives, this article sought to identify other terms associated with similar practices to the ones represented by the discussed terms. We conclude that low carbon logistics has a more limited scope, considering only CO₂ reduction, while green logistics extends this scope, including other environmental aspects and sustainable logistics is the most comprehensive concept, but the least explored by researchers.

KEYWORDS: green logistics, sustainable logistics, low carbon logistics, systematic literature review and freight transport.

1 INTRODUCTION

According to CML (Council of Logistics Management), logistics is the process of planning, implementing, and controlling the efficient, effective flow and storage of goods, services, and related information from point of origin to point of consumption for the purpose of conforming to customer requirements (e.g. [1]). Within this concept, it should be considered, in addition to the direct flow of materials, its inverse flow (reverse logistics), which can have the purpose to carry out minor repairs in the material, to return it, to return its packaging or to recycle it. (e.g. [2]).

Traditionally, logistics aims at cost reduction for a given level of service. In this sense, it acts through three main functions: transport, maintenance of inventory and order processing. On the other hand, there is a growth of social demands for companies to care also for environmental issues in their activities (e.g. [3]). This gives rise to environmentally friendly practices in logistics, which, through measures aimed at the reduction of environmental impacts associated with logistics activities, are also known as green practices (e.g. [2]).

In a broader point of view, the term sustainability implies reconciling environmental, economic and social aspects in human activities (e.g. [4]), and the practice of logistics under a focus that considers social and environmental aspects seems to be associated with the concepts of sustainable logistics, green logistics and low carbon logistics, which relate, because they seek similar objectives, although they use different terms (e.g. [5]).

However, as a theme whose theoretical understanding and practical application has been recently intensified, the concept, and especially the practice, of low carbon logistics, green logistics and sustainable logistics requires a better understanding (e.g. [2], [6]).

In this context, a literature review is providential for the understanding of these concepts, in addition to facilitating the analysis and interpretation of the results of their application (e.g. [7]).

This work adopts the hypothesis that, in implementing the concept of sustainable logistics, broad objectives should be considered, in which social and environmental aspects, in addition to the aspects of cost and service level, should also be part of the logistical activities planning (e.g. [8]). In the case of green logistics, a greater focus is given to the environmental aspect. When considering the concept of low carbon logistics, the goal is to decrease emissions of CO₂, the main greenhouse gas (GHG), and this issue is usually associated with the activity of transport (e.g. [2]).

The main objective of this research is to identify, through a systematic literature review, the concepts of green logistics, sustainable logistics and low carbon logistics, and to point out the peculiarities, similarities and/or differences among them. Thus, improving the theoretical concepts of the terms discussed in this research, disseminating knowledge and promoting an improvement in the practice of production process. The procedure for conducting the systematic literature review was prepared specifically for this work.

As secondary objectives, this article seeks to identify other terms that may be associated with similar practices of the terms discussed, as well as the scope of their application, identifying in which logistics functions and in which economic sectors they were applied in the studies included herein, thus contributing to better decision making in the companies.

From this introduction on, this work is divided into 4 sections. The method and structure of the research are presented in Section 2. In Section 3, we present the application of the method and the results found, highlighting the phases of planning, implementation and dissemination. In Section 4 we present the analysis of the results. Finally, Section 5 considers the conclusions, limitations and suggestions for future work.

2 METHODOLOGY AND STRUCTURE OF THE SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Summarizing the state of the art in a particular area of knowledge is the purpose of the systematic literature review (e.g. [7]). The use of systematic procedures increases the reliability of the results and reduces the possibility of errors (e.g. [9], [10]). In order to achieve this end and according to [11], the systematic literature review consists of three activities: planning, performance and communication and dissemination (Figure 1).

The procedure to carry out the planning of the review consists of three steps: (1) identifying the need for review; (2) preparing the review proposal and (3) developing the review protocol.

The procedure for carrying out the systematic literature review consists of four steps: (1) Identifying and selecting studies; (2) Assessing selected studies; (3) Extracting data and information; (4) Summarizing the data.

The procedure for communication and dissemination of the research consists of two steps: (1) Preparing the reports and (2) Presenting the results.

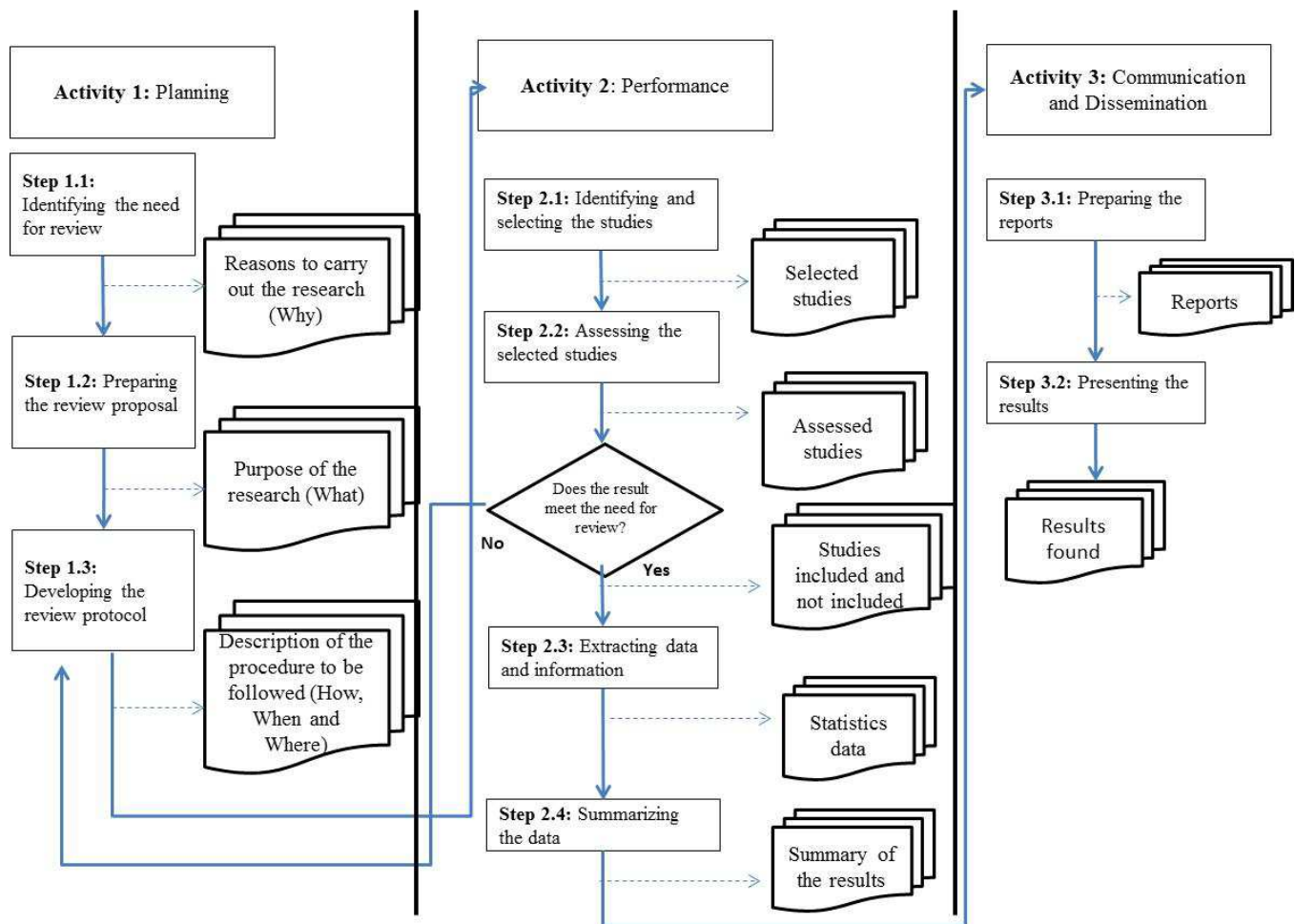


Fig. 1. Procedure adopted in the study

Source: Original preparation based on [11]

The systematic literature review is a secondary study that seeks to gather, synthesize and integrate primary results. It enables the achievement of a data base to justify any result or conclusion. For [12], there are some differences between the traditional narrative review and the systematic literature review. The most significant of them is that the former does not follow a procedure to obtain data and information, and the second uses a rigorous scientific process that can be replicated and improved as many times as necessary.

3 APPLICATION OF THE METHOD AND RESULTS FOUND

This section presents the application of the method shown in Figure 1 and the results found with their respective analyses.

3.1 ACTIVITY 1 - PLANNING

The first activity of the method is planning the systematic literature review as described ahead.

3.1.1 STEP 1.1: IDENTIFYING THE NEED FOR REVIEW

In the last 50 years, logistics has been considered as a determining factor for business performance, for the formation of a profession and for the growth in the area of academic research. Since then, its main purpose has been to maximize profitability, aiming at reducing economic costs and setting aside environmental and social costs. However, in recent years,

the social interest arises in this regard, consequently pushing the companies to reduce the environmental impacts of their logistics operations (e.g. [2]).

In this context, terms like green logistics, sustainable logistics and low carbon logistics should be conceptualized, understood and differentiated, so that the socio-environmental issue can be effectively incorporated to the practice of logistics. In addition, considering that logistics embraces transport, maintenance of inventory and processing of product orders, from the extraction of raw materials to end customers' service, it is necessary to analyze how these activities relate to each of the abovementioned terms.

3.1.2 STEP 1.2: PREPARING THE REVIEW PROPOSAL

This systematic literature review aims mainly to identify the concepts of green logistics, sustainable logistics and low carbon logistics, the peculiarities, similarities and/or differences among them in order to disseminate knowledge and promote an improvement in the practice of the production process.

As secondary objective, this article seeks to identify other terms that may be associated with similar practices, as well as the scope of application of these concepts, contributing to better decision making in the companies.

3.1.3 STEP 1.3: DEVELOPING THE REVIEW PROTOCOL

For identification of the articles, a search has been carried out, as shown in Figure 2A, in the Online Science Direct database, and the selection was performed through the key words "green logistics", "sustainable logistics" and "low carbon logistics". The boolean operators "or" and "and" have also been used, thus enabling, the combination of the criteria for the identification and selection of studies. The search by means of key words has been carried out in the title, the abstract and the key words of the articles. The time scope of the search was from 2003 to 2013. No specific geographical delimitation has been adopted, considering that this is a subject discussed by academics and professionals from every continent on the planet.

Also, in order to identify our target studies, books, theses, dissertations, professional journals and conferences have been filtered out of the search, since, according to [13] and [14], professionals and researchers use scientific journals to acquire information and disseminate new results, which justifies the limiting of the search to scientific peer reviewed journals.

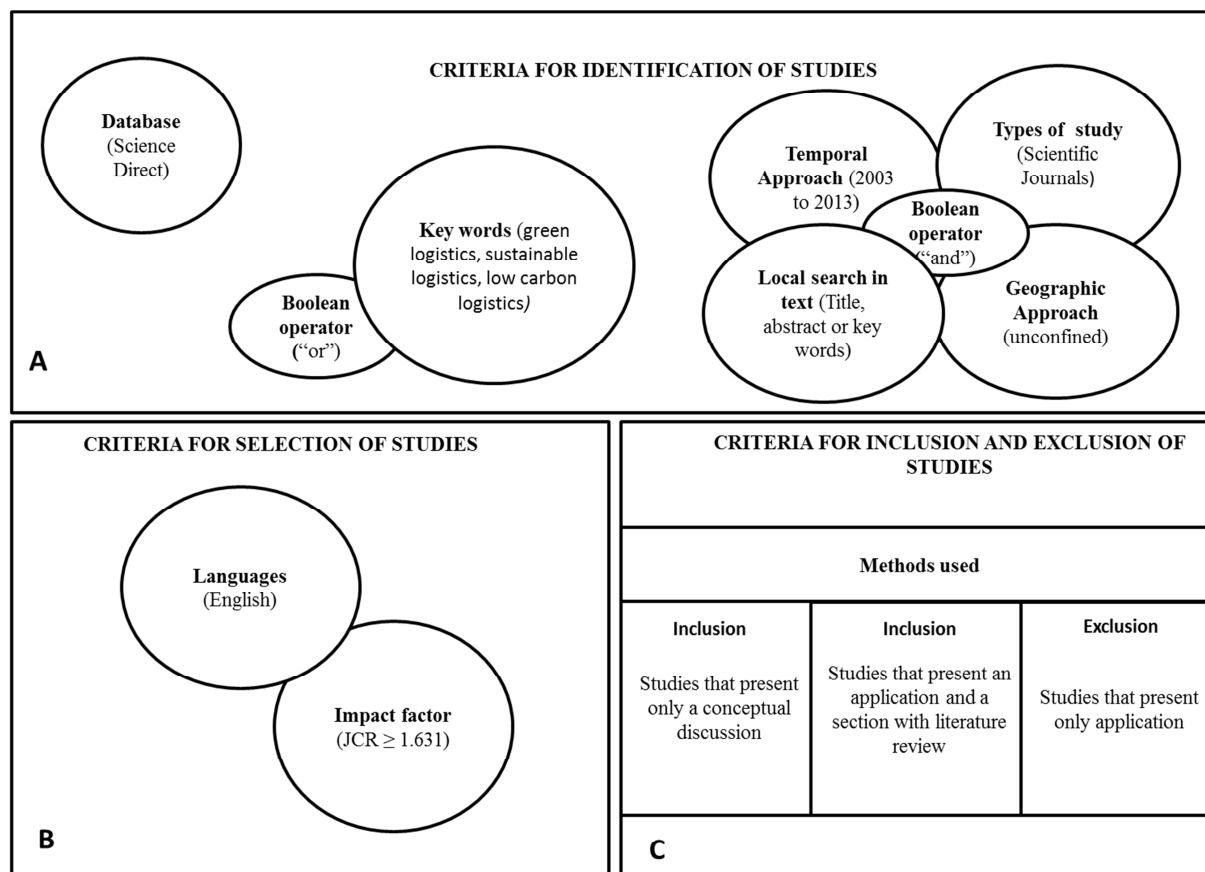


Fig. 2. Criteria for identification, selection, inclusion and exclusion of the studies.

Source: Original preparation based on [11]

For the selection of the studies, as shown in Figure 2B, scientific journals written in English have been considered. In addition, the criterion of Journal Citation Report (JCR) greater than or equal to 1.631 has been adopted. In Brazil, these criteria are classified, according to the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES), as A1 and A2, when classified in the area of Engineering I, in which this work is inserted and, thus, attesting to the quality of the research that has been considered.

As inclusion and exclusion criteria, Figure 2C, a verification of the methodology used in the selected studies has been carried out. Articles that presented a conceptual discussion of the terms selected for identification of the articles or those which presented an application of the concepts with a literature review section have been included for application of this systematic literature review. Conceptual articles are those which have only a literature review on the subject. The studies that presented only an application were not included.

The storage of search results was done using a database, that made it possible to classify, analyze and assess the articles that were used in the systematic literature review.

3.2 ACTIVITY 2 – PERFORMANCE

Once the planning activity has been completed, the systematic literature review begins.

3.2.1 STEP 2.1: IDENTIFYING AND SELECTING STUDIES

The identification and selection of articles followed the criteria presented in sub-item 3.1.3, resulting initially in the identification of 22 articles and, among these, only 19 were selected by means of the criterion of impact factor $JCR \geq 1.631$. (Table 1)

3.2.2 STEP 2.2: ASSESSING THE SELECTED STUDIES

Since only journal articles approved by CAPES were considered, the quality evaluation, initially, was made by reading the abstract in order to identify whether they met the need for review. Among the works included in this research, the number of conceptual articles was relatively low. Only 21% had a conceptual approach, insofar as they were exclusively a literature review, thus causing some difficulty in achieving the purpose of conceptualization of this work. The lack of articles that had the concern to present and analyze the concepts considered made it necessary to expand the scope of the research.

Considering that new terms have been found along the initial assessment that relate to the purpose of this work, the review protocol already described in sub-item 3.1.3 was then changed and a second search was conducted considering five more key words: green transportation, green corridor, sustainable transport, sustainable supply chain and green supply chain (Figure 1). Thus, a new identification was performed, resulting in 41 studies; however, 8 were not selected for this research because they did not meet the selection criteria related to the impact factor $JCR \geq 1.631$.

Table 1. Identification and Selection of the Studies

Term used for identification of the studies	Result of 1 st Assessment		Result of 2 nd Assessment	
	Studies Identified	Studies Selected	Studies Identified	Studies Selected
green logistics	16	14		
sustainable logistics	4	4		
low carbon logistics	2	1		
green transportation			1	0
green corridor			2	0
sustainable transport			6	6
sustainable supply chain			1	1
green supply chain			31	26
Subtotal	22	19	41	33
Total of Studies Identified	63			
Total of Studies Selected	52			

Source: Original preparation

After the new selection of the studies, a list of 52 articles selected for the process of systematic literature review was obtained, spread over 17 different scientific journals, with higher concentrations in: "Supply Chain Management: An International Journal" (25%/13 articles), "International Journal of Production Economics" (21%/11 articles) and "Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review" (13%/7 articles) (Figure 3).

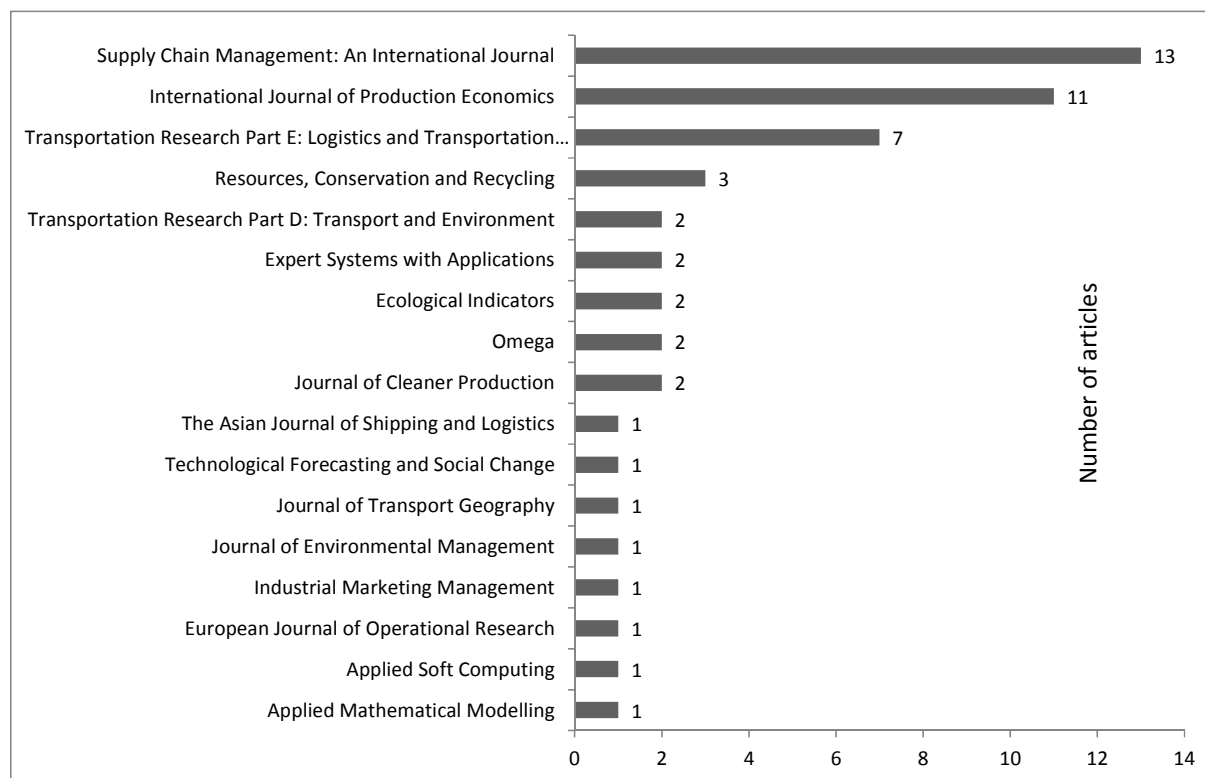


Fig. 3. Distribution of studies by journal

Source: Original preparation

Before the completion of the assessment of all selected works, the criteria for inclusion and exclusion of these works was adopted (Figure 2C). This activity resulted in the exclusion of 19 articles, leaving, thus, 33 studies for the systematic literature review. All in English, and classified by CAPES as A1 and A2 ($JCR \geq 1.631$). After reading the full text of all studies included, data were extracted as presented in section 3.2.4.

3.2.3 STEP 2.3: EXTRACTING DATA AND INFORMATION

The statistical data related to the studies included in the performance of this systematic literature review are presented in Figures 4, 5, 6, 7, 8, 9, and 10.

Regarding the terms used for identification of the studies, there is a greater concentration (82%) of articles located by means of the terms: green supply chain (61%/20 articles) and green logistics (21%/7 articles). The articles identified through the key words: green transportation and green corridor were not included because they were articles presenting solely one application (Figure 4).

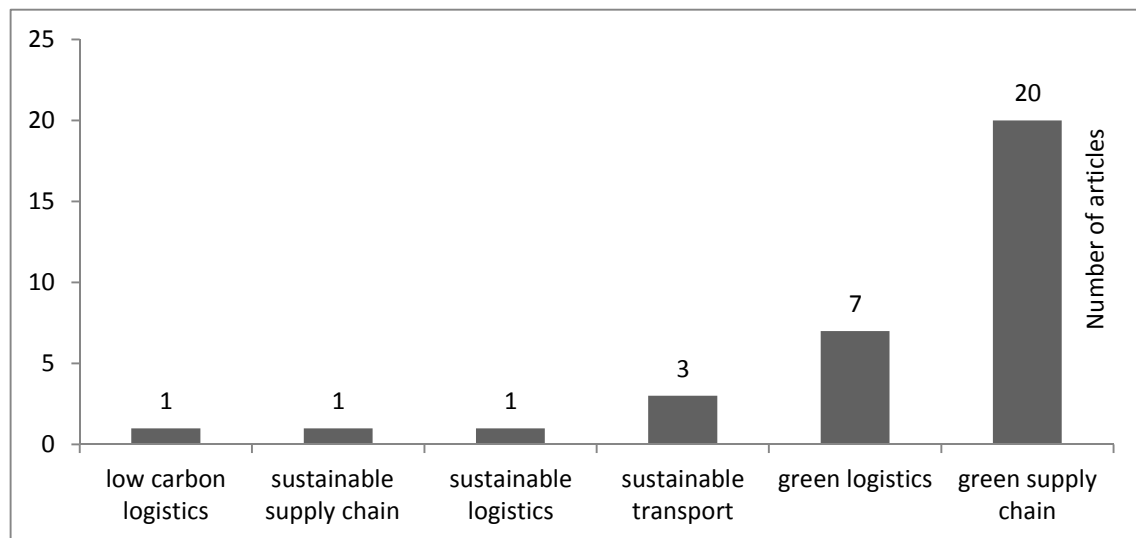


Fig. 4. Distribution of articles in relation to keywords used for their selection

Source: Original preparation

In relation to temporal approach, there has been an increase in the number of publications from 2010, reaching its peak in 2012, with a drop of 23% in 2013 (Figure 5).

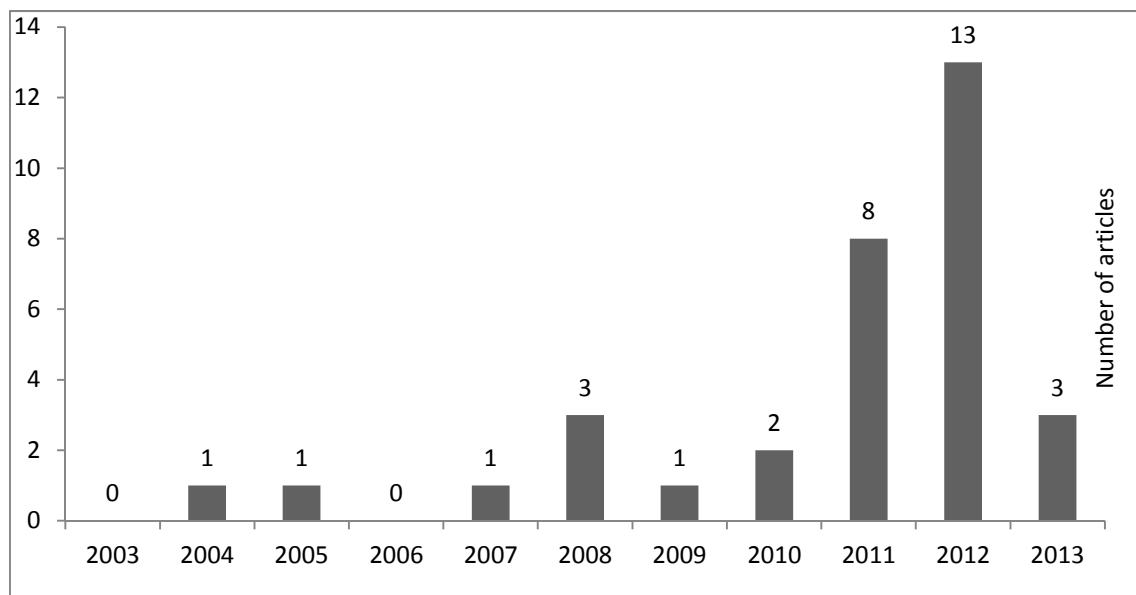


Fig. 5. Distribution of the articles in relation to temporal approach

Source: Original preparation

In relation to the regional approach, it was found that studies originating in Africa, South America and Oceania were not selected, as they were also not identified. Therefore, no studies from these regions were included. It may mean that the countries of these continents are still in a phase of gaining maturity and implementing the discussions proposed in this research, and/or that they have not yet had access to publications in the quality level specified in this work. It is important to highlight that Asian Continent contributed with 20 articles to this study (61%) (Figure 6).

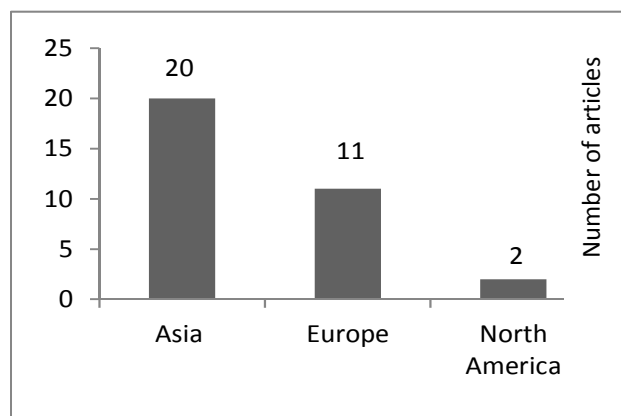


Fig. 6. Distribution of the articles in relation to regional approach

Source: Original preparation

There is high concentration of articles from Asia (61%), with predominance from countries like Taiwan (40%/8 articles) and Hong Kong (20%/4 articles) (Figure 7). The other articles from this continent (40%/8 articles) are distributed among the following countries: China, United Arab Emirates, India and Malaysia.

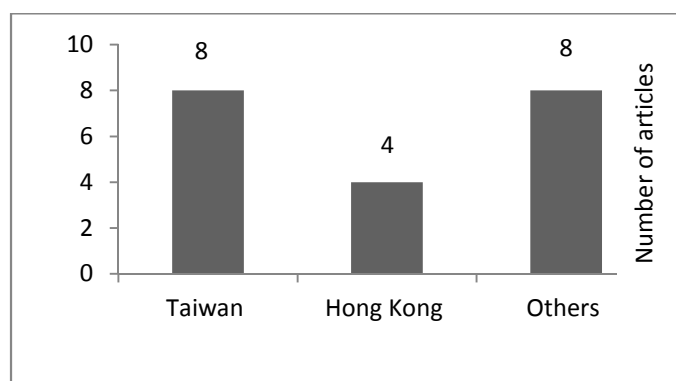


Fig. 7. Distribution of articles in relation to the Asian countries

Source: Original preparation

It was found that 33% of the articles come from Europe, predominantly from Italy (27%/3 articles) and United Kingdom (27%/3 articles). The remaining articles (46%/5 articles) are distributed among the following countries: Spain, France, the Netherlands and Sweden (Figure 8).

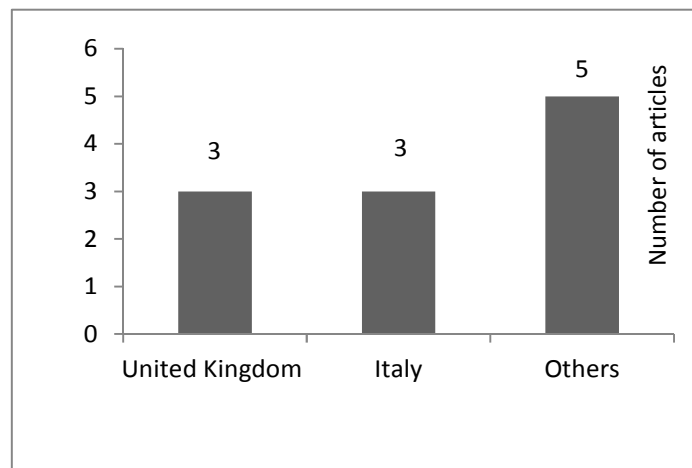


Fig. 8. Distribution of the articles in relation to the European countries

Source: Original preparation

The articles from the North American continent represent 6% (2 articles) of all articles and are distributed among the United States and Canada, both with 50%.

A high concentration of articles is found in scientific journals related to the themes of logistics and/or transport (36%/12 articles), however, the theme of production and economy stands out (27%/9 articles), even getting ahead of the theme of environment (Figure 9).

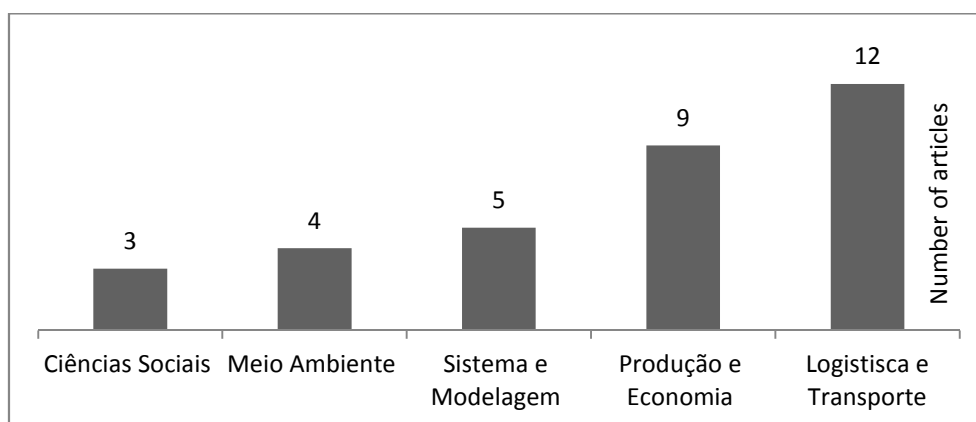


Fig. 9. Distribution of the articles in relation to thematic approach

Source: Original preparation

In relation to the methodological approach of the studies included in the research, there was greater concentration of studies that carried out an application of the concepts researched and presented a section of literature review, 79% (26 articles) of the studies. Only 21% (7 articles) of the studies were of conceptual research.

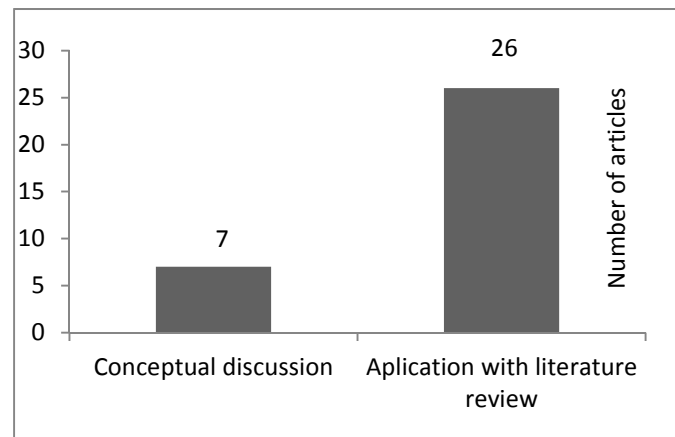


Fig. 10. Distribution of the articles in relation to the methods used in the studies

Source: Original preparation

3.2.4 STEP 2.4: SUMMARIZING THE DATA

Step 2.4 deals with the synthesis of the data. In this step, Table 2 was drawn up, containing a list of all studies included for completion of this study.

Table 2. List of studies included in systematic literature review

Author	Year	Country	Logistic Function	Sector	Which Concept It States to Address	Which Concept It Actually Addresses	Focus of Research	Economic Features	Environmental Features	Social Features	Contributed to The Concept of
Khor and Udin [15]	2013	Malaysia	Transport	Electric and Electronic	Green Logistics	Green Logistics	Environmental	Not Applicable	Natural Resources (Waste Disposal / Collection)	Not Applicable	Green Logistics
Yang <i>et al.</i> [16]	2013	China	Transport	Logistics Operator	Low Carbon Logistics	Low Carbon Logistics	Environmental and Economic	Transport Cost	CO ₂ Emission	Not Applicable	Low Carbon Logistics
Tseng <i>et al.</i> [17]	2013	Taiwan	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Unidentified	Green Supply Chain	Sustainable Supply Chain	Environmental, Economic and Social	Total Costs	Air Pollution, Waste Disposal / Collection and Consumption of Natural Resources	Quality of Life Workers and Occupational Health and Safety	Sustainable Logistics
Chaabane <i>et al.</i> [3]	2012	Canada	Transport	Metallurgical	Sustainable Supply Chain	Green Supply Chain - Low Carbon	Environmental and Economic	Transport Cost	CO ₂ Emission	Not Applicable	Low Carbon Logistics
Lai and Wong [18]	2012	Hong Kong	Unidentified	Logistics Operator	Green Logistics	Green Logistics	Environmental and Economic	Total Costs	Air Pollution and Consumption of Natural Resources	Not Applicable	Green Logistics
Dekker <i>et al.</i> [19]	2012	Holland	Transport and Maintenance of Inventory	Logistics Operator	Green Logistics	Green Logistics	Environmental and Economic	Transport Cost and Inventory Maintenance Cost	CO ₂ Emission, Other Air Pollutants and Natural Resources	Not Applicable	Green Logistics
Lindholm and Behrends [20]	2012	Sweden	Transport	Logistics Operator	Sustainable Transport	Green Logistics	Environmental and Economic	Transport Cost	Emission of air Pollutants	Not Applicable	Green Logistics

Lai <i>et al.</i> [21]	2012	Hong Kong	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Logistics Operator	Green Logistics	Green Logistics	Environmental	Not Applicable	Air Pollution and Consumption of Natural Resources	Not Applicable	Green Logistics
Hitchcockn [22]	2012	United Kingdom	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Conceptual Article	Green Supply Chain	Green Supply Chain - Low Carbon	Environmental	Not Applicable	CO2 Emission	Not Applicable	Low Carbon Logistics
Giovanni and Vinzi [23]	2012	France	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Unidentified	Green Supply Chain	Green Supply Chain	Environmental and Economic	Total Costs	Air Pollution, Waste Disposal / Collection and Consumption of Natural Resources	Not Applicable	Green Logistics
Perotti <i>et al.</i> [24]	2012	Italy	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Unidentified	Green Supply Chain	Green Supply Chain	Environmental and Economic	Total Costs	Air Pollution, Waste Disposal / Collection and Consumption of Natural Resources	Not Applicable	Green Logistics
Barari <i>et al.</i> [25]	2012	India	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Unidentified	Green Supply Chain	Unidentified	Economic	Total Costs with focus on taxation	Not Applicable	Not Applicable	Unidentified
Chen and Liang [26]	2012	Taiwan	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Electric and Electronics	Green Supply Chain	Unidentified	Economic	Total Costs	Not Applicable	Not Applicable	Unidentified
Abidallah <i>et al.</i> [27]	2012	United Arab Emirates	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Conceptual Article	Green Supply Chain	Green Supply Chain - Low Carbon	Environmental and Economic	Total Costs	CO2 Emission	Not Applicable	Low Carbon Logistics
Chan <i>et al.</i> [28]	2012	Hong Kong	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Unidentified	Green Supply Chain	Unidentified	Economic	Total Costs and Company Image	Not Applicable	Not Applicable	Unidentified
Sheu and Chen [29]	2012	Taiwan	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Conceptual Article	Green Supply Chain	Unidentified	Economic	Total Costs	Not Applicable	Not Applicable	Unidentified
Ubeda <i>et al.</i> [30]	2011	Spain	Transport	Food	Green Logistics	Low Carbon Logistics	Environmental and Economic	Transport Cost	CO2 Emission	Not Applicable	Low Carbon Logistics
Harris <i>et al.</i> [31]	2011	United Kingdom	Transport and Maintenance of Inventory	Automotive	Sustainable Logistics	Low Carbon Logistics	Environmental and Economic	Transport Cost and Inventory Maintenance Cost	CO2 Emission	Not Applicable	Low Carbon Logistics
Colicchia <i>et al.</i> [32]	2011	Italy	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Unidentified	Green Logistics	Green Logistics	Environmental	Not Applicable	Air Pollution and Consumption of Natural Resources	Not Applicable	Green Logistics
Sarkis <i>et al.</i> [8]	2011	Hong Kong	Unidentified	Conceptual Article	Green Supply Chain	Sustainable Supply Chain	Environmental, Economic and Social	Unidentified	Unidentified	Unidentified	Sustainable Logistics
Diabat and Govindan [33]	2011	United Arab Emirates	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Conceptual Article	Green Supply Chain	Green Supply Chain	Environmental	Not Applicable	Consumption of Natural Resources (Waste Disposal)	Not Applicable	Green Logistics
Olugu <i>et al.</i> [34]	2011	Malaysia	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Automotive	Green Supply Chain	Green Supply Chain	Environmental and Economic	Total Costs	Air Pollution, Waste Disposal / Collection and Consumption of Natural Resources	Not Applicable	Green Logistics

Tseng [35]	2011	Taiwan	Processamento de Pedidos	Unidentified	Green Supply Chain	Unidentified	Economic	Total Costs	Not Applicable	Not Applicable	Unidentified
Azevedo <i>et al.</i> [36]	2011	Portugal	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Automotive	Green Supply Chain	Unidentified	Economic	Total Costs	Not Applicable	Not Applicable	Unidentified
Vasco <i>et al.</i> [37]	2010	United Kingdom	Transport	Logistics Operator	Sustainable Transport	Low Carbon Logistics	Environmental and Economic	Transport Cost	CO2 Emission	Not Applicable	Low Carbon Logistics
Shang <i>et al.</i> [38]	2010	Taiwan	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Conceptual Article	Green Supply Chain	Green Supply Chain	Environmental and Economic	Total Costs	Air Pollution, Waste Disposal / Collection and Consumption of Natural Resources	Not Applicable	Green Logistics
Sheu and Talley [39]	2009	Taiwan	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Public Services	Green Supply Chain	Unidentified	Economic	Total Costs	Not Applicable	Not Applicable	Unidentified
Zhu <i>et al.</i> [40]	2008	China	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Chemical, Petrochemical, Electric and Electronics and Automotive	Green Supply Chain	Green Supply Chain	Environmental and Economic	Total Costs and Return Over Investment	Collection / Disposal of Waste and Natural Resources	Not Applicable	Green Logistics
Sheu [41]	2008	Taiwan	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Energy	Green Supply Chain	Green Supply Chain	Environmental and Economic	Total Costs	Air Pollution, Waste Disposal / Collection and Consumption of Natural Resources	Not Applicable	Green Logistics
Zhu <i>et al.</i> [42]	2008	China	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Unidentified	Green Supply Chain	Green Supply Chain	Environmental	Not Applicable	Air Pollution and Consumption of Natural Resources (Waste Disposal)	Not Applicable	Green Logistics
Ciliberti <i>et al.</i> [43]	2007	Italy	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Conceptual Article	Sustainable Transport	Sustainable Logistics	Environmental and Social	Not Applicable	Natural Resources	Income Distribution, Better Working Conditions, Better Quality of Life for Workers	Sustainable Logistics
Sheu <i>et al.</i> [44]	2005	Taiwan	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Electric and Electronic	Green Supply Chain	Green Supply Chain	Environmental and Economic	Total Costs	Waste Disposal / Collection	Not Applicable	Green Logistics
Sarkis <i>et al.</i> [45]	2004	USA	Order Processing, Transport and Maintenance of Inventory	Electronic Commerce	Green Logistics	Green Logistics	Environmental	Not Applicable	Air Pollution and Consumption of Natural Resources (Waste Disposal)	Not Applicable	Green Logistics

Source: Original preparation

3.3 ACTIVITY 3 – COMMUNICATION AND DISSEMINATION

The communication and dissemination of the results of the systematic literature review was decided to be done through the preparation of this article, which summarizes Steps 1 (Preparing the report) and 2 (Presenting the results) described in the method (Figure 1).

4 ANALYSIS OF THE RESULTS

Reaching the objectives proposed in this work, based on the work of [3], [16], [22], [27], [30], [31] and [37] it is possible to define low carbon logistics as a management practice that aims the adoption of measures to reduce the carbon dioxide (CO₂) emission, this issue being usually associated with the transport activity. From the total amount of studies included in this research, 21% had effectively a low carbon approach.

Taking as reference the studies of [15], [18], [19], [20], [21], [23], [24], [32], [33], [34], [38], [40], [41], [42], [44] and [45], it is concluded that green logistics is a management practice that promotes the adoption of measures aimed at the reduction of environmental impacts. Among these impacts, it is possible to mention, in addition to the reduction of CO₂ emissions, other air pollutants from the combustion of fossil fuels, the inappropriate use of natural resources, and inadequate waste disposal. From the total amount of studies included in this research, 49% had effectively a green approach.

Based on the studies of [8], [17], and [43], it is concluded that sustainable logistics is the one which promotes the adoption of environmental, social and economic aspects, simultaneously. In this case, the social aspects should emphasize a broad proposal that promotes changes in the institutional choices, in addition to political and economic changes that promote a better income distribution, better working conditions, better quality of life for workers and society as a whole. From the total amount of studies included in this research, 9% had effectively a sustainable approach.

Some peculiarities were found when analyzing the texts included in this systematic literature review. In relation to the functions emphasized in the articles, it is important to highlight that transport was approached in 90% of the studies in which the logistic function addressed was identified. This demonstrates the great potential that the planning of this function has for the practice of logistics, whether it is low carbon, green or sustainable, mainly in contributing to the achievement of a sustainable or green supply chain. Only 18% of the studies addressed uniquely the transport function. Most studies (67%) addressed the three main functions of logistics, which demonstrates a concern in considering the integrated view on application of concepts. The functions of transport and maintenance of inventory together were considered in 6% of the studies, and 3% of them considered only the order processing function. In 6% of the studies, the function addressed in the researches could not be identified.

Among the articles that consider only the transport function, 67% consider only CO₂ emission, actually featuring a low carbon logistics practice, although only the work of [16] stated this limitation of the approach. Half of the studies that consider only the transport function mistakenly affirm to address sustainable practices, and a third of them, to address green practices. In fact, only the studies by [15] and [20] consider a green approach when assessing the use of natural resources (waste disposal) and other air pollutants, respectively.

Among the articles that consider the integrated view of the logistics functions, 97% correctly state the practice of green logistics or green supply chain. The studies by [22] proposed to address the concept of green supply chain, but are limited to the consideration of CO₂ emissions. On the other hand, in 27% of the studies, it has not been possible to identify, in fact, what is practiced. The work by [17] actually addresses the practice of sustainable supply chain, since it considers attributes related to workers' quality of life, although it is stated as a green supply chain approach.

Considering the 25 (76% of the total) studies in which it was possible to identify the sector where the articles applied the concepts, the highest concentration was found to be in the following sectors: logistics operators (24%), automotive (12%), and electrical and electronics (12%). Other sectors presented occasional occurrence (one study), such as food, e-commerce, chemical and petrochemical, energy and public service. No study has been found with application to the beverages industry, even though logistics represents the last frontier of gaining and sustaining competitive advantages for this sector (e.g. [47]). In 24% of the studies that propose implementation, it has not been possible to identify the sector studied.

Among the studies that consider the logistics operator industry, 50% addressed only the transport function. The work of [19] considered the functions transport and processing of order and only the work of [21] addressed the systemic view, considering the three main functions of logistics. This result may demonstrate that, contrary to what one might expect, the view of the logistics operators seems to be still limited to the transport function rather than the systemic view.

References [3], [20], [31], [43] and [37] considered that their studies had a sustainable approach, but only the work of [43] addressed the issue of sustainability. Although it did not address economic aspects, it addressed the environmental and social aspects. Among the studies that stated to have a green approach in their researches (82%), only 55% had, effectively, a green approach, 12% had a low carbon approach and the works of [8] and [17] have a sustainable approach, presenting a scope greater than declared. It is worth mentioning that the work of [8] addressed the issue of sustainability, however, it is not possible to identify the economic attributes considered in the study. That reinforces the perception of some confusion in relation to the recognition and practice of these concepts.

The work of [15] presented a possibility of improvement, considering that the concept of reverse logistics was regarded as being a green practice. In fact, the reverse flow of materials is a green attitude. In some cases even sustainable, insofar as it promotes the generation of jobs and income distribution. However, the mere adoption of this attitude does not make the practice of logistics green or sustainable. It is necessary to consider other environmental and social attributes in the approach.

Another important peculiarity is related to economic, environmental and social aspects. Studies such as those of [25], [26], [28], [29], [35], [36], [39], representing 21% of the total, state that their research had a green approach, however, they focus exclusively on economic aspects, such as: product costs, total costs, taxes, company image and service level. Although the tone of the studies included in this systematic literature review is one of concern about environmental and social issues, the economic aspects were considered in 69% of the articles. This allows for the conclusion that the major concerns are still cost and level of service, and that the consideration of the economic aspect is a *sine qua non* for companies to adopt sustainable practices.

When it comes to the consideration of economic aspects, total costs were considered in 52% of the studies, in accordance with the systemic consideration of logistic functions. Consideration of only transport costs is observed in 15% of the studies, the same that were limited to the transport function in their approach. References [19] and [31] considered the transport and inventory costs in a manner consistent with their limitations of approach to these two logistic functions. This demonstrates that there seems to be no doubt about the relationship between economic aspects and the logistic function approach, which does not seem to be valid for the environmental and social aspects.

Environmental aspects were discussed in 79% of the articles. Among them, 27% present specific concern regarding CO₂ emissions, 57% of which are limited to considering only the transport function and 14% consider the transport and inventory maintenance functions, and 29% considered the three logistic functions in their approach.

The emission of environmental pollutants is considered in 36% of the studies assessed, most often (33%) associated to reduced consumption of natural resources through proper management of waste disposal. In 12% of articles covered, only the proper management of waste is considered, reflecting somehow the integration of reverse logistics in the management of supply chains as a manner of green approach.

Regarding the social aspects, only 9% of the articles addressed this issue. This result shows the extensive field for exploration of the concepts of sustainability in logistics chain, opening a wide field of research in this area.

5 CONCLUSION, LIMITATIONS AND SUGGESTIONS FOR FUTURE STUDIES

The systematic literature review, by means of a procedure specifically designed for this work, turned out to be a good tool to carry out this study in order to summarize the state of the art on the topic discussed. The use of this systematic procedure reduced the possibility of errors to the extent that it allowed only the inclusion of studies assessed as being of high quality, enabling the achievement of the objectives proposed and enriching its content. The method adopted enabled the achievement of a consistent result that can be replicated and improved as many times as necessary.

Based on the studies presented in Table 2, analyzed in section 4, and on the studies of [2], [3] and [6], it was possible to confirm the hypothesis raised in this study, identifying the relationship between the concepts. We conclude, then, that the concept of low carbon logistics is the most limited one, since it only seeks to reduce CO₂. It has been addressed effectively in 21% of the studies included in the research. The concept of green logistics extends this scope considering other environmental aspects and was considered, effectively, in 49% of the studies. The concept of sustainable logistics, in its turn, is the most comprehensive, but was addressed, effectively, only in 9% of the studies, demonstrating also that it was the least explored by the researchers.

It was also possible to identify other terms that contributed to ratify the original concepts, such as: green supply chain, sustainable transport, and sustainable supply chain.

Section 4 of this work presents the analyses of the results; however, it is necessary to reinforce the perception of some confusion in relation to the recognition and practice of the concepts discussed in this study. Among the studies that considered their researches to feature a sustainable approach, only the work of [43] actually addressed the issue of sustainability. Among the studies that stated to have a green approach in their researches, only 55% had it effectively, while 12% had a low carbon approach and the works of [8] and [17] had a sustainable approach. Among the articles addressing environmental aspects, 27% presented a specific concern regarding CO₂ emissions, among these, 57% merely consider the transport function.

Due to a limitation of scope in using a database considered of high academic quality, this research did not use books, theses or dissertations, this being a limitation of the present work. It is suggested, then, for future works, a broadening of scope so as to enable the consideration of these types of study in the review to be prepared. However, in order to meet the quality criteria required in a systematic literature review, a group of assessors will be required, which can lead to an increase in the time and cost of the research.

Another suggestion is to focus on studies related to social aspects. As only 9% of the articles addressed this issue, we see a great opportunity for exploration of effective sustainability concepts in the logistics chain, opening a wide possibility of research in this area.

ACKNOWLEDGMENT

To the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq and the Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo – FAPES for the financial support.

REFERENCES

- [1] Sudalaimuthu, S. and Raj, S. A., *Logistics Management for International Business-Text and cases PHI Learning Private Limited*, New Delhi, 2009.
- [2] McKinnon, A., Cullinane, S., Browne, M. and Whiteing, A., *Green logistics: improving the environmental sustainability of logistics*, Kogan Page, vol. 1, pp. 372, London, Philadelphia, New Delhi, 2010.
- [3] Chaabane, A., Ramudhin, A. and Paquet M., "Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme", *Int. J. Production Economics*, vol. 13, pp. 37-48, 2012. Doi:10.1016/j.ijpe.2010.10.025
- [4] Brundtland Commission, *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford, 1987.
- [5] Xuezhong, C., Linlin, J. and Chengbo, W., "Business process analysis and implementation strategies of greening logistics in appliances retail industry", *Energy Procedia* 5, pp. 332–336, 2011. Doi:10.1016/j.egypro.2011.03.056
- [6] Bretzke, W.-R. and Barkawi, K., "Sustainable Logistics. Response to a Global Change", *Springer-Verlag*, Berlin, Heidelberg, 2013. Doi:10.1007/978-3.642-34375-91
- [7] Rowley, J. and Slack, F., "Conducting a literature review", *Management Research News*, vol. 27, no. 6, pp. 31-39, 2004. Doi:10.1108/01409170410784185
- [8] Sarkis, J., Zhu, Q. and Lai, K., "An organizational theoretic review of green supply chain management literature", *Int. J. Production Economics*, vol. 130, pp. 1–15, 2011. Doi:10.1016/j.ijpe.2010.11.010
- [9] Cook, D.J., Mulrow, C.D. and Haynes, R.B., "Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions", *Annals of Internal Medicine*, vol.126, no.5, pp. 376-380, 1997.
- [10] Bereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M. and Khalil, M., "Lessons from Applying the Systematic Literature Review Process within the Software Engineering Domain", *The Journal of System and Software*, vol. 80, pp. 571-583, 2007. Doi:10.1016/j.jss.2006.07.009
- [11] Tranfield, D., Denyer, D. and Smart, P., "Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review", *British Journal of Management*, vol. 14, pp. 207-222, 2003.
- [12] Becheikh, N., Landry, R. and Amara, N., "Lessons from innovation empirical studies in the manufacturing sector: A systematic review of the literature from 1993-2003", *Technovation*, vol. 26, pp. 644-664, 2006.
- [13] Nord, J. H. and Nord, G. D., "MIS Research: Journal status assessment and analysis", *Information & Management*, vol. 29, pp. 29-42, 1995.
- [14] Ngai, E. W. T. and Wat, F. K. T., "A literature review and classification of electronic commerce research", *Information & Management*, vol. 39, pp. 415- 429, 2002.
- [15] Khor, K. S. and Udin, Z. M., "Reverse logistics in Malaysia: Investigating the effect of green product design and resource commitment", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 81, pp. 71– 80, 2013.
- [16] Yang, J., Guo, J. and Ma, S., "Low-carbon city logistics distribution network design with resource deployment", *Journal of Cleaner Production*, 2013. Doi:10.1016/j.jclepro.2013.11.011
- [17] Tseng, M., Lin, R., Lin, Y., Chen, R. and Tan, K., "Close-loop or open hierarchical structures in green supply chain management under uncertainty", *Expert Systems with Applications*, vol. 41, pp. 3250–3260, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.062>
- [18] Lai, K. and Wong, C., "Green logistics management and performance: Some empirical evidence from Chinese manufacturing exporters", *Omega*, vol. 40, pp. 267–282, 2012. Doi:10.1016/j.omega.2011.07.002

- [19] Dekker, R., Bloemhof, J. and Mallidis, I., "Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges", *European Journal of Operational Research*, vol. 219, pp. 671–679, 2012. Doi:10.1016/j.ejor.2011.11.010
- [20] Lindholm, M. and Behrends, S., "Challenges in urban freight transport planning – a review in the Baltic Sea Region", *Journal of Transport Geography*, vol. 22, pp. 129–136, 2012. Doi:10.1016/j.jtrangeo.2012.01.001
- [21] Lai, K., Wong, C. W. Y. and Cheng, T. C. E., "Ecological modernization of Chinese export manufacturing via green logistics management and its regional implications", *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 79, pp. 766–770, 2012. Doi:10.1016/j.techfore.2011.10.004
- [22] Hitchcock, T., "Low carbon and green supply chains: the legal drivers and commercial pressures", *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 98 – 101, 2012. Doi:10.1108/13598541211212249
- [23] Giovanni, P. and Vinzi, V. E., "Covariance versus component-based estimations of performance in green supply chain management", *Int. J. Production Economics*, vol. 135, pp. 907–916, 2012. Doi:10.1016/j.ijpe.2011.11.001
- [24] Perotti, S., Zorzini, M., Cagno, E. and Micheli, G. J. L., "Green supply chain practices and company performance: the case of 3PLs in Italy", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 42, no. 7, pp. 640 – 672, 2012. Doi:10.1108/09600031211258138.
- [25] Barari, S., Agarwal, G., Zhang, W. J., Mahanty, B. and Tiwari, M. K., "A decision framework for the analysis of green supply chain contracts: An evolutionary game approach", *Expert Systems with Applications*, vol. 39, pp. 2965–2976, 2012. Doi:10.1016/j.eswa.2011.08.158
- [26] Chen, D. and Liang, S., "Evaluation of Internal Costs and Benefits for Taiwanese Computer Manufacturers Adopting Green Supply Chains", *The Asian Journal of shopping and logistics*, vol. 8, pp. 83-104, 2012. Doi:10.1016/j.ajsl.2012.04.005
- [27] Abdallah, T., Farhat, A., Diabat, A. and Kennedy, S., "Green supply chains with carbon trading and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment", *Applied Mathematical Modelling*, vol.36, pp. 4271–4285, 2012. Doi:10.1016/j.apm.2011.11.056
- [28] Chan, R. Y. K., He, H., Chan, H. K. and Wang, W. Y. C., "Environmental orientation and corporate performance: The mediation mechanism of green supply chain management and moderating effect of competitive intensity", *Industrial Marketing Management*, vol. 41, pp. 621–630, 2012. Doi:10.1016/j.indmarman.2012.04.009
- [29] Sheu, J. and Chen, Y. J., "Impact of government financial intervention on competition among green supply chains", *Int. J. Production Economics*, vol. 138 , pp. 201–213. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.024>
- [30] Ubada, S., Arcelus, F. J. and Faulin, J., "Green logistics at Eroski: A case study", *Int. J. Production Economics*, vol. 131, pp. 44–51, 2011. Doi:10.1016/j.ijpe.2010.04.041
- [31] Harris, I., Naim, M., Palmer, A., Potter, A. and Mumford, C., "Assessing the impact of cost optimization based on infrastructure modeling on CO2 emissions", *Int. J. Production Economics*, vol. 131, pp. 313–321, 2011. Doi:10.1016/j.ijpe.2010.03.005
- [32] Colicchia, C., Melacini, M. and Perotti, S., "Benchmarking supply chain sustainability: insights from a field study", *Benchmarking: An International Journal*, vol. 18, no. 5, pp. 705-732, 2011. Doi: 10.1108/14635771111166839
- [33] Diabat, A. and Govindan, K., "An analysis of the drivers affecting the implementation of green supply chain management", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, pp. 659–667, 2011. Doi:10.1016/j.resconrec.2010.12.002
- [34] Olugu, E. U., Wong, K. Y. and Shaharoun A. M., "Development of key performance measures for the automobile green supply chain", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, pp. 567–579, 2011. Doi:10.1016/j.resconrec.2010.06.003
- [35] Tseng, M., "Green supply chain management with linguistic preferences and incomplete information", *Applied Soft Computing*, vol. 11, pp. 4894–4903, 2011. Doi:10.1016/j.asoc.2011.06.010
- [36] Azevedo, S. G., Carvalho, H. and Machado, V. C., "The influence of green practices on supply chain performance: A case study approach", *Transportation Research Part E*, vol. 47, pp. 850–871, 2011. Doi:10.1016/j.tre.2011.05.017
- [37] Sanchez-Rodrigues, V., Potter, A. and Naim, M. M., "The impact of logistics uncertainty on sustainable transport operations", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 40, no. 1/2, pp. 61 – 83, 2010. Doi:10.1108/09600031011018046
- [38] Shang, K., Lu, C. and Li, S., "A taxonomy of green supply chain management capability among electronics-related manufacturing firms in Taiwan", *Journal of Environmental Management*, vol. 91, pp. 1218–1226, 2010. Doi:10.1016/j.jenvman.2010.01.016
- [39] Sheu, J. and Talley, W. K., "Green Supply Chain Management: Trends, Challenges, and Solutions", *Transportation Research Part E*, vol. 47, pp. 791–792, 2009. Doi:10.1016/j.tre.2011.05.014
- [40] Zhu, Q., Sarkis, J. and Lai, K., "Green supply chain management implications for "closing the loop"", *Transportation Research Part E*, vol. 44, pp. 1–18, 2008. Doi:10.1016/j.tre.2006.06.003
- [41] Sheu, J., "Green supply chain management, reverse logistics and nuclear power generation", *Transportation Research Part E*, vol. 44, pp. 19–46, 2008. Doi:10.1016/j.tre.2006.06.001

- [42] Zhu, Q., Sarkis, J., Cordeiro, J. J. and Lai, K., "Firm-level correlates of emergent green supply chain management practices in the Chinese context", *Omega*, vol. 36, pp. 577 – 591, 2008. Doi:10.1016/j.omega.2006.11.009
- [43] Ciliberti, F., Pontrandolfo, P. and Scozzi, B., "Logistics social responsibility: Standard adoption and practices in Italian companies", *Int. J. Production Economics*, vol. 113, pp. 88–106, 2008. Doi:10.1016/j.ijpe.2007.02.049
- [44] Sheu, J., Chou, Y. and Hu, C., "An integrated logistics operational model for green-supply chain management", *Transportation Research Part E*, vol. 41, pp. 287–313, 2005. Doi:10.1016/j.tre.2004.07.001
- [45] Sarkis, J., Meade, L. M. and Talluri, S., "E-logistics and the natural environment. Supply Chain Management", *An International Journal*, vol. 9, no. 4, pp. 303 – 312, 2004. Doi:10.1108/13598540410550055

Implementation Practices of Public Procurement Plans and Policies in Bitung City of North Sulawesi Province Indonesia

Jufri Jacob¹ and Ahmad Ahadi²

¹Lecturer of Magister Departement of Economic Faculty, Khairun University, Ternate City, Indonesia

²Student of Economic Magister Programme of Economic Faculty, Khairun University, Ternate City, Indonesia

Copyright © 2016 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: Public procurement issues have drawn many concerns and became a public debate because the rules and regulations are constantly reformed and restructured. Public procurement contributions in the world economy are very significant. In Indonesia, according to the Ministry of Finance, public procurement spending for 2009 was 33.4 percent of total government spending. This study aims to determine implementation practices of Public Procurement Plans or Rencana Umum Pengadaan (RUP) in Bitung City of the North Sulawesi Province. The multiple statistical regression equation is used to process data from 47 respondents from regional apparatus task forces (SKPD) and the results show that the influence of independent variables (X) on dependent variable (Y) is 87.3 percent (R^2), while 12.7 percent is influenced by other factors. The result of F-test shows that $F\text{-result} = 36.231 > F\text{-table} = 3.21$. The calculated probability value is 0.000 which is smaller than 0.05. The partial test (t-test) from 9 independent variables (X) identifies 7 variables that have significant effects on the scores of RUP implementation (Y), while the other two variables have no significant effect. The overall results of t-test show that the implementation practices of public procurement plans have significant effects on the output of goods and services in the administrative district of Bitung City, which is a direct effect of the higher compliance rates of the bureaucratic apparatus performances in implementing public policies.

KEYWORDS: Policy Implementation, Public Procurement, Bureaucratic Reformation, Bitung City.

1 INTRODUCTION

World Bank (2003) in its study reported that around 50-70 percents of state budget (APBN) were related to public procurement. An efficient procurement system can secure a significant amount of value for money spent by the government and also plays an important part in tackling huge challenges brought about by developments (Ameyaw et al, 2012:55). Several studies, such as Mahmood (2010) confirmed that public procurements amounted to as much as 18.42 percents of the world's Gross Domestic Product (GDP). In developed countries (Basheka & Bisangabasaija, 2010), the importance of public procurements has been much acknowledged as providing services and contributing a high proportion of total spending (Badaso, 2014: 56). Furthermore Badaso (2014: 56) mentioned that public procurement of goods and services contributes to 60 percent of public spending in Kenya, (Akech, 2005), 58 percent in Angola, 40 percent in Malawi and 70 percent in Uganda (Wittig, 1999; Ugandan Government, 2006). Meanwhile, in Indonesia, in Jacob (2014:5), the Ministry of Finance reported that the amount of public procurement spending for 2009 was 33.4 percents of total government spending.

Therefore, according to World Bank (1995) in Onyinkwa (2013:561), throughout the world public procurement issues have drawn many concerns and became a public debate because the rules and regulations are constantly reformed and restructured. Public procurement refers to the acts of procuring goods, services and constructions by governmental agencies and in doing so spending government fund. Badaso (2014: 56) in citing Roodhooft & Abbeele (2006) mentioned that governmental agencies have always been the largest buyers or spenders in procuring goods and services because they have large budgets. Hui et al (2011) stated that because of the large amount of money spent in public procurements and the fact

that the money is the people's money, transparency and accountability are necessary in managing that huge amount of money (Badaso (2014: 56)).

Even though some developed countries have taken measures to reform their procurement systems, still the processes are laden with secrecy, inefficiency, corruptions and weaknesses, resulting in a loss of resources. Hui et al (2011) in Badaso (2014: 56) who studied procurement problems in Malaysia, stated that many officials conducted wrong doings and exhibited an uncompliance against procurement policies and procedures. A study by Bukhala (2003) in Kenya, as reviewed in Mwangi (2013: 67), showed that the practices of public procurement system in 1999 created many gaps because lack of sanctions and penalties for the perpetrators, aside from internal disciplinary sanctions there were no strict enforcement of regulations and as a result many of the code of conduct were not complied accordingly. Also, the procurement system cannot be reliably used to confirm the fairness and transparency of its implementation.

World Bank, in Setiawan (2014:3092-3093), mentioned several factors that influenced procurement practices in Indonesia such as lack of regulations for public procurements, low in implementation brought about by lack of procedural knowledge, weaknesses in law enforcement against any unlawful actions, low capacity of field implement, weak in control and monitoring, and the lack of transparency in tender offers. Aside from bureaucratic factors, the problems of public procurement may arise from the lack of understandings about the rights and duties of goods and service providers. To win tender offers in order to secure a business order, providers often act in unfair and unlawful conducts such as by promising "yields sharing" or manipulating tender processes which is popularly known as "arisan tender".

The Corruption Eradication Commission of the Republic of Indonesia or Komisi Pemberantasan Korupsi (KPK) revealed that the dominant causes of corruption crimes in Indonesia, about 77 percents are related to public procurements (Hardjowiyono in Yuwinanto, 2013: 212). Business Competition Supervisory Commission of the Republic of Indonesia or Komisi Pengawas Persaingan Usaha (KPPU) in Yuwinanto (2013: 212) found that collusion in a tender offer usually starts in the procurement planning process or from the very beginning of the procurement process. In a procurement planning, it is important to prepare and define in details the target, scope of the job, working environment, human resources, timetables, standard of quality, costs and benefits that will be used as the main guidance in implementing public procurement plans in the form of job packets.

It is acknowledged that preparing procurement plans is not an easy task. It is important to have the necessary knowledge to prepare it neatly with much accuracy. Other important factors that influence the rate of success of any governmental agency in securing the necessary goods and services are the compliance level towards the procurement policies and rules and the behavior of the human resources involved in the process. Compliance in implementing public procurement plans and policies as mandated in Presidential Decree, Number 54, 2010 and its amendments is the first necessary step for achieving a good bureaucratic performance in the management of the public procurement process that will lead to an institutional ordinance and the development of a good governance, which according to Irawati (2013:103), both the institutional ordinance and the development of a good governance are often interpreted as indicators of the realization of bureaucratic reformation with the fulfillment of principles such as, public participation, full enforcement of law supremacy, transparency, attention towards stakeholders, consensus-oriented, equality, effective and efficient, accountable, and have the strategic vision.

2 OBJECTIVE OF THE STUDY

Based on the aforementioned background, a study was conducted in Bitung City of North Sulawesi Province. Bitung City was chosen because it is a model autonomous district for other autonomous districts for its success in the management of regional fund, which qualifies it to receive audit, evaluation esteem as Exception Devoid Equitable or Wajar Tanpa Pengecualian (WTP) from the Audit Board of the Republic of Indonesia (BPK). Is the WTP evaluation will be linearly correlated to the reformation of governmental bureaucracy, especially in the implementation practices of public procurement policies?

3 RESEARCH HYPOTHESIS

A research hypothesis is proposed that the implementation of Public Procurement Plans or Rencana Umum Pengadaan (RUP) in Bitung City has been performed according to Presidential Decree, Number 54, 2010 and its amendments.

4 THEORETICAL BACKGROUND AND LITERATURE REVIEW

4.1 PUBLIC PROCUREMENT

Procurement is an activity to procure materials or goods and services in a transparent, efficient and effective manner according to the needs and demands of its users. The goods here include equipments and building constructions for either private or public uses. World Bank (1995) in Jacob (2014: 27) defines public procurement as an act of buying or renting to procure materials, constructions and services by public sector by way of contracting or other methods. Procurement is an acquisition process to procure materials, constructions and services by spending public/state resources (financial/budgets) taken from national budgets or Anggaran Pendapatan Dan Belanja Negara (APBN), regional budgets (APBD), or by getting loans in the form of domestic loans or secured foreign loans, or by getting it from foreign grants, or income from national economic activities. Hence, World Bank concludes that public procurement is an act of procuring goods by the government using government funds.

According to Edquist et al (2000) in LKPP (2011:12), essentially, public procurement is an acquisition process managed by the government and public institutions to procure goods, works, and services in a transparent, effective and efficient manner according to the needs and demands of its users. In this regard, the users can be individuals (state officials), organizational units (agencies, faculties, hospitals, etc), or communities at large. Therefore, public procurement as suggested by Turpin (1972) in Jacob (2014: 26) carries a very important function in an economy. Turpin mentioned, "a substantial part of this procurement is concentrated upon crucial sectors of industry whose welfare is of national importance, and much government contracting takes place at the forefront of technological advance. It will be realized that the way in which government procurement is carried out can have a significant effect upon growth, competitiveness and efficiency..." Turpin briefly stated that the public or government procurement will bring significant effects on growth and development, competition, and efficiency. Similar opinion was suggested by Callender & D. Mathews (2000) in Jacob & Indah (2014: 262) that public procurement carries an important function because the large amount of spending associated with it has a huge impact on the economy that it should be carefully managed.

Good governance is essential for a successful implementation of the public procurement process. Good governance must be strictly maintained according to the principles of public procurement, which are effective, efficient, transparent, open, competitive, fair and indiscriminate, and accountable. These principles will enhance public confidence towards the process of public procurement, in which the outputs can be held accountable to the public from administrative, technical and financial aspects. And to do that, all the participants that are involved in the procurement process must comply with the formulated code of conduct (Jacob, 2014:28-29).

The code of conduct in the procurement process implies a sense of philosophy, ethics, and professionalism in the practice of procuring. The operational code of conduct for the procurement process typically has been formulated and put forth in the legislation in the form of rules, regulations, guidance, directions, and other statutes products (Sutedi, 2012: 11). Hence, in all over the world the performance of procurement practice has become a challenge that draws the attention of scholars, practitioners, academic communities and researchers alike to scrutinize and examine it since the practice itself often shows underperformance caused by non-compliance towards the formulated processes and procedures (Amemba, et.al, 2013:41).

4.2 IMPLEMENTATION OF PROCUREMENT POLICIES

The definition of implementation has been put forward by many scholars of public policy, such as Meter & Horn (1975) in Hendrawangsa (2013:5-6). Meter & Horn stated that, "policy implementation encompasses those actions by public and private individuals (and groups) that are directed at the achievement of goals and objectives set forth in prior policy decision". This statement suggests that policy implementation encompasses those actions that are happening between policy formulation and the actual impacts brought about by those actions, and those actions are not limited to the actions of bureaucracy apparatus, but also include parties outside the bureaucratic domain, such as social organizations, and even individuals as the policy implementers. Shafritz, Russel & Borick in Jacob (2013:25) define policy implementation as a process of putting government programs into the process of mandate manifestations in the form of regulations and legislations with the purpose as structured directions and programs in a service delivery or in providing goods and services. In a broad sense, policy implementation according to Hardiyansyah and Rahmad (2014:109) is the execution of a policy process immediately after the legislation or regulation is set forth by the authorized institution. These activities are carried out by the government, private individuals or groups with the aim to fulfill the desired target. In performing these activities there should be synchronous correlations between the formulated targets and the outputs or the realization that will be or have been reached.

In implementing procurement policies as mandated in Presidential Decree, Number 54, 2010 and its amendments, the principles and ethics of its implementation shall be strictly applied and complied. Procurement principles as put forth in paragraph 5 Presidential Decree, Number 54, 2010 are efficient, effective, transparent, open, fair, and accountable. Procurement ethics as put forth in paragraph 6 Presidential Decree, Number 54, 2010 declare that all the participants that are involved in the public procurement shall comply with the ethics as follows: (a) performing their tasks dutifully and in an orderly manner, with a sense of responsibility to fulfill the objectives of procurement process as timely and accurate as possible; (b) performing their tasks professionally and independently with a sense of honesty, guarding the confidentiality of procurement documents to prevent misconducts and deviations; (c) manipulating in any ways, both directly and indirectly, is strictly prohibited to prevent unhealthy competition; (d) accepting and taking responsibility for all the decisions that have been made as agreed by all the parties involved; (e) preventing and avoiding conflict of interest among all the parties involved, both directly and indirectly, during procurement process; (f) avoiding and preventing inefficiency and leakage of government fund during the procurement process; (g) preventing and avoiding power abuse and/or collusion in favor of personal, group or other interest that will potentially inflict a financial loss; (h) accepting, offering, or promising to give or receive rewards, gifts, bribery, rebate, etc. from and to anyone or parties that are known or allegedly have any involvement in the procurement process are strictly prohibited.

According to A.S Hornby in Hendrawangsa (2013: 8), efficient is a capability to generate something that is needed with a satisfying outcome. And, effective is a capability to generate something that is desired or needed (even when under pressure). Efficient is a process of generating output, and that process should result in something good. The efficiency of the process is measured by cost and time. Hence, efficient must be in a quantitative term, so it can be measured. On the other hand, effective is more oriented towards target achievement, accurately rather than not. In procurement process, Rahayu, et al (2012:174) suggested that efficiency can be perceived based on the amount of goods and services procured, time optimality in the procurement process, and interaction opportunities between procurement committees and the potential providers of goods and services. Transparency can be judged based on the security of offering data, the clarity of procurement processes and procedures, and distribution of procurement information.

According to Schapper (2008) in Jacob (2014:34) transparency in the procurement process is associated with access information. Access to information about the procurement process becomes a key point for the public, media, and other stakeholders in order for them to be able to directly observe, and act if necessary, on the accountability of the procurement process. Transparency is also considered as the most economical method to gain a bigger accountability. A similar statement was also suggested by Nirwandar (1997) in Duadji (2012:208) that transparency is a principle to guarantee access or freedom for the public to get information about administrative implementation, information about policies, the process of policy-making and its implementation, and the realized outcomes.

According to Thai (2001) in Amemba, et al (2015:271) the basic principles of good procurement practices includes accountability as an effective mechanism that allow procurement entities to use the already limited resources carefully and responsibly, especially their accountability to public; the competitive supply necessitates the procurement process to be performed competitively except when there are certain reasons to have it done directly; consistency to treat all tender participants equally regardless of their races, nationalities or political affiliation. According to Jeppesen (2010) in Jacob (2014: 34) explained that accountability is the main buffer for every procurement system. Without transparency and accountability, the occurrence of corruption and misappropriation of funds will surely increase. Monitoring by the public will help identify inefficiency in the use of resources in order to improve the efficiency and effectiveness of the procurement process that will lead to the improvement of public services.

Likewise, the principles of procurement also concern with the ethics that must be followed by all the participants in the procurement process. According to Wee (2002) in Amemba et al (2013: 42) ethic is a moral principle or values that guide all government officials in all their job aspects. Ethical behavior includes honesty, integrity, diligence, fairness, confident, respectful, and consistent. Ethical behavior also includes avoiding conflict of interest, and shy away from abusing power for private benefits. According to Alex Sobur (2001) in Gani Rita (2006: 117-118) defines ethics as values, norms, and moral principles that act as a widely-accepted guidance in determining the goodness or badness of human behaviors as a human being. The material object of ethic is human behavior (behavior that is consciously and freely acted), while the formal object of ethic is the goodness or badness of that behavior act.

In procurement process, according to Hendrawangsa (2013:16) that ethic in the procurement process is good behaviors shown by all participants involved in the procurement process. Those good behaviors include respectful towards tasks and functions of others, performing tasks professionally, and not doing manipulation with a bad intention to inflict harm to others or with the intention to gain personal benefits. Specifically, the purpose of procurement ethics as explained by Kuncoro (2013:14) is to avoid conflict of interest, to prevent participants to assume or gain access to multiple functions, to

avoid and prevent inefficiency and financial loss in the procurement process, to prevent power abuse and/or collusion in favor of personal, groups or other interest, that will directly and indirectly, inflict financial loss for government fund, and lastly, accepting, offering, or promising to give or receive rewards, gifts, bribery, rebate, etc, from and to anyone or parties that are known or allegedly have any involvement in the procurement process are strictly prohibited.

4.3 PREPARING PUBLIC PROCUREMENT PLAN (RUP)

In order for procurement process to be implemented effectively and effectively a procurement plan is needed. Procurement plan needs to be prepared in advance to ensure that the procurement process will run smoothly and to obtain goods and services that are really necessary to improve the performance of governmental institutions. Preparing public procurement plan is the first vital step to avoid any misconducts in the procurement process that may harm or obstruct the process of obtaining goods and services for governmental institutions. As stated in paragraph 22 Presidential Decree, Number 70, 2012 which is the second amendment of Presidential Decree, Number 54, 2010, the preparation and validation of RUP is under the authorization and as the duty of Budget User or Pengguna Anggaran (PA)/ Budget User Authority or Kuasa Pengguna Anggaran (KPA). The steps for preparing public procurement plans are as follows: (1) Identifying the goods and services that are needed and necessities; (2) Formulating and validating the budget plan; (3) Validating the public procurement plan; (4) Preparing Task Referential Framework or Kerangka Acuan Kerja (KAK); and (5) Announcing RUP. Subsequently, RUP that has been prepared by PA/KPA in accordance to paragraph 34 Presidential Decree, Number 54, 2010 needs to be reevaluated and revalidated by working together with PPK, Procurement Services Unit or Unit Layanan Pengadaan (ULP) and Procurement Officials. The purpose of RUP reevaluated is to confirm that: (1) RUP that has been prepared by PA/KPA concerning the requirements and allocations of funds must comply with accounting codes, the allocated fund must be enough to support the implementation of tasks, and there must also be a backup fund for conducting providers/supplier selection; (2) Ensuring that KAK clearly elaborates the details of activities concerning: (a) details of types, contents, and the number of reports that have to be prepared; (b) details of implementation timetables; (c) Tasks implementation timetables; (d) detailed specifications of goods and services; (e) detailed estimations of the amount of cost incurred; (f) the prerequisites of basic materials that will be used; (g) the desired criteria for product performance; (h) the duration of warranty certification and maintenance periods; and (i) design pictures or photos of the products when needed.

5 RESEARCH METHODOLOGY AND DATA ANALYSIS

This study was conducted in July 2015 in Bitung City of North Sulawesi Province, using samples from regional apparatus task forces (SKPD) from 47 agencies. Data were collected in the form of both quantitative and qualitative data. Quantitative data were collected using questionnaires, as a source of primary data that were collected directly from respondents who answered in written a list of questions that has been prepared earlier by the researcher. Respondents in this study were Commitment Maker Officials or Pejabat Pembuat Komitmen (PPK), and/or Procurement Officials or Pejabat Pengadaan (PP), and/or Procurement Committee or Panitia Pengadaan from 47 agencies in Bitung City. Several questionnaires were uncompleted because there were some items in the questionnaires that were not fully understood by the respondents. These questionnaires were then reevaluated upon returned. Qualitative data were collected during recheck by interviewing respondents face-to-face or by phone.

Responds from respondents in the questionnaires was scored using a conventional scale (Al-Qu'ayyid, 2008: 10) by evaluating respondents' perceptions about an object using scores 1 to 10. The scoring results were then incorporated in a multiple statistical regression equation and analyzed using Software SPSS Version 19.

The equation is: $Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 + \mu_i$, where, Y = the score of implementation of RUP; α = Constant; β = intercept or regression coefficient of each variable; μ_i = Residual, X_1 = RUP is prepared according to directions in Presidential Decree, Number 54, 2010; X_2 = RUP is prepared according to standards in Presidential Decree, Number 54, 2010; X_3 = RUP is prepared according to job packets in Presidential Decree Number 54, 2010; X_4 = RUP is prepared according to procurement instructions in Presidential Decree, Number 54, 2010; X_5 = RUP has been reevaluated before public announcement; X_6 = RUP is prepared according to identified necessities; X_7 = RUP is prepared according to available budget; X_8 = RUP is prepared according to Task Referential Framework or Kerangka Acuan Kerja (KAK); and X_9 = RUP is prepared according to organizational structure.

In hypotheses testing and analyzes, the data were processed using statistical software SPSS.19. Next, the processed data were tested using both F-test and t-test.

F-test. To determine whether all independent variables X_1 to X_9 have significant influences on dependent variable Y, the regression coefficients were tested using degree of significance F value. If $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_9 = 0$. It means that all

independent variables have no significant effects on the dependent variable. If $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_9 = 0$. It means that all independent variables have significant effects on the dependent variable. The criteria for decision making are as follows: H_0 is accepted when $F\text{-result} < F\text{-table}$ which is $F_{\alpha}(k-1, n-k)$ at $\alpha = 0,05$. And, H_0 is rejected when $F\text{-result} > F\text{-table}$ $F_{\alpha}(k-1, n-k)$ at $\alpha = 0,05$. Where $F_{\alpha}(k-1, n-k)$ is a critical F value at α significance level and degree of freedom (df) with the numerator ($k-1$) and degree of freedom (df) with denominators ($n-k$).

t-test. t-test which is also known as the partial regression coefficient test is used to determine the partial effects of independent variables X_1 to X_9 on dependent variable Y , under the assumption that the other independent variables are constant. If $H_0: \beta_1 = 0, H_0: \beta_2 = 0, H_0: \beta_3 = 0, H_0: \beta_4 = 0, H_0: \beta_5 = 0, H_0: \beta_6 = 0, H_0: \beta_7 = 0, H_0: \beta_8 = 0, H_0: \beta_9 = 0$. It means that there are no partial significant effects of all independent variables on the dependent variable. If $H_1: \beta_1 \neq 0, H_1: \beta_2 \neq 0, H_1: \beta_3 \neq 0, H_1: \beta_4 \neq 0, H_1: \beta_5 \neq 0, H_1: \beta_6 \neq 0, H_1: \beta_7 \neq 0, H_1: \beta_8 \neq 0, H_1: \beta_9 \neq 0$. It means that there are partial significant effects of all independent variables on the dependent variable. The criteria for decision making are as follows: H_0 is accepted and H_1 is rejected when $t\text{-result} < t\text{-table}$ $t_{\alpha}(n-k)$, which means that variable X has no effect on variable Y . H_0 is rejected and H_1 is accepted when $t\text{-result} > t\text{-table}$ $t_{\alpha}(n-k)$, which means that variable X has an effect on variable Y . α is the significance level and ($n-k$) is the degree of freedom, which is calculated by subtracting the numbers of independent variables from the numbers of observations in the model.

6 ANALYSIS RESULT AND INTERPRETATION

6.1 MULTIPLE REGRESSION ANALYSIS

The results from multiple regression analysis are presented in Table.1 below:

Table 1: Model Summary of Multiple Regression Analysis

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistic		
					R Square Change	F Change	Df 1
1	,948 ^a	,898	,873	2,268	,898	36,231	9

Source: Processed of primary data

According to the above summary output of SPSS model, it can be seen that the value of adjusted R^2 is 0.873, which indicates that 87.3 percent of the variations in RUP value (Y) as dependent variable can be explained by variations in all nine independent variables (X_1 to X_9). While the rest percentages ($100 - 87.3 = 12.7$) or 12.7 percent are explained by other factors beyond the model.

6.2 SIMULTANEOUS TESTING (F-TEST)

The results of simultaneous analyses are presented in Table 2 below:

**Tabel 2: Simultaneous Significance Test (Uji-F)
Anova^b**

Model	Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig
1 Regression	1677,105	9	186,345	36,231	,000 ^a
Residual	190,299	37	5,143		
Total	1867,404	46			

Source: Processed of primary data

As can be seen from the table of ANOVA test or F-test above, the value of F-result is 36.231 with probability value 0.000. Since the probability value is smaller than 0.05, it can be inferred that the regression coefficients of all the independent variables are not the same as zero, or that all nine independent variables simultaneously influence RUP value. This also means that the determination coefficient of R^2 is not the same as zero or significantly.

6.3 PARTIAL TESTING (T-TEST)

The results of partial analyses are presented in Table 3 below:

**Table 3: Individual Parameter Significance Test (t-test)
Coefficients^a**

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-9,887	5,998		-1,648	,108
RUP ₁	1,020	,516	,196	1,978	,055
RUP ₂	1,807	,577	,241	3,130	,003
RUP ₃	,435	,431	,067	1,008	,320
RUP ₄	1,470	,602	,169	2,444	,019
RUP ₅	,882	,360	,141	2,449	,019
RUP ₆	1,682	,604	,229	2,787	,008
RUP ₇	1,668	,581	,201	2,871	,007
RUP ₈	,768	,515	,135	1,492	,144
RUP ₉	,802	,428	,128	1,875	,069

Source: Processed of primary data

From the table 3 of Uji-t above, it can be explained that: (1) For variable X_1 (RUP₁), t-result value of 1.978 relative to t-table value of 1.679 at dk 45 and significance level 0.05, thus because t-result > t-table, hence H_0 is rejected and H_a is accepted. This means that variable RUP₁ has a significant effect on RUP value; (2) For variable X_2 (RUP₂), t-result value of 3.130 relative to t-table value of 1.679 at dk 45 and significance level 0.05, thus because t-result > t-table, hence H_0 is rejected and H_a is accepted. This means that variable RUP₂ significantly influences RUP value; (3) For variable X_3 (RUP₃), t-result value of 1.008 relative to t-table value of 1.679 at dk 45 and significance level 0.05, thus because t-result < t-table, hence H_0 is accepted and H_a is rejected. This means that variable RUP₃ does not significantly influence RUP value; (4) For variable X_4 (RUP₄), t-result value of 2.444 relative to t-table value of 1.679 at dk 45 and significance level 0.05, thus because t-result > t-table, hence H_0 is rejected and H_a is accepted. It means that variable RUP₄ has a significant effect on RUP value; (5) For variable X_5 (RUP₅), t-result value of 2.449 relative to t-table value of 1.679 at dk 45 and significance level 0.05, thus because t-result > t-table, hence H_0 is rejected and H_a is accepted. It means that variable RUP₅ significantly influences RUP value; (6) For variable X_6 (RUP₆), t-result value of 2.787 relative to t-table value of 1.679 at dk 45 and significance level 0.05, thus because t-result > t-table, hence H_0 is rejected and H_a is accepted. It means that variable RUP₆ significantly influences RUP value; (7) For variable X_7 (RUP₇), t-result value of 2.871 relative to t-table value of 1.679 at dk 45 and significance level 0.05, thus because t-result > t-table, hence H_0 is rejected and H_a is accepted. It means that variable RUP₇ significantly influences RUP value; (8) For variable X_8 (RUP₈), t-result value of 1.492 relative to t-table value of 1.679 at dk 45 and significance level 0.05, thus because t-result < t-table, hence H_0 is accepted and H_a is rejected. It means that variable RUP₈ has no significant effect on RUP value; (9) For variable X_9 (RUP₉), t-result value of 1.875 relative to t-table value of 1.679 at dk 45 and significance level 0.05, thus because t-result > t-table, hence H_0 is rejected and H_a is accepted. It means that variable RUP₉ significantly influences RUP value.

6.4 REGRESSION COEFFICIENTS

The linear regression equation can be obtained from not standardized beta coefficients as shown in Table 3 above. Thus the regression equation is: $Y = -9.887 + 1.020RUP_1 + 1.807RUP_2 + 0.435RUP_3 + 1.470RUP_4 + 0.882RUP_5 + 1.682RUP_6 + 1.668RUP_7 + 0.768RUP_8 + 0.802RUP_9 + \mu_i$. The constant value (α) at -9,887 indicates that when there is non-compliance towards implementation practices of RUP as mandated in Presidential Decree No. 54, 2010, the RUP implementation value of -9,887 indicates a negative outcome. On the other hand, with compliance towards implementation practices of RUP, the value of RUP implementation will be positive. The regression coefficient for each independent variable (RUP₁ to RUP₉) shows a positive value. It means that all independent variables have positive effects on the dependent variable (RUP value).

6.5 FINDING AND DISCUSSION

Problems and obstacles in public procurement processes may hindrance an autonomous district to be proclaimed as having good governance systems. The administrative echelons of Bitung City have taken measures to improve and reform the administrative bureaucracy, among others, in the management and practices of public procurement systems. The change of procurement tender system from manual system to electronic procurement system (e-procurement) has made Bitung City to become a model city for the administrative reformation system in North Sulawesi Province. In his study, Jacob (2014: 302) found that Bitung City shows better compliance from its administrative bureaucratic apparatus in practicing good governance principles in the management of public procurement processes. Factors that play as reminders and leverages for the high performances of bureaucratic apparatus in the procurement processes are: (1) Religious attitude as the basic capital. Religious principles and teachings become the foundation in performing tasks and in delivering services; (2) Cultural and customary attitudes towards local wisdom. The majority of bureaucratic apparatus and citizens of Bitung City are Minahasanese. Minahasanese people and its culture have open-minded characteristics and show great welcome to anybody. The Minahasanese has a life principle called, "*Si Tou Timou Tumou Tou*" which means that every Minahasanese is obliged to help others in need to be better; and lastly, (3) Government Regulations. Regulations concerning public procurement processes and practices issued by the central and regional administrative agencies are strictly followed and complied.

Based on the results of the multiple statistical regression analysis using SPSS.19, it can be concluded that the implementation practices of RUP in Bitung City have been carried out according to Presidential Decree, Number 54, 2010 and its amendments. This is shown by the large effects of independent variables (X_1 to X_9) on the dependent variable (Y) as estimated in RUP implementation value at 0.873, or 87.3 percents, while the rest of 12.7 percents are influenced by other factors. This means that administrative bureaucratic apparatus has done great in the implementation practices of RUP, which have been carried out according to regulations. This is consistent with the results of F-test (ANOVA), where the estimated F-result is 36.231, and F-table is 3.21 with measurement probability at 0.000, and probability value at 0.05. Because F-result > F-table or 36.231 > 3.21, it means that H_0 is rejected. The measurement probability value of 0.000 is also much smaller than 0.05. It can be concluded that the performances of administrative bureaucratic apparatus in implementing RUP have significant correlations or significant effects on RUP value for procurement practices in Bitung City.

From partial test (t-test) results, it is found that of all nine independent variables (X), there are seven variables that have significant effects on RUP value, while the other two have no effects. Independent variables that show significant effects from the highest to the lowest are: (1) RUP₂, that the RUP has been prepared according to standards in Presidential decree 54, 2010 which is t-result 3.130 > t-table 1.679; (2) RUP₇, that the RUP has been prepared according to the available organizational budgets, which is t-result 2.871 > t-table 1.679; (3) RUP₆, that RUP has been prepared according to the identified organizational needs, which is t-result 2.787 > t-table 1.679; (4) RUP₅, that RUP has been reevaluated before public announcement as directed in Presidential decree No. 54, 2010, which is t-result 2.449 > t-table 1.679; (5) RUP₄, that the RUP has been prepared according to procurement methods as indicated in Presidential decree No. 54, 2010, which is t-result 2.444 > t-table 1.679; (6) RUP₁, that RUP has been prepared according to directions in Presidential decree No. 54, 2010, which is t-result 1.978 > t-table 1.679; (7) RUP₉, that the RUP has been prepared according to organizational structures, which is t-result 1.875 > t-table 1.679. The overall t-test results show that the RUP implementation practices significantly affect procurement outputs in the administrative district of Bitung City, because the administrative bureaucracy apparatus show a relatively high compliance in implementing public policies. However, since there are two independent variables that show no significant effects on RUP value, based on statistical analysis, which are: (1) RUP₃, that the RUP has been prepared according to job packets in Presidential Decree, Number 54, 2010, which is t-result 1.008 < t-table 1.679; and (2) RUP₈, that RUP has been prepared according to KAK t-result 1.008 < t-table 1.679, it means that there are some improvements need to be done in regulating and allocating job packets and KAK for procurement practices in Bitung City.

For improvement measures concerning goods and services packets, PA/KPA must formulate and allocate as many job packets as possible for Small & Micro Enterprises (SMES) and Small Cooperatives as mandated in paragraph 100 Presidential Decree, Number 54, 2010. In addition, PA/KPA must decide whether the procurement of goods and services must be self-provided or self-made by the appointed enterprises or obtained via other suppliers of goods and services, either of which the emphasize is on improving the utilizations of domestic products. In the preparation of RUP, it was noted that SMES and Small Cooperatives were still largely ignored. The bureaucratic apparatus as the users of goods and services preferred using imported products. The government efforts to empower Medium & Small Micro Enterprises as mandated in the Legislation No. 20, 2008, can actually be realized through procurement practices so long as the job packets and budget allocations for SMES and Small Cooperatives in the preparations of RUP are formulated rightly so. The utilization of domestic products in the preparation of RUP will enhance the growth of economics rates, create job opportunities, increasing incomes, consumptions, and public savings, raising accumulation of investments, and increasing state incomes from taxation.

Task Referential Framework (KAK) is a document which contains descriptions of guidelines that must be strictly followed in the implementation practices of public procurement plans. In reevaluating and revising the preparations of KAK, attention should be focused on the details of activities that need to be performed, the time of execution that must be accomplished within or before the end of the fiscal year, the place where the goods and services must be delivered, technical specifications of goods and services required, and the amount of allocated funds that can be spent for buying goods and services required and also backup funds for facilitating the procurement process. A well-prepared KAK will ensure the procurement of goods and services as required by organizations (SKPD), effective and efficient use of budgets, and the precise time when the goods and services will be delivered and received by organizations, and these will ensure the improvements of bureaucratic apparatus performances.

7 CONCLUSION

Based on this study, it can be concluded that to ensure the successfulness of public procurement practices the first vital requirement is a strong commitment from bureaucratic apparatus to conduct and comply with good governance principles in the implementation practices of public procurement processes. Results from this study shows that implementation practices of RUP in the administrative district of Bitung city indicate a good compliance level. Results from interviews with bureaucratic apparatus in 47 SKPD show that there are several factors that functioned as reminders and leverages for the high performances of bureaucratic apparatus in the procurement processes, which are: (1) Religious attitude as the basic capital. Religious principles and teachings become the foundation in performing tasks and in delivering services; (2) Cultural and customary attitudes towards local wisdom that influence behaviors and activities of bureaucratic apparatus and citizens of Bitung City which predominantly are Minahasanese. Minahasanese people and its culture show great welcomeness to anybody with their life principle called, “*Si Tou Timou Tumou Tou*” which means that every Minahasanese is obliged to help others in need to be better; and lastly, (3) Regulations concerning public procurement processes and practices issued by the central and regional administrative agencies are strictly followed and complied. The theoretical implications of this study open up new areas for policy implementations in the practice of RUP preparation using good governance principles which are: effective, efficient, transparent, open, competitive, fair and indiscriminate, and accountable. All of which should be in accordance with the procurement ethics as mandated in the Presidential Decree, Number 54, 2010 and its amendments.

ACKNOWLEDGMENTS AND LEGAL RESPONSIBILITY

This is the original article on our results, and we say that we are responsible for the content of this article, and we stated that the article had never been to a conference or send it to another journal. Thanks are due to Rector of Khairun University, Prof. Dr. Husen Alting who have supported us to participate in this conference Thank you.

REFERENCES

- [1] Ameyaw, Collins, Sarfo Mensah, Ernest Osei-Tutu. (2012), Public Procurement In Ghana: The Implementation Challenges To The Public Procurement Law 2003 (Act 663), *International Journal Of Construction Supply Chain Management*, Vol. 2, No. 2. pp:55-65.
- [2] Al-Qu'ayyid, Ibrahim bin Hamd.(2008).Sepuluh Kebiasaan Manusia Sukses Tanpa Batas (terjemahan cetakan ke-empat), Jakarta: Penerbit Maghfirah Pustaka.
- [3] Amemba, Cyrus Saul, *et al.* (2015), Challenges Affecting Public Procurement Performance Process in Kenya, *European Journal of Business and Management*, Vol.7, No.7. pp:271-280. www.iiste.org.
- [4] Amemba, Cyrus Saul, *et al.* (2013), Challenges Affecting Public Procurement Performance Process in Kenya, *International Journal of Research in Management*, Issue 3, Vol. 4 (July 2013). pp: 41-55.
- [5] Badaso, Chalton Jillo. (2014), Challenges of Implementing Procurement Policies in State Corporations in Kenya, *European Journal of Business and Management*, Vol.6, No.3.pp:56-61. [Online] Available: www.iiste.org/Journals/index.php/EJBM/.../1071
- [6] Gani, Rita. (2006), Menghargai Etika Profesi di Lingkungan Akademik, *MIMBAR*, Vol.XXII, No. 1 (Januari-Maret 2006). Hal: 114-129.
- [7] Gilaninia, Shahrar, *et al.* (2012), The Role of ICT in Performance of Small and Medium Enterprises, *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*, Vol.3, No.9. [Online] Available: www.journal-archives14.webs.com/833-839.pdf.
- [8] Hardiyansyah dan Rahmad Effendy. (2014), Model Implementasi Kebijakan Publik dalam Pengelolaan Sampah dan Kebersihan Kota Palembang, *MIMBAR*, Vol. 30, No.1 (Juni 2014). Hal: 108-117.

- [9] Hendrawangsa, Permana. (2013), 'Kajian Efisiensi Dan Efektivitas Implementasi Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Dalam Rangka Penyediaan Infrastruktur Irigasi (Studi Kasus Pada Balai Besar Wilayah Sungai Citarum)', *Ringkasan Disertasi*. Tidak dipublikasikan. Bandung: Pascasarjana Universitas Pasundan.
- [10] Irawati. (2013), Kearifan Lokal dan Pemberantasan Korupsi dalam Birokrasi, *MIMBAR*, Vol, 29. No. 1 (Juni 2013). Hal:101-110.
- [11] Jacob, Jufri, Indah Susilowati. (2014), Implementation Of Good Governance Principles In Public Procurement For Empowerment Of Micro Small Enterprise: Empirica Study In Bitung City North Sulawesi Province, *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences* . Vol, 2, Issue 5.(May 2014). pp: 261-268.
- [12] Jacob, Jufri. (2014), Strategi Pemberdayaan UMKK Selaku Penyedia Barang dan Jasa Pemerintah, *Disertasi*. UNDIP Semarang: Tidak di Publikasikan.
- [13] Kuncoro, Agus. (2013), "*Begini Tender Yang Benar: Langkah-langkah Melaksanakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah*", Jogjakarta: Penerbit Primaprint.
- [14] Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah (LKPP) .(2011), Senarai Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah, *Jurnal Pengadaan*, Vol. 1, No. 1(Desember 2011). <http://www.lkpp.go.id>, diakses 14 Mei 2013.
- [15] Mwangi, Thanju David. (2013), Factors Affecting Compliance of Public Hospitality Entities to Public Procurement Laws and Regulations in Kenya, *International Journal of Business and Commerce*, Vol. 2, No.10 (Jun 2013): pp.66-78. [Online] Available: <http://www.ijbcnet.com/2-10/IJBC-13-2912.pdf>.
- [16] Onyinkwa, Jane.(2013), Factors Influencing Compliance To Procurement Regulations In Public Secondary Schools In Kenya: A Case Of Nyamache District, Kisii County, *Interdisciplinary Journal Of Contemporary Research In Business*, May 2013, Vol. 5, No.1. pp: 561-592. <http://journal-archievers32.webs.com/561-592.pdf>.
- [17] Rahayu, Triana Puji, dkk. (2012), Implementasi Kebijakan *E-Procurement* Untuk Mewujudkan Efisiensi Dan Transparansi (Studi pada PT. PLN (Persero) Area Malang), *Jurnal Administrasi Publik (JAP)*, Vol. 1, No.2.Hal: 166-174.
- [18] Setiawan, Odi. (2014), Penerapan *Good Corporate Governance* (Tata Kelola Perusahaan Yang Baik) Dalam Pengadaan Barang Dan Jasa Secara Elektronik (*E-Procurement*) Di PLN Kota Balikpapan, *E-Journal Ilmu Pemerintahan*, Vol.2, No.4. Fakultas Ilmu Pemerintahan Universitas Mulawarman.
- [19] Sutedi, Adrian. (2012), *Aspek Hukum Pengadaan Barang & Jasa Pemerintah dan Berbagai Permasalahannya*, Jakarta: Penerbit Sinar Grafika.
- [20] Yuwinanto, Helmi Prasetyo. (2013), Implementasi E-Procurement pada Pemerintah Kota Surabaya. *Jejaring Administrasi Publik*, Th V. Nomor 1, (Januari-Juni 2013). Hal: 212-231.

DETERMINING THE CENTERS OF ECONOMIC GROWTH AND REGIONAL DEVELOPMENT USING SCALOGRAM ANALYSIS: An Empirical Study In West Halmahera Regency, Indonesia

Jufri Jacob¹ and Nonce Hasan²

¹Lecturer of Magister Departement of Economic Faculty, Khairun University Ternate City, Indonesia

²Lecturer of Economic Faculty, Khairun University, Ternate City, Indonesia

Copyright © 2016 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: Each region has potentials and economic advantages that can be used as the source of its regional growth. The capability of each region to promote its own growth depends on its economic competitive advantages. This study is aimed to determine the centers of economic growth and regional development in West Halmahera Regency in the North Moluccas Province. The data used for analysis is secondary data which were collected using documentation method and internet browsing. The method of analysis used is scalogram analysis. The results show that among 9 subdistricts observed in this study, only 4 have the highest scores for socioeconomic infrastructures completeness. The subdistrict located in the central administrative area is the center of growth or growth pole, and the other 3 subdistricts act as the buffer areas. Based on scalogram analysis results, it is found that the growth of each subdistrict is relatively similar, with only 1 subdistrict that shows a relatively more advance growth in Hierarchy II with the highest Index of Subdistrict Growth (ISG) at 21.3433. The other 8 subdistricts are under-developed regions within Hierarchy III with variable Index of Subdistrict Growth (ISG).

KEYWORDS: Regional Development, New Economic Growth Poles, Scalogram Analysis, West Halmahera Regency.

1 INTRODUCTION

Regional development is an effort to build and develop an area to improve the welfare of its people by taking advantages of its natural resources, human resources, institutional resources, technological resources and physical infrastructures in an effective, optimal, continuous way. The main objective is to create equally developed regions to reduce inter-regional gaps (Adisasmita, 2008). Inter-regional gap, however, is a universal phenomenon (Rustiadi, and D. R. Panuju, 2009). Developmental approach that emphasizes on economic growth will cause investments and resources to be concentrated in larger cities and areas as the center of growth or growth pole, while hinterland areas are over-drained of their resources. This inter-regional gap is also occurring between subdistricts in West Halmahera Regency in the North Moluccas Province.

One strategy to reduce inter-regional developmental gap is by creating one area as the growth pole that spreads out to its peripheral or hinterland areas (Safrizal, 2012). These new growth poles can be significantly and vastly developed (Rustiadi and D. R. Panuju, 2009). A growth pole can only be developed in certain areas that have a variety of variables in varying intensities (Adisasmita, 2008). From a geographical point of view, a growth pole is an area that has many facilities and supportive conditions in such a way that it can be the pole of attraction (Nugroho and Rokhmin Dahuri, 2004 in Rahayu and Eko Budi Santoso, 2014). In the context of regional growth and development in West Halmahera Regency, the developmental efforts are focused on the creation and development of growth poles. To fulfill its main function, regional development must be associated to its hinterland especially as the centers of trading and marketing of a variety of agricultural and horticultural commodities. This means that functional interdependability between the growth pole and its hinterland becomes the focal point for the developmental efforts in West Halmahera Regency, which consists of 8 subdistricts and 176 villages that encompasses an area of 14,823.16 km². It is a large potential area that needs to be strategically managed and developed. The

growth poles need to be determined carefully in order to encourage the continual growth of their hinterland areas. In order to do that, the subdistricts in West Halmahera Regency need to be identified to determine the ones most appropriate to be developed as new growth poles with the expectations that the creation of new growth poles along with their economic and infrastructural developments will spread out to their hinterland areas and eventually create equally developed areas.

2 OBJECTIVE OF THE STUDY

This study is aimed to determine the subdistricts that are most appropriate to be developed as the new economic growth poles in West Halmahera Regency.

3 LITERATURE REVIEW

Siregar (2015) in his study "Application of Location Quotient and Scalogram Model to Support New Growth Centre in the Border Region of Medan City", with using scalogram analysis, found that there were 5 orders in a subdistrict with the highest position located in order 1, and that there were yearly fluctuations in the positioning of the orders in a subdistrict that were caused by the growing number of populations. Based on location quotient analysis results, it was found that there were new growth poles in the peripheral areas of Medan City, along with the growing number of Industrial Districts in Medan into 5 industrial districts that created new job opportunities. There were also new growth poles in the central district with the constructions of a new highway, a railway, the Kualanamo Airport and also new hotels and shopping malls.

Ermawati (2010) in her study, "Analysis of the Economic Growth Center At Subdistrict Level In Karanganyar, Central Java Province", employed Scalogram analysis and Index of Centrality, Gravitational/Interactional Analysis, Klassen Typology and Location Quotient Analysis. Results from Scalogram analysis and Index of Centrality showed that there were 7 subdistricts that reach a hierarchy of a high category as the new growth poles, namely: Subdistrict Karanganyar, Subdistrict Jaten, Subdistrict Tasikmadu, Subdistrict Colomadu, Subdistrict Tawangmangun, Subdistrict Karangpandan, and Subdistrict Gondang Rejo.

Sutikno and Maryunani (2007) in their study, "Analysis of Potential and Competitiveness Subdistrict As Growth Centre of Regional Unit Development (RUD) Malang Regency", employed Klassen Typology, Location Quotient (LQ), Shift-Share (SS), Scalogram and Competitive Advantages Analyses. Based on the results of Scalogram, Competitive Advantages and Distance analyses, the growth poles in each RUD can be revealed: Subdistrict Ngantang was the priority subdistrict for RUD I; Subdistrict Singosari was the priority subdistrict for Northern RUD II; Subdistrict Pakisaji was the priority subdistrict for Southern RUD II; Subdistrict Poncokusumu was the priority subdistrict for SWP IV; Subdistrict Kepanjen was the priority subdistrict for RUD V; Subdistrict Pagelalaran was the priority subdistrict for RUD VII; Subdistrict Turen was the priority subdistrict for RUD VIII.

Ardila (2012) in their study "Analysis of Development of Economic Growth Center in Banjarnegara Regency", with using scalogram analysis and index of centrality, Klassen typology and Location Quotient analyses, identified 6 subdistricts that can be categorized as growth poles namely Subdistrict Banjarnegara, Madukara, Purwanegara, Mandiraja, Purwareja Klampok and Susukan. Interactions were found and the scores of interactions between the growth poles and their hinterland areas were variable. The majority of subdistricts were still relatively under-developed. The basic sectors were on average distributed evenly in 20 subdistricts in Banjarnegara Regency, but the most dominant basic sectors were agricultural sector, electricity, gaseous fuel and water sector, construction sector, and services.

In their study Saleh, Yazid, et al (2011), "Model Hierarki Kefungsian dan Pusat Pertumbuhan sebagai Asas bagi Merancang Kawasan Luar Bandar di Malaysia: Bukti dari Daerah Batang Padang," aimed to demonstrate that functional hierarchy model and growth pole strategy are still relevant as the foundation for the developmental planning of rural areas in Malaysia. Results showed that based on the number of populations, the hierarchical settlement patterns in the study area were not evenly distributed. However, using functional analysis on the settlement areas, a different pattern revealed. Tanjong Malim City was on the highest hierarchical order as the central area in the region, followed by Bidor and Tapah. The central government's objective was to alter Tanjong Malim as the sub-regional center in Perak District especially in accordance with the context of Bernam Valley Zone Planning pertaining to strategic reinforcement of Tanjong Malim's function as the centers of higher educational and automotive sectors. It shows that functional hierarchy model and growth pole strategy are still relevant as the foundation for developmental planning of rural areas in Malaysia.

In her study, Utami (2014), identified facilities development in subdistrict Cibinong and examined the role of subdistrict Cibinong as the center of economic growth in Bogor Regency and the structural changes of workforce in subdistrict Cibinong.

The study was a quantitative descriptive study. The data used were secondary data obtained from Central Bureau of Statistics (BPS) and Development Planning Agency (BAPPEDA) in Bogor regency from observation year of 2005, and PODES 2011 data from Population Census 2000 and 2010. The quantitative analysis used in the study was Scalogram analysis, transformation of workforce and a descriptive analysis. Results showed that the highest score for facilities was in subdistrict Cibinong. Subdistrict Cibinong acts as the growth pole for economic development in Bogor regency (hierarchy 1). The structure of workforce in subdistrict Cibinong changed from predominantly agricultural sector to predominantly manufacturing and service sectors.

4 RESEARCH METHODOLOGY

The data used in this study are secondary data obtained from both relevant institutions and from literature. The data collecting method is bibliographical surveys of published literature and internet browsing through which the researchers examined the data both quantitatively and qualitatively (reports, regional monographs, scientific journals and books, etc). Scalogram analysis is used in this study to analyze data with the purpose to identify subdistricts that can be categorized as growth poles based on the available facilities in those subdistricts. The hierarchical order of each region is subsequently determined based on the total number of available facilities in that particular region. The stages in scalogram analysis method are as follows: (1) Subdistricts in each region are ranked based on the number of their populations; (2) Subdistricts in each region are ranked based on the number and types of available facilities; (3) Facilities are ranked based on the number of subdistricts that have them available; and (4) Types of facilities are ranked based on the total number of each unit of facility.

5 RESULTS AND DISCUSSIONS

5.1 IDENTIFYING THE STATUS OF EACH SUBDISTRICT IN WEST HALMAHERA REGENCY

For the purpose of this analysis, the data used are types of socio-economic infrastructures and regional accesibility data such as travelled distance and travelled time between subdistricts and their subdistricts' capitals, between subdistricts and their central regencies, and between subdistricts and the nearest neighbouring regencies. The nine subdistricts in this unit of analysis can be grouped into three categories: Hierarchy I (relatively developed regions), Hierarchy II (moderately developed regions), and Hierarchy III (relatively under-developed regions). Analysis results based on the availability of socio-economic infrastructures in each subdistrict revealed that subdistrict Jailolo has the highest the Index of Subdistrict Growth (ISG) at 21.3433 with 17 types of available infrastructures. The lowest subdistrict with Index of Subdistrict Growth (ISG) at 6.5200 is Kecamatan Ibu Selatan with 13 types of available infrastructures. It can be concluded that the development rates of each subdistrict in West Halmahera Regency are relatively similar. Of the nine subdistricts analyzed in this study, only one subdistrict reaches a development level within Hierarchy II, while the other eight fall within Hierarchy III. The results data is shown in Table 1 below.

Table 1. Results of Scalogram Analysis on the Socio-Economic Infrastructures within Subdistricts in West Halmahera Regency in 2013

No	Subdistricts	Total population (person)	Size subdistrict area (Ha)	IPK	Number type infrastructure	Hierarchy
1	Jailolo Timur	3,498	281.35	21.3433	17	2
2	Jailolo	28,205	226.00	11.2889	22	3
3	Jailolo Selatan	14,485	147.55	10.5120	19	3
4	Sahu	9,446	122.86	9.6571	15	3
5	Sahu Timur	8,208	271.00	12.2677	16	3
6	Ibu	9,577	109.82	7.2921	14	3
7	Ibu Selatan	10,584	368.33	6.5200	13	3
8	Ibu Utara	7,961	220.64	6.6278	13	3
9	Loloda	10,881	614.01	10.2191	15	3

Source : West Halmahera Regency in Numbers, 2014. Processed Data.

5.2 THE AVAILABILITY OF EDUCATIONAL INFRASTRUCTURES WITHIN SUBDISTRICTS

Table 2. Results of Scalogram Analysis on Educational Infrastructures within Subdistricts in West Halmahera Regency in 2013

No	Subdistricts	Total Population (person)	Size Subdistrict Area (Ha)	Facilities of Education (unit)					Total Unit
				TK	SD	SLTP	SLTA	PT	
1	Jailolo	28,205	226.00	9	37	15	8	1	70
2	Jailolo Timur	3,498	281.35	1	36	4	3	0	44
3	Jailolo Selatan	14,485	147.55	6	27	13	5	0	51
4	Sahu	9,446	122.86	3	15	8	2	0	28
5	Sahu Timur	8,208	271.00	3	14	5	5	0	27
6	Ibu	9,577	109.82	0	15	5	2	0	22
7	Ibu Selatan	10,584	368.33	0	17	6	2	0	25
8	Ibu Utara	7,961	220.64	0	14	4	2	0	20
9	Loloda	10,881	614.01	0	30	7	1	0	38
Amount		102,845	22.6155	22	205	67	30	1	325
Average		11,427		2	23	7	3	0	36

Source : West Halmahera Regency in Numbers, 2014. Processed Data.

Note: TK is Kindergarten
SD is Elementary school
SLTP is Secondary school
SLTA is HighSchool

As seen in Table 2 above, West Halmahera Regency has 325 units of educational infrastructures with average distributions 36 units in each subdistrict. Judging from its number of populations, subdistrict Loloda, which is located relatively far away from the subdistrict's capital, has a relatively higher need for educational facilities. The number of populations in 2013 was 614.01 individuals, with only 38 units of educational infrastructures. This condition compares unfavorably to subdistrict Jailolo Selatan with populations of 147.55 individuals and which has 51 units of educational infrastructures.

5.3 THE AVAILABILITY OF TRANSPORTATIONAL INFRASTRUCTURES WITHIN AND BETWEEN SUBDISTRICTS

Another vital social infrastructure that need to be addressed by the government is transportation infrastructure. As an archipelagic region, the North Moluccas Province vitally need transportation infrastructures to promote economic activities and to support interactions of its demographic populations. An all around transportation infrastructure shall increase inter-regional socio-economic mobility of goods and services. In turn, regional inflations can be curbed or controlled and inter-regional connectivities can be intensified which will promote the development of regional economic infrastructures.

As seen in Table 3, results of scalogram analysis on transportation infrastructures within and between subdistricts in West Halmahera Regency in 2013 showed that subdistrict Jailolo has the highest number of transportation infrastructures, as many as 2 units, which are 1 unit of seaport for small boats and/or large ships and 1 unit of public transportation terminal. There is no airport in subdistrict Jailolo. And for subdistrict Loloda, particularly, which is geographically different from Halmahera island, the construction of road access and seaport are vitally important to render this region less isolated and create a more effective inter-regional connectivity.

Table 3. Results of Scalogram Analysis on Transportational Infrastructures within and between Subdistricts in West Halmahera Regency in 2013

No	Subdistricts	Total Population (person)	Size Subdistrict Area (Ha)	Facilities of Transportation (unit)		Total unit
				Station Land	Seaport	
1	Jailolo	28,205	226.00	1	1	2
2	Jailolo Timur	3,498	281.35	0	0	0
3	Jailolo Selatan	14,485	147.55	0	0	0
4	Sahu	9,446	122.86	0	0	0
5	Sahu Timur	8,208	271.00	0	0	0
6	Ibu	9,577	109.82	0	0	0
7	Ibu Selatan	10,584	368.33	0	0	0
8	Ibu Utara	7,961	220.64	0	0	0
9	Loloda	10,881	614.01	0	0	1
Jumlah		102,845	22.6155	1	1	3

Source: West Halmahera Regency in Numbers, 2014. Processed Data.

5.4 THE AVAILABILITY OF HEALTHCARE INFRASTRUCTURES WITHIN SUBDISTRICTS

As can be seen in Table 4, subdistrict with the least amount of healthcare infrastructure is subdistrict Jailolo Timur that only has 12 units of healthcare facilities. On average, the number of healthcare infrastructures in each subdistrict is 27 units. Compared to the number of populations in each subdistrict, the total availability of healthcare infrastructures in each subdistrict is relatively equal. However, judging from the distributional patterns of primary healthcare infrastructures such as hospitals, local clinics, midwifery, pustu/polindes, posyandu, private physician practices, and pharmacies, it can be concluded that these primary healthcare infrastructures are not evenly distributed in each subdistrict. The primary healthcare infrastructures are more concentrated in subdistrict Jailolo as the capital of West Halmahera Regency.

Table 4. Results of Scalogram Analysis on Healthcare Infrastructures within Subdistricts in West Halmahera Regency

No	Subdistricts	Total Population (person)	Size Subdistrict Area (Ha)	Facilities of Health(Unit)					Total Unit
				Hospital	Health Center	Village Polyclinic	Place Integrated Health Services	Apotik	
1	Jailolo	28,205	226.00	1	1	10	36	7	55
2	Jailolo Timur	3,498	281.35	0	1	5	6	0	12
3	Jailolo Selatan	14,485	147.55	0	1	13	9	0	23
4	Sahu	9,446	122.86	0	1	8	20	0	29
5	Sahu Timur	8,208	271.00	0	2	5	18	0	25
6	Ibu	9,577	109.82	0	1	4	14	0	19
7	Ibu Selatan	10,584	368.33	0	1	6	17	0	24
8	Ibu Utara	7,961	220.64	0	1	3	14	0	18
9	Loloda	10,881	614.01	0	1	10	32	0	43
Jumlah		102,845		1	10	64	166	0	248
Rata-Rata		11,427		2	23		18,4	0	27.6

Source: West Halmahera Regency in Numbers, 2014. Processed Data.

As can be seen in Table 4, subdistrict with the least amount of healthcare infrastructures is subdistrict Jailolo Timur that only has 12 units of healthcare facilities. However, the total availability of healthcare infrastructures in the whole regency is 248 units. Thus, on average the numbers of healthcare infrastructures in each subdistrict are 27 units. Compared to the number of populations in each subdistrict, the total availability of healthcare infrastructures in each subdistrict is relatively equal. The relatively higher populations in a certain subdistrict is balanced with the availability of healthcare infrastructures in that subdistrict. However, judging from the distributional patterns of primary healthcare infrastructures such as hospitals, local clinics, midwifery, pustu/polindes, posyandu, private physician practices, and pharmacies, it can be concluded that

these primary healthcare infrastructures are not evenly distributed in each subdistrict. The primary healthcare infrastructures are more concentrated in subdistrict Jailolo as the capital of West Halmahera Regency.

5.5 THE AVAILABILITY OF ECONOMIC INFRASTRUCTURES WITHIN SUBDISTRICT.

As seen in Table 5, results from scalogram analysis showed that subdistrict with the highest number economic infrastructures (Industrial, Services and Trading Facilities) is subdistrict Jailolo with as many as 27 units. On the opposite of the scale, there are five subdistricts with the least economic infrastructures namely, subdistrict Jailolo Timur, subdistrict Sahu, subdistrict Ibu, subdistrict Ibu Selatan, and subdistrict Ibu Utara. On average, each subdistrict in West Halmahera Regency has 4 units of economic infrastructures. As detailed in tables 5 and 6, the most recorded economic infrastructures available are restaurants/diners and hotels. Another common economic infrastructures, with as many as 71 units, is banking services which consist of 4 buha banks and 67 cooperative/non-cooperative banks. Subdistrict with the least number of economic infrastructures is subdistrict Ibu Utara, with only 4 units in total which consist of 1 unit of cooperative bank and 3 units of non-cooperative banks.

Table 5. Results of Scalogram Analysis on Economic Infrastructures within Subdistricts in West Halmahera Regency

No Subdistricts	Sarana Industri & Perdagangan (unit)					Shops	Hotels	Total Unit
	Stall of Agricultural Facilities	Large Industries	Small Industries	Micro Industries	Restaurants			
1 Jailolo	0	0	0	0	15	0	12	27
2 Jailolo Timur	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Jailolo Selatan	0	0	0	0	1	0	9	10
4 Sahu	0	0	0	0	0	0	0	0
5 Sahu Timur	0	0	0	0	0	0	3	3
6 Ibu	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Ibu Selatan	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Ibu Utara	0	0	0	0	0	0	0	0
9 Loloda	0	0	0	0	0	0	1	1
Jumlah	0	0	0	0	16	0	25	41
Rata-Rata	0	0	0	0	2	0	3	4.6

Source: West Halmahera Regency in Numbers, 2014. Processed Data.

So, as seen in Table 6, results from scalogram analysis showed that, on average, each subdistrict has 1 unit of KUD and 17 units of Non-KUD Cooperatives. Subdistrict with the highest number of both KUD and Non-KUD Cooperatives is subdistrict Jailolo that has 3 units of KUD dan 64 units of Non-KUD Cooperatives. Judging from the number of its populations, subdistrict Jailolo has the highest economic activities in the whole regency. Moreover, subdistrict Jailolo is the center of administrative activities in West Halmahera Regency and also as the main destination for students looking for higher educational facilities. As a consequence, subdistrict Jailolo also has relatively higher numbers of restaurants/diners and hotels/lodgings than other subdistricts. And last but not least, there are other vital economic infrastructures such as banking services and cooperatives banks in each subdistrict in West Halmahera Regency.

Table 6. Results of Scalogram Analysis on Economic Infrastructures within Subdistricts in West Halmahera Regency

No	Subdistricts	Total Population (person)	Size Subdistrict Area (Ha)	Sarana Perbankan & Koperasi				Total unit
				Banks	Rural Banks (BPR)	Cooperative	Amount Cooperatives non village Unit Cooperatives	
1	Jailolo	28,205	226.00	4	0	3	64	71
2	Jailolo Timur	3,498	281.35	0	5	1	6	12
3	Jailolo Selatan	14,485	147.55	1	0	2	20	23
4	Sahu	9,446	122.86	0	3	1	13	17
5	Sahu Timur	8,208	271.00	0	2	2	8	12
6	Ibu	9,577	109.82	1	0	1	14	16
7	Ibu Selatan	10,584	368.33	0	0	1	9	10
8	Ibu Utara	7,961	220.64	0	0	1	3	4
9	Loloda	10,881	614.01	0	0	1	17	18
Amount		102,845	6		10	13	154	183
Average		11,427	1		1	1	17	20

Source: West Halmahera Regency in Numbers, 2014. Processed Data.

6 CONCLUSIONS

Of the nine subdistricts examined in this study, only four subdistricts have the highest scores of socio-economic infrastructures completeness, namely: subdistrict Jailolo, subdistrict Jailolo Selatan, subdistrict Jailolo Timur, and subdistrict Sahu Timur. Subdistrict Jailolo is located in the center of regional administrative activities in West Halmahera Regency. And thus, subdistrict Jailolo acts as the growth pole in the region and the other three subdistricts act as buffer areas. Subdistrict with the least complete of socio-economic infrastructures is Subdistrict Ibu Utara. Based on scalogram analysis it was revealed that the development within each subdistrict in West Halmahera Regency was more or less relatively similar. Of the nine subdistricts analyzed in this study, only one subdistrict shows a relatively better development (Hierarchy II) with the highest Index of Subdistrict Growth (ISG) which is none other than subdistrict Jailolo. Meanwhile, the other eight subdistricts are less-developed and/or under-developed (Hierarchy III) with variable Index of Subdistrict Growth (ISG).

REFERENCES

- [1] Adisasmita, Rahardjo. (2008), *Teori Lokasi dan Pengembangan Wilayah*, Makassar: Universitas Hasanuddin Press.
- [2] Ardila, Refika. (2012), Analisis Pengembangan Pusat Pertumbuhan Ekonomi di Kabupaten Banjarnegara. *Economics Development Analysis Journal* 1 (2) (2012). [Online] Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/edaj>.
- [3] Erawatie, Elia Dia. (2009), "Kajian Tentang Status, Perubahan Struktur Ekonomi dan Potensi Wilayah Kabupaten Magelang Sebelum dan Selama Otonomi Daerah (198-2008)," *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Surakarta: Fakultas Ekonomi Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [4] Isnina, Wahyuning Sapta Utami. (2014), Analisis Peran Kecamatan Cibirong Sebagai Pusat Pertumbuhan Ekonomi. *Jurnal Organisasi dan Manajemen*, Volume 10, Nomor 2, September 2014.
- [5] Panjiputri, Agata Febrina. (2013), Analisis Potensi Pengembangan Pusat Pertumbuhan Ekonomi Di Kawasan Strategis Tangkallangka. *Economics Development Analysis Journal*. 2 (3) (2013), [Online] Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/edaj>.
- [6] Yazid, Saleh, Katiman Rostam, Mohd Yusof Hussain. (2011), *GEOGRAFIA Online™ Malaysian Journal of Society and Space* 7. Special Issue: *Social and Spatial Challenges of Malaysian Development*. pp: 66-79.
- [7] Siregar, Oktarini Khamilah. (2015), Penerapan Model *Location Quotient* Dan Scalogram Dalam Mendorong Pusat Pertumbuhan Baru Di Wilayah Perbatasan Kota Medan. Seminar Nasional Ekonomi Manajemen dan Akuntansi (SNEMA) Fakultas Ekonomi Universitas Negeri Padang. [Online] Available: <http://fe.unp.ac.id/>.
- [8] Sutikno dan Maryunani. (2007), Analisis Potensi Dan Daya Saing Kecamatan Sebagai Pusat Pertumbuhan Satuan Wilayah Pengembangan (SWP) Kabupaten Malang. *Journal of Indonesian Applied Economics* Vol.1 No.1 Oktober 2007, Hal: 1-17.
- [9] Rustiadi, E.S, Saefulhakim, dan D. R. Panuju. (2009), *Perencanaan dan Pengembangan Wilayah*. Jakarta: Crestpent Press dan Yayasan Obor Indonesia.

- [10] Sjafrizal.(2012). *Ekonomi Wilayah dan Perkotaan*. Jakarta: Rajawali Press.
- [11] Rahayu, Eta dan Eko Budi Santoso. (2014), Penentuan Pusat-Pusat Pertumbuhan Dalam Pengembangan Wilayah Di Kabupaten Gunung Kidul Jurnal Teknik Pomits. Vol. 3, No. 2.
- [12] Setiono, Dedi NS. (2011)¹, *Ekonomi Pengembangan Wilayah: Teori dan Analisis*. Jakarta: Lembaga Penerbit FE UI.

Production des plants de Tomate (*Lycopersicon esculentum*) sur substrats de culture à base de parche de café à différents gradients de désinfection dans une pépinière maraîchère hors sol au Gabon

[Production of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum*) on different substrate made from coffee husks at different disinfection gradients in a vegetable nursery above ground in Gabon]

Ephrem Nzengue¹⁻⁴, Donald Midoko Iponga¹, Youssef M'Sadak², Gladys Stéphanie Assong Owona³, Christophe Roland Zinga-Koumba¹, ASSANI Soulaïmana⁵, Bertrand M'batchi⁴, and Jacques François Mavoungou¹⁻³

¹Institut de Recherche en Ecologie Tropicale (IRET), Centre Nationale de la Recherche Scientifique et Technologique (CENAREST), BP : 13 354, Libreville, Gabon

²Institut Supérieur Agronomique (ISA), BP : 47, 4042 Chott Mariem, Université de Sousse, Tunisia

³Institut National Supérieur d'Agronomie et de Biotechnologies (INSAB), Université des Sciences et Technique de Masuku (USTM), BP : 941, Franceville, Gabon

⁴Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM), BP : 941, Franceville, Gabon

⁵Société d'Horticulture, d'Arboriculture et d'Agronomie (HORTA), Gabon

Copyright © 2016 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: Coconut fiber is the substrate of choice for the production of plants in vegetable nursery above ground Gabon. However, procurement and production costs of the material remain high. This study conducted in the experimental area of the company Horta Gabon, located in the town of Akanda north of Libreville in Gabon, with the aims to test the possibility of substituting coconut fiber imported by coffee husks produced locally. Thus, through monitoring of the germination and vegetative behavior of Tomato seedlings (*Lycopersicon esculentum*) subject to various disinfection treatments, which have focused on the nature of disinfectant and the volumes applied, have showed that plants of tomato products on coffee husks disinfected 1.5 L of Metam Sodium (MS) and washed have better returns in terms of germination and development of tomato seedlings. These results indicate that the coffee husk could be an alternative substrate of coconut fiber without causing major imbalances.

KEYWORDS: Substrate culture; coconut fiber; coffee husks; treatment; germination; plant height; number of leaves per plant.

RESUME: La Fibre de coco constitue le substrat par excellence pour la production des plants en pépinière maraîchère hors sol au Gabon. Cependant, l'approvisionnement et les couts de production de ce matériau restent encore élevés. Cette étude conduite dans le domaine expérimental de la société Horta Gabon, située dans la commune d'Akanda au nord de Libreville, au Gabon, a pour but de tester la possibilité de substituer la fibre de coco importée par la parche de café produite localement. Ainsi, à travers un suivi du comportement germinatif et végétatif des plants de Tomate (*Lycopersicon esculentum*) soumis à divers traitements de désinfection, qui ont portés sur la nature du désinfectant et les volumes appliqués, nos résultats ont montré que les plants de Tomate produits sur parche de café désinfecté à 1,5 L de Metam

Sodium (MS) et lavée présentent des meilleurs rendements en termes de germination et de développement des plants. Ces résultats indiquent que la parche de café pourrait constituer partiellement un substrat alternatif à la fibre de coco sans entraîner des déséquilibres importants.

MOTS-CLEFS: Substrat de culture ; Fibre de coco ; parche de café ; traitement ; germination ; hauteur des plants ; nombre de feuilles par plant.

1 INTRODUCTION

Le monde connaît, actuellement, une croissance impressionnante de sa population urbaine [1]. En Afrique, cette population qui était de 377 millions en 2000, s'élèvera à 1 milliard 271 millions d'habitants en l'an 2025 [2]. Ainsi, pour satisfaire les besoins alimentaires de cette population en forte croissance, la production agricole devra doubler d'ici à 2030 et quintupler à l'horizon 2050 [3], [4]. Aussi, pour relever ce défi, les gouvernants doivent faire face à l'occupation urbaine des terres arables et l'érosion des sols [4], [5], [6].

Par ailleurs, la culture hors sol représente actuellement une mutation technique importante permettant d'optimiser les facteurs de production agricole tout en améliorant les rendements [7]. Ce mode agricole est réalisé en milieu urbain sur des espaces confinés, tels que les balcons des immeubles, les toitures et les serres [6]. Dans les pays développés, elle contribue à la sécurité alimentaire [6]. Cette technique occupe plus de 772.940 ha en Asie et 201.570 ha en Europe [8], [9], [10]. Le principe cultural de cette technique est basé sur l'utilisation d'un milieu reconstitué, détaché du sol dans lequel l'alimentation racinaire des plantes se fait par le biais d'une solution nutritive et minérale [11]. Ainsi, dans le système de production hors sol, les substrats de culture jouent un rôle physique primordial. Bien qu'ils n'entrent pas dans les échanges cationiques, ils interviennent dans la modulation de l'environnement physico-chimique racinaire, en créant des conditions plus ou moins favorables au développement et à la nutrition des plants [12], [13], [14], [15].

En Afrique, la culture hors-sol est très peu développée. Elle ne représente que 30.740 ha des terres agricoles [16], [9]. L'essentiel des efforts réalisés se retrouvent en Egypte, au Maroc, en Tunisie et en Côte d'Ivoire. Cela a probablement été favorisé par la production locale de certains substrats comme la fibre de coco [17], [8]. Au Gabon, les connaissances portant sur l'agriculture en hors sol et l'utilisation des substrats de culture, en particulier, demeurent encore fragmentaires [18], [19], [20]. En effet, malgré les subventions publiques allouées, entre 1980 et 1986, pour le développement de cette technique, l'agriculture sur substrat reste quasi inexistante [19]. Par ailleurs, les coûts de production liés à l'importation de la fibre de coco comme substrat de culture semblent être l'une des contraintes majeures au développement de la culture hors sol au Gabon. De plus, compte tenu du coût élevé de la fibre de coco, les produits résultants sont chers et ne peuvent supporter la compétition [21]. Pourtant, plusieurs travaux ont montré des gains de croissance susceptibles d'être obtenus en pépinière par optimisation du substrat et de la fertilisation [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29]. Afin de réduire les coûts liés à l'achat de la fibre de coco, une étude basée sur l'utilisation de la parche de café peu onéreuse et disponible localement a été conduite en utilisant *Lycopersicon esculentum* comme espèce légumière. Dans cette perspective, nous avons envisagé d'étudier la germination, la croissance en hauteur et la production foliaire de *Lycopersicon esculentum* sur divers substrats confectionnés à base de parche de café locale.

2 MILIEU, MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRESENTATION DU MILIEU

Les essais de culture ont été entrepris dans le domaine expérimental de la société Horta Gabon située dans la commune d'Akanda (0°31'40.69"N et 9°23'39.10"E) au nord de Libreville capitale politique du Gabon.

2.2 CONDITIONS EXPERIMENTALES

Nos travaux ont été menés sous une serre expérimentale, de 7 m de long, 60 m de large et 2,80 m de haut pour une superficie total de 420 m². La serre était couverte de tôles translucides pour piéger la lumière. Tous les côtés étaient recouverts d'une toile dont les mailles étaient de 1,400 µ, étanches aux insectes, mais perméables au climat ambiant, favorable au développement végétatif. Les températures moyennes mensuelles maximales et minimales dans la serre

expérimentale variaient respectivement de 28°C (juillet-août) à 31°C (janvier- mai) ; et de 22°C (juillet-août) à 24°C (décembre-mai). L'insolation oscillait, en moyenne, entre 1500 et 1650 heures/an.

2.3 MATERIEL VEGETAL ET SUBSTRATS DE CULTURE

Les semences de *Lycopersicon esculentum* ont été utilisées pour étudier la réponse des plants à différents substrats. Cette espèce appartient à l'ordre des *Malvales* de la famille des *Malvaceae*. Ces semences de variété *Yaara* sont importées de la société Hazera Genetics située en Israël et spécialisée dans la production des semences.

Deux types de substrat ont été utilisés à savoir la fibre de coco (FC) comme témoin et la parche de café (PC) produite localement. Pour la désinfection du substrat témoin, 340 L de fibre de coco (FC) ont été homogénéisées à 5 L de formaldéhyde (4%) dilué dans 11 L d'eau pure. Le mélange fibre de coco et formol a été remué pendant 30 mn à l'aide d'une raclette en bois. L'homogénat a été recouvert d'une bâche en plastique pendant 48 heures pour permettre la fumigation du MS. Ensuite, le substrat a été lavé avec l'eau du robinet pendant 10 mn puis séché à la température ambiante pour éliminer les résidus du désinfectant. Par ailleurs, trois essais ont été retenus pour comprendre l'effet de la parche de café traitée sur la germination et la croissance des plants de tomate.

Dans le premier essai (essai 1), le but était de suivre les variables de germination et de développement (germination, allongement des tiges et nombre de feuilles par plant) des semis de tomate de variété *Yaara* pendant 23 jours de culture sur la parche de café suivant un gradient de désinfection au Metam Sodium. En pratique, la parche de café (PC) a été tamisée à 1 cm. Après humidification, le substrat recueilli a été désinfecté par homogénéisation de 75 L de PC, suivant un gradient de désinfection au Metam Sodium (MS) à 380g.L⁻¹. Le temps de fumigation était de 45 jours. Au total quatre substrats ont été utilisés, à savoir : S_{1a} = FC témoin; S_2 = PC + 0,5 L MS; S_3 = PC + 1 L MS ; S_4 = PC + 1,5 L MS.

Dans le deuxième essai (essai 2), le but était de suivre la germination et le développement (allongement des tiges et nombre de feuilles par plant) des semis de tomate de variété *Yaara* pendant 23 jours de culture sur la parche de café désinfectée à 1,5 L de MS suivant un gradient de lavage. De ce fait, comme précédemment, la PC a été désinfectée au MS. Après le temps de fumigation, le substrat a été lavé à grande eau et aéré (Lav_{aé}). Au total quatre substrats ont été utilisés, à savoir : S_{1b} = FC témoin ; S_5 = PC + 1,5 L MS + 1 Lav_{aé} ; S_6 = PC + 1,5 L MS + 2 Lav_{aé} ; S_7 = PC + 1,5 L MS + 0 Lav_{aé}.

Dans le troisième essai (essai 3), le but était de suivre la germination et le développement (allongement des tiges et nombre de feuilles par plant) des semis de tomate de variété *Yaara* pendant 23 jours de culture sur la parche de café suivant un gradient de désinfection à l'hypochlorite de sodium. En pratique, 4 L de PC ont été désinfectés à différents niveaux de dilution à l'hypochlorite de sodium (NaClO) à 12%. La dilution a été réalisée par dissolution d'une masse de NaClO dans 10 L d'eau pure. Le temps de désinfection a été de 60 mn. Au total, cinq substrats ont été utilisés, à savoir : témoin (S_{1c}) ; PC +10 g NaClO (S_8) ; PC + 20 g NaClO (S_9) ; PC + 30 g NaClO (S_{10}) ; PC + 40 g NaClO (S_{11}).

2.4 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental adopté est en blocs aléatoires complets avec trois répétitions. Pour chacun des essais 1 et 2, 12 plateaux alvéolés (contenant chacun 150 alvéoles) ont été remplis manuellement par quatre substrats. Tandis que, dans l'essai 3, 15 plateaux alvéolés ont été remplis par cinq substrats. Le semis a été réalisé manuellement, à raison d'une graine par alvéole.

2.5 TRAVAUX DE PEPINIERE

L'hydratation des semis a été effectuée tous les matins à 7h, pendant 2 semaines à l'aide d'un pulvérisateur. Les plateaux étaient aspergés d'une solution de 45g de calcium dilué dans 15 L d'eau. Ensuite, la solution de calcium a été remplacée par une solution nutritive (Soluvég 20-10-10 + 2MgO + OE) durant trois semaines.

2.6 ANALYSE DES DONNES

Le nombre de semences germées a été relevé pendant trois semaines après le semis. Le pourcentage (%) de germination de semis sur les différents substrats a été calculé selon la formule suivante:

$$\% \text{ Germination} = \frac{\text{Nombre de semis germés sur le substrat}}{\text{Nombre total de semis du substrat}}$$

Le développement végétatif a été déterminé sur 40 plantules marquées dans chaque substrat, en mesurant la hauteur des plants et le nombre des feuilles, tous les sept jours pendant trois semaines.

L'analyse de la variance (ANOVA) par comparaison multiple des moyennes, a été utilisée pour comparer les taux de germination et de développement par substrat après un test de la normalité des données, suivi du Test de Tukey, pour la séparation des différences significatives entre substrats sur les différentes variables mesurées. Le logiciel utilisé pour cette étude était XL STAT, version 2016.

3 RÉSULTATS

3.1 PARAMETRES DE GERMINATION ET DEVELOPPEMENT DES DIFFERENTS ESSAIS

Le tableau 1 présente les intervalles de variation des valeurs des paramètres de croissance et de développement des plants de tomate sur les différents substrats testés.

Tableau 1 : Intervalles de variation des paramètres de croissance et de développement de la tomate sur les différents substrats testés

Paramètres de croissance			
Substrats	Taux de germination (%)	Allongement moyen des tiges (cm)	Nombre moyen des feuilles/plant
Fibre de coco (S ₁)	[42,7 ; 95,6] ^a	[7 ; 12,3] ^a	[1,8 ; 4,4] ^a
Parche de café à 0,5L de Métam Sodium (S ₂)	[0,4 ; 90,9] ^a	[4,6 ; 7,3] ^b	[2 ; 3,9] ^b
Parche de café à 1L de Métam Sodium (S ₃)	[21,6 ; 88,2] ^a	[3,9 ; 5,1] ^c	[1,9 ; 3,1] ^c
Parche de café à 1,5L de Métam Sodium (S ₄₋₇)	[0,2 ; 39,8] ^b		
Parche de café à 1,5L de Métam Sodium lavée une fois (S ₅)	[53,6 ; 92,7] ^a	[6,1 ; 15,5] ^a	[1,3 ; 4,1] ^{ad}
Parche de café à 1,5L de Métam Sodium lavée deux fois (S ₆)	[62 ; 92,4] ^a	[5,9 ; 15,1] ^a	[1,5 ; 4,0] ^{ad}
Parche de café à 10g d'hypochlorite de Sodium (S ₈)	[28,6 ; 97,3] ^a	[4,5 ; 8,2] ^e	[2,2 ; 5,6] ^e
Parche de café à 20g d'hypochlorite de Sodium (S ₉)	[28,6 ; 95,8] ^a	[4,1 ; 7,2] ^{ef}	[1,9 ; 4,4] ^{af}
Parche de café à 30g d'hypochlorite de Sodium (S ₁₀)	[20 ; 94,4] ^a	[3,9 ; 6,2] ^{fg}	[1,4 ; 4,1] ^f
Parche de café à 40g d'hypochlorite de Sodium (S ₁₁)	[4,2 ; 92,9] ^a	[3,8 ; 6] ^{gh}	[1,7 ; 3,7] ^{af}

Les intervalles de variation suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Tukey appliqué au seuil de 0,05.

Dans l'ensemble, les paramètres de germination et de développement de la tomate présentent la même cinétique sur les différents substrats.

3.2 GERMINATION ET DEVELOPPEMENT DES PLANTS DE TOMATE SUR PARCHE DE CAFE DESINFECTEE AU METAM- SODIUM

La figure 1 montre l'évolution du taux cumulé de germination des semences de tomate installées sur : la fibre de coco (S_{1a}), la parche de café désinfectée à 0,5 L de Metam Sodium (S₂), la parche de café désinfectée à 1 L de Metam Sodium (S₃) et la parche de café désinfectée à 1,5 L de Metam Sodium (S₄). Les résultats obtenus ont montrés que la désinfection de la parche de café au seuil de 1,5 L de Metam Sodium a un effet significatif sur la germination de la tomate. Par ailleurs, en

dessous de ce niveau de désinfection, les taux cumulés de germination de la tomate ne présentent pas de différence significative par rapport aux témoins. En effet, les moyennes des taux de germination les plus élevés ont été enregistrés sur les témoins ($S_{1a}=93,3\%$). Elles ont été respectivement suivies de celles de la parche de café désinfectée à 0,5 L ($S_2=90,9\%$), et de la parche de café désinfectée à 1 L ($S_3=88,2\%$). Les substrats à base de parche de café désinfectée à 1,5 L, ont présenté les taux de germination les plus faibles ($S_4=39,5\%$).

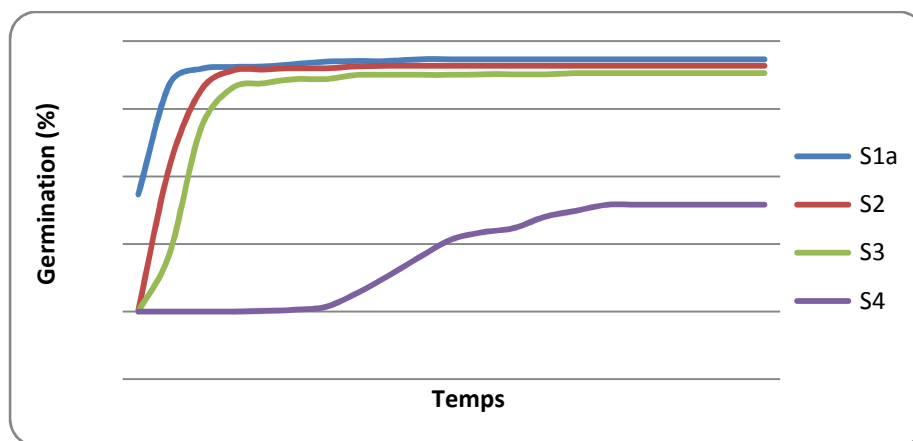


Figure 1 : Évolution du taux de germination des plants de tomate cultivés sur différents substrats.

Légende : Fibre de coco (S_{1a}) ; Parche de café désinfectée à 0,5 L de Métam Sodium (S_2) ; Parche de café désinfectée à 1 L de Métam Sodium (S_3) ; Parche de café désinfectée à 1,5 L de Metam Sodium (S_4).

La figure 2 illustre l'évolution de la hauteur moyenne des plants de tomate sur les substrats testés. Par ailleurs, les tests ANOVA sur l'allongement moyen des plants de tomate cultivés sur les différents substrats ont montré qu'il existe des différences significatives par rapport au témoin. En effet, les plants cultivés sur le témoin (S_1) ont enregistré la meilleure elongation (10,77 cm). Elles ont été suivies de ceux cultivés sur les substrats S_2 (7,29 cm). Alors que les autres substrats ont présenté des elongations très faibles par rapport aux témoins.

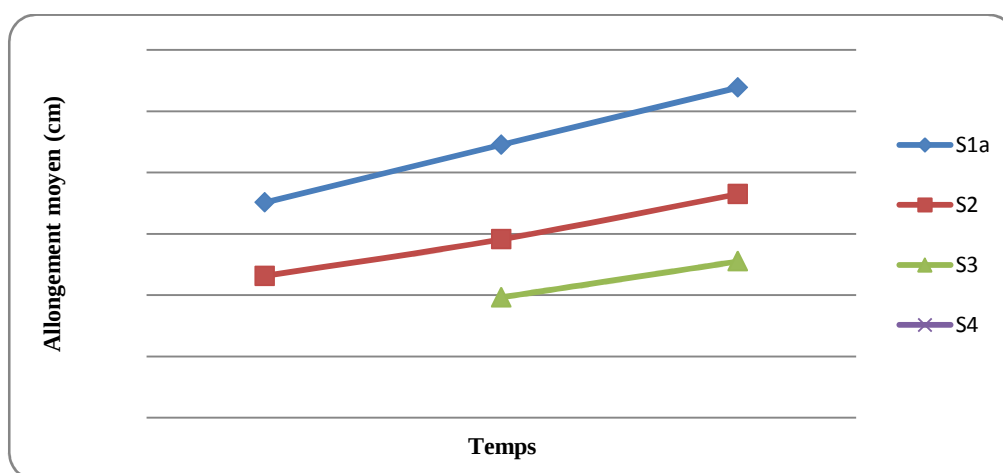


Figure 2 : Allongement hebdomadaire des plants de tomate sur parche de café désinfectée au Metam Sodium.

De même, les émissions de feuilles par plant de tomate cultivé sur ces substrats ont présenté une différence significative par rapport au témoin. En effet, durant la première semaine, les plants cultivés sur les substrats S_2 et S_3 ont émis chacun 2 feuilles. Les autres substrats ont accusé un retard. Aussi, pendant la troisième semaine, les moyennes des feuilles émises les

plus importantes ont été enregistrées sur le substrat témoin (avec 5 feuilles) suivis par les substrats S₂ (avec 4 feuilles) et S₃ (3 feuilles). Les émissions moyennes des feuilles des plants cultivés sur les substrats S₄ étaient nulles.

3.3 GERMINATION ET DEVELOPPEMENT DES PLANTS DE TOMATE SUR PARCHE DE CAFE DESINFECTEE AU METAM SODIUM ET LAVEE

La figure 3 présente l'évolution du taux cumulé de germination des semences de tomate installées sur : la fibre de coco (S_{1b}), la parche de café désinfectée à 1,5 L de Metam Sodium et lavée une fois (S₅), la parche de café désinfectée à 1,5 L de Metam Sodium et lavée deux fois (S₆) et la parche de café désinfectée à 1,5 L de Metam Sodium sans lavage (S₇). L'analyse des résultats a montré que les substrats lavés après désinfection au Métam Sodium ne présentent pas de différence significative par rapport au témoin (Tableau 1). Lorsque la tomate est cultivée sur parche de café désinfectée à 1,5 L de Métam Sodium, les taux de germination sont faibles (S₇ = 40,2%) et significativement, différent du témoin (S_{1b} = 95,6%). Toutefois, le lavage du substrat après désinfection a permis d'augmenter les taux de germination. En effet, dans les substrats lavés une fois et deux fois, les pourcentages de germination atteignent respectivement 92,7% (S₅) et 92,4% (S₆). Ces valeurs sont significativement proches de celles obtenues sur le substrat témoin.

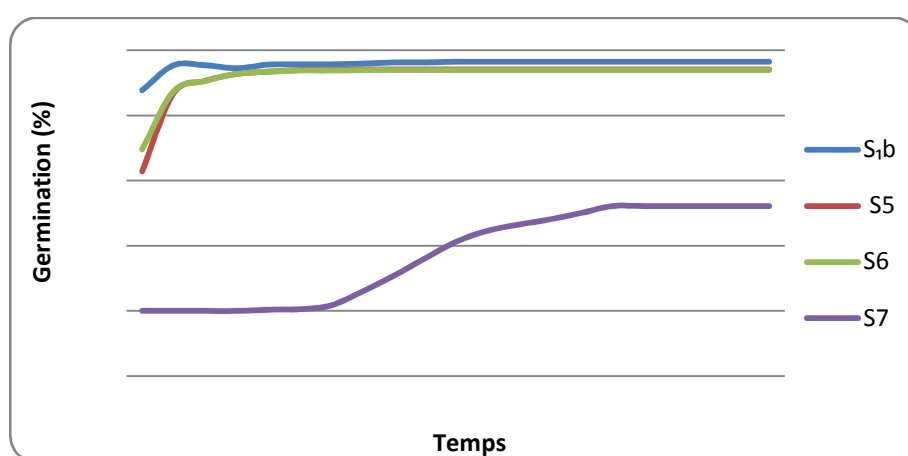


Figure 3: Évolution du taux de germination des graines de tomate cultivée sur parche de café désinfectée à 1,5 L de Metam Sodium et lavée.

Légende : Fibre de coco (S_{1b}); Parche de café désinfectée à 1,5L de Metam Sodium lavée une fois (S₅); Parche de café désinfectée à 1,5L de Métam Sodium lavée deux fois(S₆); Parche de café désinfectée à 1,5L de Métam Sodium sans (S₇).

La figure 4 présente l'évolution de la hauteur moyenne des plants de tomate sur les substrats testés. Ces résultats ont montré que les allongements moyens des plants ne présentent pas de différences significatives entre les substrats lavés après désinfection et le témoin. Néanmoins ces substrats ont enregistré des allongements moyens légèrement plus importants (S₅ = 15,50 cm ; S₆ = 15,13 cm) que celui du témoin (13,81 cm). Cependant, l'allongement moyen des plants du substrat S₇ non lavé est nul.

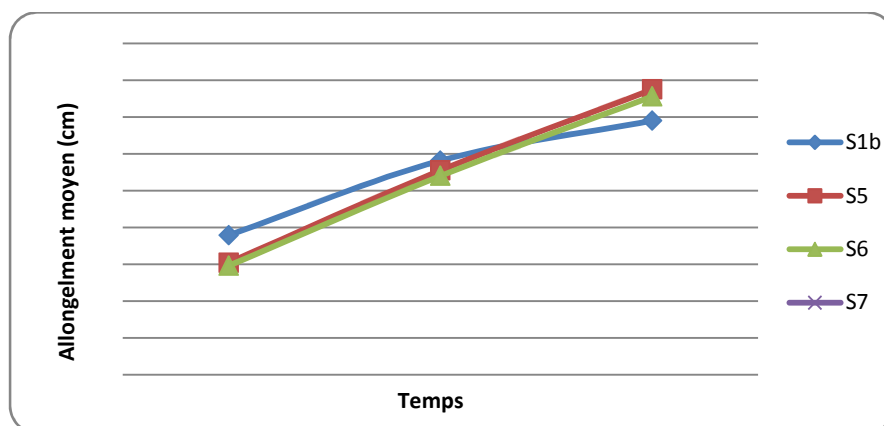


Figure 4 : Allongement hebdomadaire des plants de tomate sur parche de café désinfectée au Metam Sodium et lavée.

De même, sur les substrats lavés après désinfection, les émissions de feuilles par plant de tomate ont présenté des différences non significatives par rapport au témoin. De plus, les substrats non lavés n'ont pas émis de feuilles.

3.4 GERMINATION ET DEVELOPPEMENT DES PLANTS DE TOMATE SUR PARCHE DE CAFE DESINFECTEE AU METAM SODIUM ET LAVEE

La figure 5 montre l'évolution du taux cumulé de germination des semences de tomate installées sur Fibre de coco (S_{1c}), la parche de café désinfectée à 10 g d'hypochlorite de sodium (S_8), la parche de café désinfectée à 20 g d'hypochlorite de sodium (S_9), la parche de café désinfectée à 30 g d'hypochlorite de sodium (S_{10}) et la parche de café désinfectée à 40 g d'hypochlorite de sodium (S_{11}). Ces résultats ont montré que les taux de germination des plants cultivés sur parche de café désinfectée à l'hypochlorite de sodium n'ont pas de différences significatives par rapport au témoin. Par ailleurs, l'utilisation de l'hypochlorite de sodium pour la désinfection de la parche de café a donné des résultats très proches des valeurs témoins ($S_{1c} = 93,3\%$). De même, les taux cumulés de germination les plus élevés ont été enregistrés sur le substrat parche de café désinfecté à 10 g de NaClO ($S_8 = 97,3\%$). Ils ont été suivis des résultats obtenus sur parche de café désinfectée à 20 g de NaClO ($S_9 = 95,8\%$). Les plants cultivés sur les deux autres substrats (S_{10} et S_{11}) ont enregistré respectivement 94,4% et 92,9 % de germination.

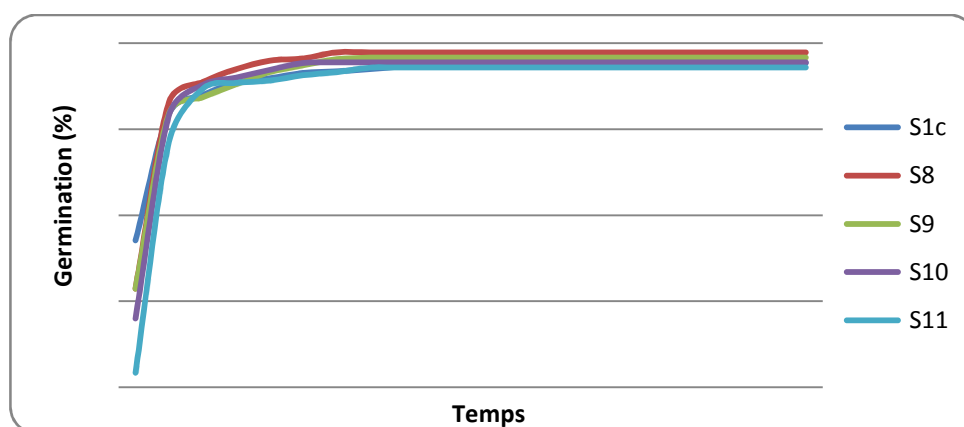


Figure 5: Évolution du taux de germination des graines de tomate cultivée sur parche de café désinfectée à l'hypochlorite de sodium.

Légende : Fibre de coco (S_{1c}); Parche de café désinfectée à 10g d'hypochlorite de sodium (S_8); Parche de café désinfectée à 20g d'hypochlorite de sodium(S_9); Parche de café désinfectée à 30g d'hypochlorite de sodium(S_{10}); Parche de café désinfectée à 40 g d'hypochlorite de sodium(S_{11}).

La figure 6 présente l'évolution de la hauteur moyenne des plants de tomate sur les substrats testés. Les tests ANOVA sur l'allongement moyen des plants de tomate, cultivés sur les différents substrats ont présenté des différences significatives par rapport au témoin. En effet, les plants cultivés sur les témoins (S1c) ont enregistré la meilleure elongation (12,29 cm). Les autres substrats ont présenté des elongations plus faibles que celles des témoins.

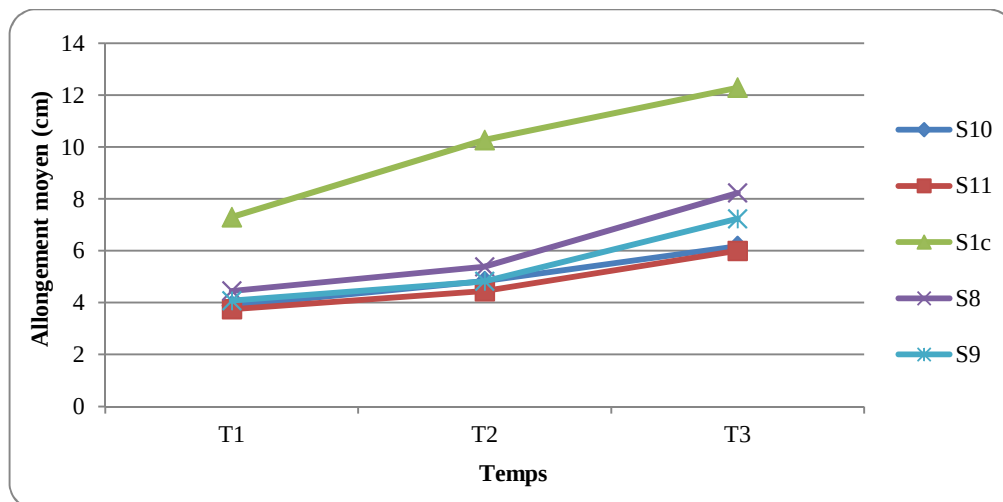


Figure 6 : Allongement hebdomadaire des plants de tomate sur parche de café désinfectée à l'hypochlorite de sodium.

Par ailleurs, sur les différents substrats, les émissions de feuilles par plant ont présenté une différence significative par rapport au témoin (5 feuilles/plant). Les plants cultivés sur les substrats désinfectés à 10 g d'hypochlorite de sodium (S₈) ont enregistré les émissions de feuilles les plus élevées, soit 6 feuilles/plant. Les plants produits sur les autres substrats ont émis en moyenne 4 feuilles/plant.

4 DISCUSSION

Les résultats obtenus dans cette étude constituent des données préliminaires sur l'utilisation de la parche de café en culture hors sol au Gabon. Aussi, la méthodologie utilisée pour la caractérisation morphologique des plants a touché la hauteur et le nombre de feuilles, considérés parmi les variables de prédiction de la performance des semis en pépinière [30]. La hauteur constitue un bon indicateur de la capacité photosynthétique et de la surface de transpiration qui sont étroitement corrélées avec la surface foliaire. Cependant, la hauteur ne révèle pas une corrélation systématique avec la survie, mais plutôt une bonne relation avec la croissance en hauteur [31]. De plus, le nombre de feuilles constitue un bon indicateur du développement des jeunes plants pendant la phase d'implantation de la culture [32], [33], [34]. Par exemple, chez les plantes adultes, ce paramètre doit être corrélé à la surface foliaire pour permettre la détermination de l'indice foliaire et l'appréciation de la capacité photosynthétique [25]. Toutefois, chez les plantes juvéniles, la fragilité des organes végétatifs et la taille de la surface foliaire rendent caduque la surface foliaire au profit du nombre de feuilles émises en pépinière. De ce fait, cette étude pourrait servir de base pour des études complémentaires sur l'utilisation des substrats locaux dans la production d'autres cultures maraîchères en pépinière hors sol au Gabon.

Les résultats obtenus lors de l'essai 1 sur les taux de germination cumulés ont présenté une différence non significative par rapport au témoin, à l'exception de la parche de café désinfectée à 1,5 L de Metam Sodium. Par ailleurs, bien que cette différence soit non significative, l'utilisation d'un gradient de désinfection au Metam Sodium semble réduire les rendements cumulés des taux de germination de la tomate cultivée sur la parche de café. Au seuil de désinfection de 1,5 L de Metam Sodium, les taux cumulés de germination de la tomate (39,5%) atteignent des valeurs significativement inférieures au témoin (93,3%). De même, du point de vue des allongements moyens des plants de tomate et du nombre moyen des feuilles par plant, les valeurs enregistrées sont significativement inférieures au témoin. En effet, selon le [36], ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que le Metam Sodium se dégrade dans le sol pour produire des gaz désinfectants du sol à large spectre d'action. De plus, ces gaz entraîneraient l'élimination de tous les agents responsables de la fonte de semis et d'autres maladies des plantes. Leur action non ciblée peut également avoir un effet néfaste sur les graines présentes dans le sol au moment de leur diffusion. De ce fait, la fumigation du désinfectant doit être faite avant le semis des graines avec un temps

approprié pour permettre son élimination totale. Le dosage et les paramètres d'application doivent être strictement respectés [37]. Lorsque ces conditions ne sont pas respectées, le principe actif peut persister au niveau du sol et avoir un effet résiduel sur les semis [37], [38], [36]. En ce sens, les travaux, de [39], [40] et de [41] ont montré que la fumigation au Metam Sodium a un effet phytotoxique et de diminution du rendement en fruits chez le fraisier. Ces effets sont survenus lorsque les conditions, le dosage et le délai de bio-désactivation du principe actif du fumigène n'ont pas été respectés au cours des expériences. Dans le cadre de notre travail, l'effet phytotoxique pourrait expliquer, d'une part, la diminution non significative des taux de germination des semis de tomate cultivés sur parche de café, et, d'autre part, la diminution significative de l'allongement des tiges et du nombre de feuilles émis par chaque plant cultivé sur les substrats S_2 et S_3 . Par ailleurs, au seuil de la désinfection de la parche de café à 1,5 L de Metam Sodium, cette phytotoxicité résiduelle a entraîné la mort de plus de 50% des plants de tomate et a inhibé l'allongement et l'émission des feuilles.

Par ailleurs, lors de l'essai 2, lorsque la parche de café désinfectée à 1,5 L de Metam Sodium est graduellement lavée, les taux cumulés de germination ont augmenté pour atteindre des valeurs importantes ($S_5 = 92,7\%$; $S_6 = 92,4\%$) dont les différences sont non significatives par rapport au témoin. Ces résultats ont été confirmés par ceux obtenus sur les paramètres de développement des plants de tomate ($S_5 = 15,50$ cm et 4,1 feuilles ; $S_6 = 15,13$ cm et 4 feuilles) dont les valeurs ont été semblables à celles du témoin. Les valeurs obtenues sur ces substrats pourraient s'expliquer par l'élimination de l'effet phytotoxique du fait du lavage de la parche de café. Selon [42] et [43], après application dans le sol, le Metam Sodium réagit avec l'humidité du sol pour se dissocier en isothiocyanate de méthyle gazeux, puis en soufre et en azote. En effet, ces substances ont deux propriétés importantes à savoir : une faible pression de vapeur et une forte affinité pour l'eau. La diffusion de ces gaz, actifs sur les parasites du sol, se fait verticalement à partir de l'endroit où ils ont été produits. Après cette réaction, l'hydratation permet le lavage et/ou une décomposition rapide des résidus de Metam Sodium dans le sol [44]. Ainsi, dans le cadre de cet essai, le lavage de la parche de café aurait permis une réaction et une diffusion des substances chimiques résiduelles et leur élimination. Par ailleurs, le Metam Sodium est un biocide fumigène à large spectre d'action. Son action sur les substrats en plein champ ou en hors sol, lui confère des propriétés phytosanitaires herbicides, et fongicides [38]. Son application sur les substrats de culture, à base de parche de café permet de lutter contre les pathogènes responsables des fontes de semis ou des nécroses racinaires [45]. En outre, elle occasionne chez les jeunes plants un gain de croissance en hauteur, du fait de l'absence des agents pathogènes qui pourraient ralentir la germination des semis [46]. Ainsi, dans le cadre de notre étude, ces propriétés semblent justifier la qualité des taux de germinations obtenus avec les substrats S_5 et S_6 , dont les rendements sont approximativement équivalents à ceux obtenus avec la fibre de coco.

Lors de l'essai 3, la culture de la tomate sur parche de café suivant un gradient de désinfection à l'hypochlorite de sodium a présenté des taux de germination significativement non différents du témoin. Les taux relevés semblent présenter des valeurs très similaires et parfois meilleures que le témoin. Néanmoins, l'allongement moyen des plants sur les substrats testés sont significativement inférieurs aux valeurs témoins. Du point de vue du nombre de feuilles par plant, seul les substrats S_9 et S_{11} ont enregistré des valeurs dont la différence est non significative par rapport au témoin. Selon le [47], l'hypochlorite de sodium est bactéricide et fongicide très volatil et pas toxique. Son principe actif s'élimine facilement au bout de 2 heures. En outre, les valeurs des taux de germination obtenus sur les substrats désinfectés à ce produit pourraient s'expliquer par son spectre d'action (bactéricide et fongicide). Toutefois, sur le plan de l'allongement moyen des plants et du nombre moyen de feuilles par plant, la désinfection est inefficace. Le spectre d'action de ce désinfectant semble ne pas agir sur les agents pathogènes qui ralentissent le développement des plants de tomate.

De manière générale, les résultats des essais de germination sur les différents substrats de culture hors sol ont montré que les pourcentages et les cinétiques de germination de la tomate ont la même allure sur tous les essais. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [30] qui ont montré l'importance de la production et de la croissance des plants d'Acacia sur des substrats à base de tamisât de compost dans une pépinière hors sol (Tunisie). Par ailleurs, par rapport au témoin, les taux cumulés de germination ont révélé une différence significative dans certains cas et non significative dans d'autres cas, suivant les traitements utilisés sur la parche de café. En effet, lorsque l'on compare les taux de germination cumulés obtenus sur la fibre de coco à ceux obtenus sur les substrats $S_{2-3-6-8-9-10}$ et S_{11} , les différences sont non significatives. Les taux cumulés de ces substrats ont atteint des valeurs maximales très proches des valeurs témoins ; comprises dans l'intervalle [92,4% - 97,3%]. Ainsi, cette étude, bien que ponctuelle, permet d'envisager la possibilité d'une substitution du témoin par des substrats dont l'effet sur la germination est approximativement équivalent à celui de la fibre de coco. Cependant, ces résultats ne sont valables que pour la culture de la tomate sur parche de café en pépinière. Des études supplémentaires doivent être menées pour déterminer l'effet de la parche de café sur la croissance, le développement et la fructification de la tomate et des autres cultures.

5 CONCLUSION

La présente étude a été consacrée à une comparaison indirecte des substrats de culture hors sol à travers le suivi des paramètres de germination et de croissance des plants de tomate cultivés sur divers substrats à base de fibre de coco et de parche de café.

Cette étude a permis de montrer que le substrat de référence, à savoir : la fibre de coco importée, présente des résultats très satisfaisants sur le plan de la germination et du développement des plants de tomate. En ce qui concerne les autres substrats à base de parche de café ; les résultats obtenus sont sensiblement similaires à ceux obtenus avec la fibre de coco. Aussi, en tenant compte de l'ensemble des résultats obtenus et des moyens financiers liés à l'importation de certains substrats de culture, la parche de café pourrait constituer partiellement un substrat alternatif à la fibre de coco sans entraîner des déséquilibres importants. Cependant, des précautions doivent être prises pour utiliser le désinfectant le mieux approprié pour améliorer la qualité des plants de tomate sur parche de café.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB), à travers son appel à projet sur les "*Scénarios de la biodiversité en Afrique subsaharienne*", qui a permis de financer le projet Coforset. Nos remerciements vont également à l'endroit de l'Institut de Recherche en Écologie Tropicale (IRET), via le projet EU-ACP « Establishment of a Forestry Research network for ACP countries » projet (9 ACP RPR 91 # 1- FORENET). Le Laboratoire d'Écologie Vectorielle (LEV-IRET) et l'Institut National Supérieur d'Agronomie et de Biotechnologies (INSAB) de l'Université des Sciences et Technique de Masuku (USTM) sont remerciés pour leur appui technique.

REFERENCES

- [1] Ondo J. A., Vulnérabilité des sols maraîchers du Gabon (région de Libreville) : acidification et mobilité des éléments métalliques. Thèse de Doctorat, Université de Provence, France, 324p, 2011.
- [2] Organisation de l'Unité Africaine (OUA, Commission Économique pour l'Afrique (CEA), Population et Développement en Afrique, Population Information Network (POPIN) of the United Nations (UN) Population Division, 2010. <http://www.un.org/popin/icpd/conference/bkg/afrique.html>.
- [3] Griffon M. Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ? Versailles : Éditions Quae, 224 p, 2013.
- [4] Mougeot J.A.L., Moustier P., Introduction, Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone. Enjeux, concepts et méthodes. Ed. Olanrewaju B S., Moustier P., Mougeot A.J.L., Fall A., CIRAD/CRDI, 173 p, 2004.
- [5] Kouadio Oura R., Extension urbaine et protection naturelle : La difficile expérience d'Abidjan, Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 12 Numéro 2 septembre 2012, mis en ligne le 31 octobre 2012, consulté le 03 mai 2016. URL : <http://vertigo.revues.org/12966> ; DOI : 10.4000/vertigo.12966, 2012.
- [6] Aubry C. et Pourias J., L'agriculture urbaine fait déjà partie du « métabolisme urbain ». Le Démeter, Économie et Stratégies agricoles, Éditeur Club Demeter, p. 135 -155, 2013.
- [7] Bernier P., Vers la construction d'un discours critique de l'agriculture urbaine commerciale en serres sur les toits. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sociologie. Université du Québec à Montréal, 183 p, 2015.
- [8] Padilla M., Hamimaz R., El Dahr H., Zurayk R., Moubarak F., Le développement des produits protégeant la santé et l'environnement en Méditerranée. Les notes d'analyse du Centre International des Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes, N° 5, 22 p, 2006.
- [9] Boulard T., Peut-on concilier production sous serre et développement durable ? Serres horticoles et énergie. Acte de colloque, Brest-France, 37 p, 2008.
- [10] Urban L. et Urban I, La production sous serre, tome 1 : la gestion du climat (2ième édition). Édition Tec et Doc, Paris, 356 p, 2010.
- [11] M'Sadak Y. et Ben M'Barek A., Évaluation de la maturité et de la qualité chimique des substrats de croissance à base de méthacompost avicole pour une meilleure exploitation. Larhyss Journal, N° 23, p. 117-138, 2015a.
- [12] André J.P., Propriétés chimiques des substrats. In les cultures hors sol. Ed. D. Blanc. 2eme édition Lavoisier. INRA Paris, p. 127-147, 1987.
- [13] Gras R., Propriétés physiques des substrats. Ln : Cultures Hors Sol. D. Blanc, Edition INRA-Paris, p. 79-126, 1987.

- [14] M'Sadak Y., Elouaer M.A., El Kamel R., Comportement physique des composts, des tamisats et des mélanges pour une meilleure exploitation en pépinière. Caractérisation physique des composts bruts, criblés et en mélange. E-Revue de Génie Industriel, N° 8, p. 44-54, 2012.
- [15] M'Sadak Y., Elouaer M.A., Dhahri M., Caractérisation physique des substrats de croissance pour une meilleure adaptation à la filière horticole en Tunisie, Revue Nature & Technologie, N° 9 (B), p. 27-34, 2013a.
- [16] Moustier P. et Pagès J., Le péri-urbain en Afrique : une agriculture en marge ? Économie rurale. Courrier de l'Environnement de l'INRA N° 32, p. 48-45, 1997.
- [17] Lassina F., Djidji A. H., N'gbesso Mako F., Tahouo O., L'agriculture hors-sol pour produire des légumes de qualité en zone urbaine de Côte d'Ivoire. Edition du Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire, p. 8-9, 2012.
- [18] Pourtier R., Agro-industrie et développement rural au Gabon : une contradiction ?, in " Le développement rural en questions " Collection Mémoires N° 9, 106, ORSTOM-Paris, p.447-460, 1984.
- [19] Magnagna N. V., L'agriculture du Gabon : Entre décolonisation et ajustements structurels (1960-2000). Édition Karthala, Paris, 304 p, 2006.
- [20] Nguema Ndoutoumou P., Ondo-Azi A. S., Mbeang Beyeme A. M., Ondo Ovono P., Ignanga Ignanga A. W., Campa C., Essais de propagation de *Pseudospondias microcarpa* A. Rich. dans les conditions climatiques de Franceville (Sud-Est du Gabon). Biosciences Proceedings, 2013, Vol. 19. ISSN 1019-7702, 131, p. 131-137, 2013.
- [21] Makita-Ngadi J., M'Batchi B., Kilbertus G., Étude sur les possibilités de valorisation agricole des écumes de canne à sucre et de la bagasse de SOSUHO (Gabon), Vol. 11 n° 1, p. 20-24, 1993.
- [22] Garbaye J. et Le Tacon F., Production de plants de chêne et de hêtre sur tourbe fertilisée. Revue Forestière Française 30 (6), p. 445-452, 1978.
- [23] Riedacker A., Premiers essais d'élevage de plants de chêne et de hêtre sur tourbe et sous tunnel plastique. Rev. For. Fr. 30 (6): p. 453- 458, 1978.
- [24] Lemaire F., Dartigues A., Riviere L.M., Properties of substrates with ground pine bark. Acta Hort. 99, p. 67-80, 1980.
- [25] Garbaye J., La production rapide de plants feuillus sur tourbe fertilisée. Les bases de la technique. Revue forestière française 38 (3), p. 213-219, 1986.
- [26] M'Sadak Y., Elouaer M.A., Dhahri M., Production et croissance des plants de Gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) sur substrats de culture issus d'un mélange de Tourbe et de Compost dans une pépinière maraîchère hors sol en Tunisie. Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. (2) 5, p. 5-11, 2013b.
- [27] M'Sadak Y. et Ben M'Barek A., Valorisation agricole d'un digestat avicole solide issu de la Biométhanisation industrielle en Tunisie. J. Fundam. Appl. Sci., 7 (3), p. 298-321, 2015b. <http://www.jfas.info/index.php/jfas>.
- [28] M'Sadak Y., Bouallegue A., Study of opportunities of use of composts cunicoles for the aboveground production of tomato plants in Tunisia. J. Fundam. Appl. Sci., 7 (2), p. 244-259, 2015. <http://www.jfas.info/index.php/jfas>.
- [29] M'Sadak Y., Fhima F., Potentialités de substitution de la tourbe importée par un substrat à base de compost ou Co-compost en pépinière maraîchère hors sol (Tunisie). Revue Agriculture. 10, p. 31-37, 2015.
- [30] M'Sadak Y., Hamdi W., Zaalani Ch., Production et croissance des plants d'Acacia sur des substrats à base de tamisat de compost dans une pépinière hors sol (Tunisie). Revue Agriculture. n°06, p. 29-34, 2013c.
- [31] Lamhamedi M. S., Fecteau B., Godin L., Gingras CH., El Aini R., Gader G.H. et Zarrouk M.A., Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Projet : ACDI E4936-K061229. Direction Générale des Forêts, Tunisie et Pampev Internationale Ltée, Canada, 114 p, 2006. mrn.gouv.qc.ca/./forets/./Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf.
- [32] Simon J.C., Gastal F., Lemaire G., Compétition pour la lumière et morphologie du trèfle blanc (*Trifolium repens* L.) : émission des feuilles et des ramifications. Agronomie, EDP Sciences, p. 383-389, 1989. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885208>.
- [33] Tuo S., Amari L. D. G. E., Camara B., Kassi F. M., Ouédraogo S. L., Traoré S., Lorn J-P., Kouakou A. E., Koné D., Effet de l'association de différents cultivars de bananiers (*Musa spp.*) Tolérants sur l'incidence de la cercosporiose noire chez le cultivar sensible "orishele" en Côte d'Ivoire. European Scientific Journal. Edition volume 11, Numéro 24. ISSN: 1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431, 2015.
- [34] Mpika J., Attibayeba, Makoundou A., Minani D., Influence d'un apport fractionné en potassium et en azote sur la croissance et le rendement de trois variétés de tomate de la zone périurbaine de Brazzaville en République du Congo. Journal of Applied Biosciences. ISSN 1997-5902, Vol. 94 : p. 8789-8800, 2015.
- [35] Selmi W., Évaluation des services écosystémiques rendus par les arbres urbains. Document réalisé dans le cadre l'Etude de l'effet des arbres sur l'environnement urbain, résultats de l'application du modèle i-Tree Eco à la ville de Strasbourg, 24 p., 2016.
- [36] MAAARO, Guide de la Floriculture en Serre. Publication 370F. Document réalisé par le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales (MAARO). Ontario (Toronto-Canada), 188 p., 2014.

- [37] El hadiri N., Ammati M., Chgoura M., Alternatives au bromure de méthyle : amélioration des conditions d'application du Metam Sodium au Maroc. Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc) 2002, Vol. 22 (1), p 39-46, 2002.
- [38] Cox C., Metam Sodium. Journal of pesticide reform/Spring. Volume 26, Numéro 1, 5 p., 2006.
- [39] Baujard P., Larry W., Duncan, Parisell A. et Sarr E., Étude des effets de quatre nématocides fumigants sur les nématodes et l'arachide au Sénégal. Laboratoire de Nématologie, ORSTOM, Dakar-Sénégal. Revue Nématol volume 10 numéro 3, p. 355-360, 1987.
- [40] PNUE, Floriculture et environnement : Culture des fleurs sans bromure de méthyle. Publication réalisée par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Division Technologie, Industrie et Economie (PNUE DTIE) dans le cadre du Programme Action Ozone sous l'égide du Fonds Multilatéral, 126 p., 2001.
- [41] Desaegeer, J.A., Seebold, K.W. et Csinos A.S., Effet de calendrier d'application et la méthode sur l'efficacité et la phytotoxicité de 1,3D, chloropicrine et Métam Sodium combinaisons squash plasticulture. Pest. Manag. Sci, 64: doi: 10.1002/ps.1503, p. 230-238., 2008.
- [42] Izard D., Fraise. Désinfection du sol par micro irrigation. Mode opératoire. Traitam Sol, 4 p., 2006.
- [43] Trueman C., Le Boeuf J., Conn K., Verhallen A., Les fumigants de sol et la production de tomates, partie I : Que sont-ils, quel est leur mode d'action et que nous disent les recherches récentes effectuées en Ontario à leur sujet? Article publié par le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales (MAARO). Ontario (Toronto-Canada), 3 p., 2013.
- [44] Laineco, Raisan 51, Désinfectant de sols, Informations techniques. Barcelona-Espagne. 13 p., 2015.
<http://www.lainco.es>.
- [45] Poncet M., Matwyschuk J., Colmar I., Fraisier, Les alternatives à la désinfection chimique des sols. Publié par la Chambre d'Agriculture de l'Isère, Grenoble-France. 4 p., 2005.
- [46] Le Tacon F. et Garbaye J., La maîtrise des associations mycorhiziennes en pépinière forestière. Station de Recherches sur le sol, la microbiologie et la nutrition des arbres forestiers Centre de Recherches Forestières de l'INRA, 9 p., 1978.
- [47] RAP, Le nettoyage et la désinfection des serres en fin de saison. Bulletin d'information du Réseau d'Avertissements Phytosanitaires du Québec 14, 7 p., 2012.

Fractures chez les enfants âgés de 0 à 5 ans au CHU Aristide Le Dantec de Dakar: étude épidémiologique

[Fractures of Children aged 0 to 5 years at the University Hospital Aristide Le Dantec in Dakar: Epidemiological study]

Azhar Salim MOHAMED¹, Gabriel NGOM¹, Oumar NDOUR¹, Noukpo A. Amundsen Erlich GANDAHO¹, Papa Alassane MBAYE¹, Fahad ATTOUMANE², and Aimé Laye FAYE¹

¹Service de Chirurgie Pédiatrique,
Université Cheikh Anta Diop, Centre Hospitalier Universitaire Aristide Le Dantec,
Dakar, Senegal

²Service de Neurochirurgie,
Université Cheikh Anta Diop, Centre Hospitalier National Universitaire de Fann,
Dakar, Senegal

Copyright © 2016 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: Main of our study was to describe the epidemiology of fractures in children aged 0 to 5 years, regardless of the cause.

Materials and Methods: We conducted a retrospective descriptive study over a period of 5 years at the Pediatric Surgery Department of the University Hospital Aristide Le Dantec in Dakar, Senegal. Various parameters were studied: frequency of these fractures compared to all consultations, sex, age, circumstances of occurrence of the injury, the period of consultation and the concept of hospitalization.

Results: Four hundred cases have been collected during the period of our study. The mean age was 38 months. The age group 49 to 60 months was the most represented with 28.5% of cases. The boys were the most affected with a sex ratio of 1.4. The majority of our patients consulted in the first 48 hours after the trauma (61% of cases). Fractures occur at home with 53.5% of cases and accidents of public roads (9.5%). Fall was the main mechanism with 63.5% of cases.

Conclusion: Fractures of children 0 to 5 years are uncommon. Fall at home is the main mechanism of these fractures.

KEYWORDS: Fractures, Child, Fall, Accidents of public roads, Intentional trauma, Dakar.

RÉSUMÉ: Le but de notre travail était de décrire les aspects épidémiologiques des fractures chez les enfants âgés de 0 à 5 ans, quelle que soit la cause.

Matériel et méthode : Il s'agissait d'une étude rétrospective et descriptive sur une période de 5 ans au service de Chirurgie pédiatrique du CHU Aristide le Dantec de Dakar. Divers paramètres ont été étudiés : la fréquence de ces fractures par rapport à l'ensemble des consultations, le sexe, l'âge, les circonstances de survenue du traumatisme, le délai de consultation et la notion d'hospitalisation.

Résultats : Quatre cent cas ont été colligés durant la période de notre étude. La moyenne d'âge était de 38 mois. La tranche d'âge de 49 à 60 mois était la plus représentée avec 28,5 % des cas. Les garçons étaient les plus touchés avec un sexe ratio de 1,4. La majorité de nos patients ont consulté dans les premières 48 heures suivant le traumatisme soit dans 61 % des cas. La majorité de ces fractures survenait à domicile avec 53,5 % des cas suivis des accidents ludiques (20,3 %) et des accidents de la voie publique (9,5 %). La chute était le principal mécanisme avec 63,5 % des cas.

Conclusion : Les fractures des enfants de 0 à 5 ans sont rares. La chute dans le domicile familial est le principal mécanisme de ces fractures qui surviennent essentiellement chez l'enfant de 49 à 60 mois.

MOTS-CLEFS: Fractures, Enfants, Accidents domestiques, Accidents de la voie publique, Chute, Traumatismes intentionnels, Dakar.

1 INTRODUCTION

L'étude épidémiologique des fractures chez l'enfant est d'un grand intérêt dans plusieurs aspects, y compris la prévention et la prise en charge de ces fractures. Il a été démontré que les fractures représentent 10 à 25 % des traumatismes chez l'enfant et que les effets de ces fractures chez l'enfant sont considérables avec une restriction importante de l'activité [1], [2]. Rares chez les enfants âgés de moins de 5 ans [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], ces fractures peuvent être dues à un traumatisme non intentionnel (accident domestique, accident ludique et accident de la voie publique) [5], [6], [7], [8], [10], [11], [12] ou un traumatisme intentionnel (violence et abus) [13]. Notre étude avait pour but de décrire les aspects épidémiologiques des fractures chez les enfants âgés de 0 à 5 ans, quel que soit le type de traumatisme.

2 PATIENTS ET MÉTHODE

Il s'agissait d'une étude rétrospective de type descriptif allant du 1er janvier 2009 au 31 décembre 2013, soit une période de 5 ans, incluant tous les enfants de 0 à 5 ans admis pour une ou plusieurs fractures dans le service de Chirurgie Pédiatrique du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) Aristide Le Dantec de Dakar. Les enfants ayant présenté une fracture pathologique ont été exclus de l'étude. Nous avons étudié des aspects épidémiologiques tels que la fréquence de ces fractures par rapport à l'ensemble des consultations à l'unité des urgences dudit service, le sexe, l'âge réparti en 5 groupes (0 à 12 mois, 13 à 24 mois, 25 à 36 mois, 37 à 48 mois et 49 à 60 mois), les circonstances de survenue du traumatisme à l'origine de la fracture (accidents domestiques, ludiques, obstétricaux, accidents de la voie publique et violences physiques), le délai de consultation et la notion d'hospitalisation. La saisie et l'analyse des données ont été effectuées avec le logiciel Microsoft Office Excel 2010.

3 RÉSULTATS

Durant notre période d'étude, 400 enfants âgés de 0 à 5 ans victimes d'une ou de plusieurs fractures ont été admis, soit une fréquence de 6 % de l'ensemble des consultations, toutes pathologies confondues. Notre série était composée de 235 garçons et de 165 filles soit un sexe ratio de 1,4. L'âge moyen des patients était de 38 mois avec un écart-type de 1,6. La tranche d'âge la plus touchée était celle comprise entre 49 et 60 mois (Figure 1).

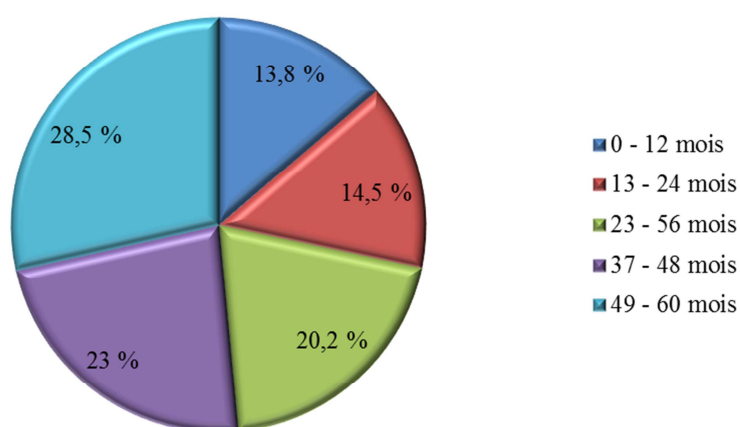


Fig. 1. Répartition des enfants selon la tranche d'âge

Soixante et un pourcent des enfants ont été reçus en consultation dans les 48 heures suivant le traumatisme (Tableau 1).

Tableau 1. Délai de consultation

Délai (heure)	Effectif	Pourcentage (%)
≤ 48	244	61
>48	108	27
Non précisé	48	12
Total	400	100

Les circonstances de survenue de la fracture étaient essentiellement représentées par les accidents domestiques et les accidents ludiques (Figure 2).

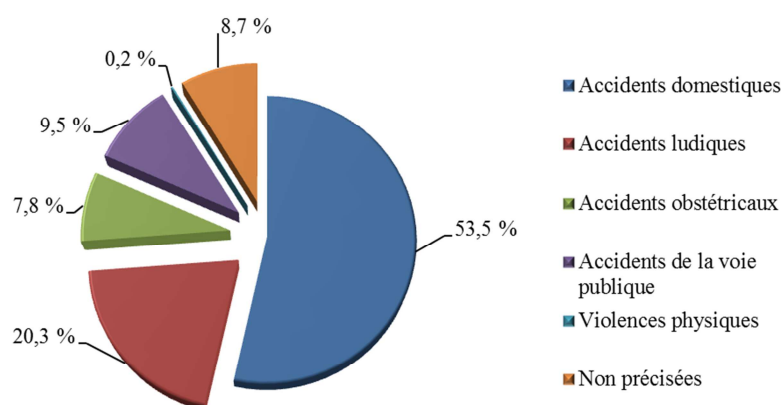


Fig. 2. Répartition des cas de fractures selon les circonstances de survenue

La chute était le principal mécanisme de survenue des fractures (Tableau 2). Quatre-vingt-seize patients (24 %) ont bénéficié d'une hospitalisation.

Tableau 2. Mécanismes des fractures

Mécanismes	Effectifs	Pourcentages (%)
Chute	254	63,5
Réception d'une charge	33	8,3
Manœuvre obstétricale	31	7,7
Choc avec un engin	36	9
Violence physique	3	0,8
Non précisé	43	10,7
Total	400	100

4 DISCUSSION

Les enfants âgés de 0 à 5 ans font rarement de fractures [4], [6], [14], [15], ce que notre étude confirme. Notre étude retrouve une prédominance masculine, en conformité avec d'autres séries [4], [6], [14], [15]. Cette prédominance serait liée aux différences physiques et de tempérament, prédisposant les garçons à être plus souvent victimes d'accidents, donc de fractures [16]. Les garçons se livrent très tôt à des activités de jeux (football, lutte, courses, sauts, ...). La prédominance masculine peut être liée aussi, au fait que, dans notre contexte, les filles sont souvent confinées à la maison et se livrent à des jeux moins dangereux (jeu de poupées, simulation de cuisine, ...). La tranche d'âge de 49 à 60 mois est la plus représentée dans notre série. C'est à cet âge que l'enfant est le plus mobile. Il monte et descend les escaliers, monte et descend tout seul du véhicule, ce qui l'expose à divers facteurs de risque de fractures mais que l'enfant perçoit comme un jeu. Les nourrissons

âgés de 0 à 12 mois sont les moins touchés avec 13,8 %. A cet âge, l'enfant est dans la majorité du temps couché ou sous la surveillance d'un tiers.

La majorité de nos patients sont reçus dans les 48 heures suivant le traumatisme, donc assez tôt. Plusieurs facteurs peuvent expliquer le fait que certains parents (7 %) ont tardé à consulter : l'ignorance, la négligence, les raisons socio-économiques et culturelles qui expliquent que ces parents font d'abord recours aux guérisseurs traditionnels qui traitent les fractures par des massages ou autres méthodes.

Dans notre série, la majorité des fractures survient au décours d'un accident domestique. Nos résultats sont superposables aux données de la littérature [4], [5], [6], [7], [17], [18]. Les enfants de moins de 5 ans sont plus souvent victimes d'accidents domestiques du fait qu'ils passent plus de temps à la maison. Les accidents ludiques viennent en deuxième position des circonstances de survenue des fractures dans notre série. A cet âge, les enfants ont comme principale activité, le jeu. Les AVP constituent la troisième cause des fractures observées dans notre série. Ces accidents se retrouvent dans toutes les tranches d'âge sauf celle de 0 à 12 mois. Ceci est conforme avec les données de la littérature [8], [10]. Ce sont des fractures qu'on retrouve après l'âge de la marche. Les fractures dues aux AVP ont vu leur fréquence s'accroître car on assiste à une augmentation du parc automobile, associée au non-respect du code de la route [10]. Nous pouvons aussi incriminer la réduction des aires de jeu dédiées aux enfants [11] et la proximité des domiciles avec les axes routiers primaires et secondaires. Les fractures liées aux accidents obstétricaux, dans notre série, sont diagnostiqués dans le 1er mois de vie. La tranche d'âge la plus concernée est celle de 0 à 12 mois. Cependant un cas a été retrouvé dans la tranche d'âge de 25 à 36 mois. Cela peut s'expliquer par une négligence des parents qui font souvent recours à des traitements traditionnels avant de consulter dans un centre hospitalier. Nous pouvons aussi incriminer le personnel médical qui a dû faire preuve de négligence, car un examen minutieux du nouveau-né aurait permis de déceler ces fractures dès les premiers jours de vie. Les violences physiques, comme les tractions sur les membres, le massage traditionnel représente 0,8 % des fractures retrouvées dans notre étude. Le massage est une pratique courante en Afrique mais aussi dans d'autres régions du monde [19], [20].

La chute est le mécanisme le plus fréquent dans notre série, comme dans plusieurs séries de la littérature [4], [5], [7], [9], [12], [18], [21]. La réception d'une charge avec 8,3 % des cas et les accidents obstétricaux (7,7 % des cas) sont les 3ème et 4ème mécanismes des fractures rencontrées dans notre population. La réception d'une charge intéresse tous les âges. Dans d'autres séries, nous relevons plutôt la chute d'objets sur l'enfant qui est devenu mobile et curieux, explore son environnement et tire les objets sur son passage avec risque de chute [12], [17]. Le quart de nos enfants sont hospitalisés. Certains auteurs préconisent l'hospitalisation systématique des enfants chez qui on suspecte un traumatisme non accidentel [22].

5 CONCLUSION

Les fractures chez les enfants de 0 à 5 ans surviennent essentiellement à domicile chez le garçon âgé entre 49 et 60 mois au décours d'une chute. Les fractures dues aux violences physiques sont rares dans cette tranche d'âge. Le retard de consultation constitue un des critères d'hospitalisation dans notre contexte.

REFERENCES

- [1] B. Kopjar, and T.M. Wickizer, "Fractures among children: incidence and impact on daily activities, " *Injury Prevention*, vol. 4, no. 3, pp. 194-197, 1998.
- [2] L.A. Landin, "Epidemiology of children's fractures," *Journal of Pediatric Orthopedic B*, vol. 6, no. 2, pp. 79-83, 1997.
- [3] B. Thélot, "Epidémiologie des blessures chez les enfants et les adolescents, " *Archives de Pédiatrie*, vol., 15, no. 5, pp. 758-60, 2008.
- [4] Réseau EPAC, and B. Thélot. Institut de veille sanitaire, Département maladies chroniques et traumatismes, 2003. [Online] Available: www.invs.sante.fr/publications/2006/epac/epac_fr.pdf.
- [5] A.S. Mohamed, "Les accidents de la vie courante chez l'enfant au CHU A. Le Dantec de Dakar : à propos de 201 cas," [Thèse], *Dakar : Université Cheikh Anta Diop*, 2014.
- [6] K.A. Mack, J. Gilchrist, and M.F., "Ballesteros. Injuries Among Infants Treated in Emergency Departments in the United States, 2001-2004," *Pediatrics*, vol. 121, pp.930-937, 2008.
Available: <http://pediatrics.aappublications.org/content/121/5/930.full.html>.
- [7] A.S. Mohamed, A. Omid, A.L. Faye Fall, P.A. Mbaye, N.F. Seck, O. Ndour, and al, "Les accidents domestiques chez l'enfant à Dakar : à propos de 555 cas," *Journal de Pédiatrie et de Puériculture*, vol. 28, no.5, pp. 217-222, 2015.
- [8] O. Abdou Raouf, J.J. Allogo Obiang, M. Nlome Nze, A. Josseame, and R. Tchoua, "Traumatismes par accident du trafic routier chez l'enfant au Gabon," *Médecine d'Afrique Noire*, vol. 48, no. 12, pp. 496-498, 2001.

- [9] A. Tursz, N. Lelong, and M. Crost, "Home accidents to children under 2 years of age," *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, vol. 4, no. 4, pp. 408-421, 1990.
- [10] F. Diallo, "Les accidents de la voie publique chez l'enfant : aspects socio-démographiques et lésionnels au CHU A Le Dantec de Dakar (à propos de 425 cas)," [Thèse], *Dakar : Université Cheikh Anta Diop*, 2013.
- [11] A. Saw, N. Fadzilah, M. Nawar, and Y.P.Chua YP, "Pattern of childhood fractures in a developing country," *Malasian Orthopedic Journal*, vol. 5, no. 1, p. 13-16, 2011.
- [12] S. Ategbo, J. Minto'os Koko, and S. Mengue Mba-Meyo, "Aspects épidémiologiques des accidents domestiques de l'enfant à Libreville (Gabon)," *Clinics in Mother and Child Health*, vol. 9, no. 1, pp. 1-3, 2012.
- [13] P. Worlock, M. Stower, and P. Barbor, "Patterns of fractures in accidental and non-accidental injury in children: a comparative study," *British Medical Journal (Clin Res Ed)*, vol. 293, no. 6539, pp. 100-102, 1986.
- [14] H.R. Rajerisoa, "Les fractures des membres des enfants reçus aux urgences du CHU Joseph Ravoahangyandrianavalona," [Thèse], *Antananarivo : Université d'Antananarivo*, 2006.
- [15] B. Zahiya, "Fractures du membre thoracique chez l'enfant au CHU Aristide Le Dantec de Dakar : aspects épidémiologiques et lésionnels à propos de 186 cas," [Thèse], *Dakar : Université Cheikh Anta Diop*, 2014.
- [16] Molinié, E., and Cicurel, J.P., *La sécurité des enfants, que fait-on ? Le livre blanc des accidents de la vie courante*, Paris : Institut National de la consommation, pp.15-29, 2008.
- [17] C.Q. Mc Clelland, and K.G. Heiple, "Fractures in the first year of life: a diagnostic dilemma?," *American Journal of Diseases of Children*, vol. 136, no. 1, pp. 26-29, 1982.
- [18] B. Thelot, "Épidémiologie des accidents de la vie courante chez l'enfant," *Archives de Pédiatrie*, vol. 17, no. 6, pp. 704-705, 2010.
- [19] I. Réal, "Massage traditionnel des nourrissons et migration," *Journal de Pédiatrie et de Puériculture*, vol. 8, no. 2, pp. 112-116, 1995.
- [20] D. Ye, N. Nacro, F. Koueta, L. Dao, A. Kabore, and A. Sawadogo, "Soins aux nouveau-nés et aux nourrissons en milieu traditionnel: enquête menée auprès de 502 couples mère-enfant à Ouagadougou au Burkina Faso," *Archives de Pédiatrie*, vol. 14, no. 9, pp. 1112-1113, 2007.
- [21] P.F. Agran, C. Anderson, D. Winn, R. Trent, L. Walton-Haynes, and S. Thayer, "Rates of pediatric injuries by 3-month intervals for children 0 to 3 years of age," *Pediatrics*, vol. 111, no. 6, pp. 683-692, 2003.
- [22] M. Doutaz, and J. Spalinger, "Maltraitance infantile - quelque chose m'échappe-t-il?," *Forum médical suisse*, vol. 20, pp. 469-474, 2003.

L'hydrocèle par persistance du canal péritonéovaginal à Dakar: A propos de 117 cas

[Hydrocele due patent processus vaginalis at Dakar: A report of 117 cases]

Gabriel NGOM, Azhar Salim MOHAMED, Mehdi A. DARAABOU, Ndeye Aby NDOYE, Mbaye FALL, Papa Alassane MBAYE, and Oumar NDOUR

Service de Chirurgie Pédiatrique, Université Cheikh Anta Diop,
Centre Hospitalier Universitaire Aristide Le Dantec, Dakar, Senegal

Copyright © 2016 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: Main of our study was to report on the age at time of surgery and the therapeutic features among children who underwent surgery for hydrocele in Dakar.

Materials and methods: This was a retrospective study conducted between 1st January 2009 and 30th December 2013. A hundred and seventeen boys who underwent surgery for hydrocele due to patent processus vaginalis were reviewed. We determined their age at the time of surgery and the therapeutic aspects including the surgical approach, the practiced surgical gestures, post-surgery medical treatment and surgical treatment outcomes, including favorable cases and complications.

Results: Mean age of the children was 44 months with extremes of 22 days and 15 years of age. Boys aged 3 to 11 were the most represented (58%); 38% were under 2. We performed a high ligation of the processus vaginalis in all children. Post-surgery medical treatment varied with a predominance of analgesics (98.3%) and antibiotics (73.5%). We recorded as post-surgery outcomes 112 favorable cases, one case of scrotal hematoma and four cases of recurrence.

Conclusion: Many children with hydrocele had early surgical operation whereas they could have benefitted from surveillance of the patent processus vaginalis. Hydrocele recurrences are common in our study, this result probably related to the inexperience of the surgeons.

KEYWORDS: Hydrocele, Early surgical operation, Recurrence, Patent processus vaginalis, Children, Dakar.

RÉSUMÉ: Le but de notre travail était de rapporter l'âge au moment de l'intervention et les aspects thérapeutiques chez les enfants opérés pour une hydrocèle à Dakar.

Matériel et méthodes : Il s'agissait d'une étude rétrospective menée entre le 1er janvier 2009 et le 30 décembre 2013. Cent dix-sept garçons opérés pour une hydrocèle par persistance du canal péritonéo-vaginal ont été revus. Nous avons déterminé leur âge au moment de l'intervention et les aspects thérapeutiques incluant la voie d'abord chirurgicale, les gestes pratiqués, le traitement médical post-opératoire et les résultats du traitement chirurgical incluant les cas favorables et les complications.

Résultats : La moyenne d'âge des enfants était de 44 mois avec des extrêmes de 22 jours et 15 ans. La tranche d'âge de 3 à 11 ans était la plus représentée (58 %), 38 % des enfants avaient moins de 2 ans. Tous les enfants ont été opérés par une voie d'abord transversale au pli abdominal inférieur de canal péritonéo-vaginal était ligaturé à l'orifice inguinal profond et la collection liquidienne évacuée. Le traitement médical post-opératoire était variable avec une prédominance des antalgiques (98,3 %) et des antibiotiques (73,5 %). Dans les suites opératoires, 112 enfants ont évolué favorablement. Nous avons enregistré un cas d'hématome scrotal et 4 cas de récurrences d'hydrocèle.

Conclusion : Beaucoup d'enfants présentant une hydrocèle ont été opérés alors qu'ils pouvaient bénéficier d'une surveillance du fait des possibilités de fermeture spontanée du canal péritonéo-vaginal. Les récurrences d'hydrocèle sont fréquentes dans la série, résultat probablement lié à l'inexpérience des opérateurs.

MOTS-CLEFS: Hydrocèle, Persistance du canal péritonéo-vaginal, Récidives, Traitement chirurgical précoce, Enfants, Dakar.

1 INTRODUCTION

Contrairement à la situation chez l'adulte où l'hydrocèle est une maladie de la vaginale, chez l'enfant, l'hydrocèle résulte d'une persistance anormale du canal péritonéo-vaginal (CPV) [1]. C'est une pathologie fréquente à la naissance [1], de diagnostic essentiellement clinique. Elle est bénigne et sa résolution spontanée se fait dans la grande majorité des cas avant l'âge de 2 ans. La chirurgie, qui consiste en une fermeture du CPV, est donc le plus souvent envisagée après cet âge [2], [3].

Dans la littérature peu de travaux portent sur l'hydrocèle chez l'enfant, comparé à la hernie. Au Sénégal, la prise en charge n'est pas bien codifiée et aucun travail n'a été réalisé exclusivement sur l'hydrocèle chez l'enfant. Ce manque de codification justifie cette étude dont le but était de déterminer l'âge au moment de l'intervention et les aspects thérapeutiques chez les enfants présentant une hydrocèle à Dakar.

2 PATIENTS ET MÉTHODE

Il s'agissait d'une étude rétrospective et descriptive, menée dans le service de Chirurgie Pédiatrique du Centre Hospitalier Universitaire Aristide Le Dantec de Dakar. Tous les garçons âgés de moins de 16 ans, opérés dans ledit service, pour une hydrocèle par persistance du canal péritonéo-vaginal (PCPV) entre le 1^{er} janvier 2009 et le 30 décembre 2013, ont été inclus dans l'étude.

La série était composée de 117 garçons présentant 94 hydrocèles communicantes (HC) et 23 hydrocèles non communicantes (HNC). Le diagnostic de l'hydrocèle et de l'aspect communiquant ou pas a été fait cliniquement. Aucun enfant n'a bénéficié d'une échographie. Tous les enfants ont été opérés par des étudiants en dernière année de spécialisation de chirurgie pédiatrique. Nous avons étudié pour chaque enfant l'âge au moment de l'intervention, la voie d'abord chirurgicale, les gestes pratiqués, le traitement médical après la chirurgie et les résultats du traitement chirurgical incluant les cas favorables et les complications. Ces résultats ont été appréciés après un recul moyen de 20 mois.

La saisie et l'analyse des données ont été effectuées à l'aide des logiciels Epi Info V 7.0 et Microsoft Excel 2013.

3 RÉSULTATS

La moyenne d'âge des enfants était de 44 mois avec des extrêmes de 22 jours et 15 ans. La tranche d'âge de 3 à 11 ans était la plus représentée (figure 1).

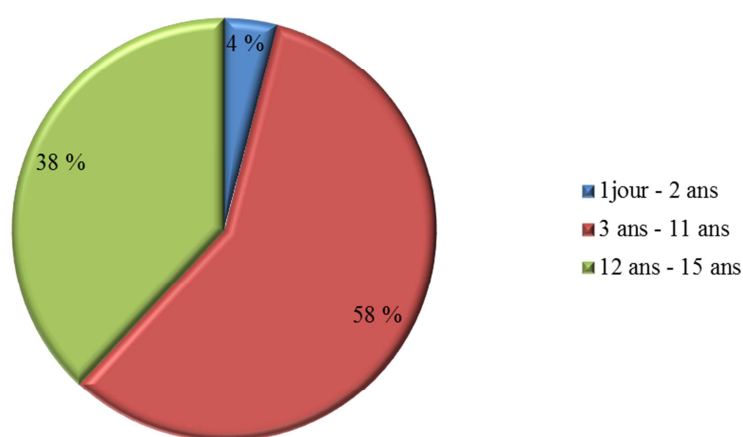


Fig. 1. Répartition des garçons par tranche d'âge au moment de l'intervention

Tous les enfants ont été opérés par une voie d'abord inguinale avec une incision transversale au pli abdominal inférieur. Ils ont tous bénéficié, sous anesthésie générale complétée par une anesthésie caudale, d'une fermeture du CPV à l'orifice inguinal profond. La fermeture du canal a été réalisée au moyen d'un fil résorbable. Pour les HC, la vidange de l'hydrocèle a été faite, par le bout distal du CPV sectionné en effectuant une pression sur la bourse homolatérale. Pour les HNC, une incision de 2 mm a permis d'évacuer l'hydrocèle. La paroi abdominale a été fermée en trois plans, en finissant par une suture intradermique. Il s'agissait d'une chirurgie ambulatoire pour tous les enfants, qui ont quitté l'hôpital, six heures après le

réveil anesthésique. Un traitement médical, dont les modalités étaient variables, a été administré à chaque patient (tableau 1).

Tableau 1. *Traitement médical post-opératoire*

Traitement médical administré	Effectif	Pourcentage
Antalgique	25	21,4 %
Antalgique + Anti-inflammatoire	6	5,1 %
Antalgique + Antibiotique	64	54,7 %
Antalgique + Anti-inflammatoire + Antibiotique	20	17,1 %
Anti-inflammatoire + Antibiotique	2	1,7 %

Les suites opératoires ont été marquées par un cas d'hématome scrotal et quatre cas de récurrence d'hydrocèle (3,4 %). L'hématome scrotal a bien évolué avec les anti-inflammatoires (AINS). Les quatre enfants présentant une récurrence ont bénéficié d'une reprise chirurgicale avec évolution favorable.

4 DISCUSSION

Les L'hydrocèle de l'enfant demeure une pathologie peu étudiée par rapport à la hernie. Il s'agit, pourtant, d'une affection fréquente en pratique pédiatrique. Au Sénégal aucune étude n'a porté spécifiquement sur l'hydrocèle de l'enfant [4], [5], [6]. Il nous a donc paru nécessaire, de discuter certains aspects débattus actuellement dans la littérature, en particulier l'âge au moment de l'intervention et les aspects thérapeutiques. A la différence de la hernie inguinale qui évolue souvent vers des complications, l'hydrocèle est une affection bénigne et les possibilités de fermeture spontanée du CPV sont réelles [7], [8], [9], [10]. Dans la série de Koski et al. [9], 176 garçons âgés de moins de 18 mois ont été suivis pour une HC durant une période de 11 mois. Le taux moyen de résolution spontanée de l'hydrocèle était de 63 %. Cette résolution survenait à un âge moyen de 11 mois. Osifo et al. [8], dans une série de 163 cas d'hydrocèles congénitales chez des nouveaux nés suivis pendant deux ans, ont constaté une résolution spontanée de la PCPV dans 83 % des cas avant l'âge de 18 mois avec un maximum de résolution entre le 4^{ème} et le 6^{ème} mois. Christensen et al. [2] ont rapporté 60 % de résolution spontanée des HC et 76 % pour les HNC. L'ensemble de ces auteurs recommandent de surveiller les hydrocèles apparues avant l'âge d'un an jusqu'à l'âge de deux ans, car la majorité disparaît au bout d'un an [2], [8], [9]. L'Académie Américaine de Pédiatrie, section chirurgie, rapporte une baisse du nombre de chirurgiens pédiatres américains qui voudraient opérer les HC avant l'âge de 18 mois [11]. La Société Européenne des Urologues Pédiatres recommande également la fermeture du CPV à l'âge de 2 ans [12]. L'ensemble des études rapportées dans la littérature démontre la possibilité de résolution spontanée de l'hydrocèle de l'enfant. Cette résolution spontanée est maximale pendant les premiers mois de vie et se poursuit jusqu'à l'âge de 2 ans, âge où la fermeture du CPV doit être envisagée. Dans notre contexte, 38 % des enfants opérés ont moins de 2 ans. Ces enfants, à la lumière de ce qui précède, auraient pu bénéficier d'une surveillance. Cette chirurgie précoce de l'hydrocèle, à Dakar, est liée à la pression des parents qui considèrent l'hydrocèle comme une dysmorphie, source potentielle d'infertilité. Sarr et al. [4], au service d'Urologie du même hôpital, ont fait un constat similaire. Cette approche agressive de l'hydrocèle n'est pas dénuée de risque. Elle expose, en effet, à un risque de lésions déferentielles et vasculaires, sans occulter le risque anesthésique, très présent au Sénégal car il existe peu d'anesthésistes pédiatres.

Tous nos patients sont opérés par la voie inguinale quel que soit leur âge, que l'hydrocèle soit communicante ou non communicante. Teklali [1] a utilisé le même procédé dans sa série. Cette approche permet de fermer le CPV à l'orifice inguinal profond [1]. C'est l'approche de choix dans la chirurgie du CPV chez l'enfant. La voie scrotale, semble être, cependant, une alternative intéressante au regard des derniers travaux de la littérature [1], [10], [13]. Wilson et al. [10] proposent cette voie chez tout enfant âgé de plus de 12 ans présentant une HNC. Ces auteurs pensent que l'âge est inversement proportionnel à la présence d'un CPV et qu'après 12 ans, l'approche scrotale est indiquée. Une étude récente, comparant les deux approches inguinale et scrotale ne révèle aucune complication majeure [13]. Les complications mineures étaient également identiques dans les deux groupes après un recul de 6 mois. Les auteurs ont cependant révélé certains avantages de l'approche scrotale par rapport à l'approche inguinale. Selon eux, l'approche scrotale est simple, bien tolérée, esthétique avec un temps opératoire réduit. Cette voie permet, selon Fearne et al. [14], un excellent accès au CPV avec un minimum de dissection et de morbidité. De plus, elle élimine le risque de léser les nerfs ilio-inguinal et génito-fémoral [13]. L'approche scrotale des hydrocèles de l'enfant conduit à moins de douleurs post-opératoires, à un séjour hospitalier réduit et à une cicatrisation plus rapide par rapport à la voie inguinale. Un taux de récurrence très faible a été rapporté par ces auteurs [10], [13]. Ces auteurs pensent que l'approche scrotale des hydrocèles est fiable pour être pratiquée dans la cure de l'hydrocèle chez l'enfant qu'elle soit communicante ou non communicante. Cette approche présente, par contre certains inconvénients comme la possibilité de survenue d'un œdème scrotal [13].

La chirurgie du CPV est réputée bénigne. Elle n'est cependant pas banale. Des complications diverses et variées sont essentiellement rencontrées après une chirurgie herniaire. Elles sont rares après une cure d'hydrocèle. Les plus fréquentes sont l'hématome scrotal, les suppurations pariétales [1], [4] et l'atrophie testiculaire. L'hématome scrotal peut être prévenu par une dissection méticuleuse du cordon spermatique, et en réalisant l'hémostase des petits saignements au mieux grâce à un bistouri bipolaire pour éviter la diffusion de la coagulation vers le canal déférent [15]. Nous avons un cas d'hématome scrotal (0,8 %) dans notre série, moins que dans la série de Sarr et al. [4] qui ont rapporté 2,2 %. La récurrence de l'hydrocèle, rencontrée chez quatre de nos patients (3,5 %), est exceptionnelle dans la littérature [4], [12]. Dans notre contexte elle pourrait être liée au manque d'expérience des opérateurs qui sont des chirurgiens en fin de spécialisation. Nous n'avons pas trouvé de suppurations pariétales contrairement dans la littérature [1], [13], [16], [17]. Après chirurgie, les soins locaux, dans notre service sont réalisés par le personnel paramédical, qui ne signale pas systématiquement cette complication. Nos patients ne sont revus par le chirurgien pédiatre en consultation externe qu'un mois après l'intervention, à la cicatrisation de la plaie opératoire. Des cas de suppurations sont donc probablement passés inaperçus. Cet aspect pourrait expliquer l'absence de suppurations pariétales dans notre série. Nous n'avons pas retrouvé aussi d'atrophie testiculaire dans notre série. Cette dernière constitue la principale préoccupation après une chirurgie du CPV. Elle est retrouvée dans plusieurs séries [13], [17], [18]. Notre recul est faible, ce qui pourrait expliquer son absence dans notre série.

Tous nos patients ont reçu un traitement médical en période post-opératoire sans qu'il soit univoque. Il s'agit tantôt d'une monothérapie, tantôt d'une association, éventuellement la plus fréquente. Seule l'association antalgique et anti-inflammatoire est parfaitement justifiée pour lutter contre la douleur post-opératoire et l'inflammation souvent observée sur la bourse du côté opéré. Près de 75 % des enfants reçoivent des antibiotiques, ce qui ne semble pas être justifié, la chirurgie de l'hydrocèle de l'enfant étant une chirurgie propre donc ne nécessitant pas la prise d'antibiotique.

5 CONCLUSION

Une communication devrait s'instaurer entre les chirurgiens et les parents des enfants présentant une hydrocèle, en vue de leur expliquer la nécessité d'observer les enfants jusqu'à l'âge de 2 ans, avant d'envisager la chirurgie. Par ailleurs, les récurrences d'hydrocèle sont fréquentes dans la série. Les étudiants en fin de spécialisation doivent donc bénéficier d'une supervision car ils sont toujours en apprentissage.

RÉFÉRENCES

- [1] Teklali Y, and Baillot B. Traitement chirurgical des hydrocèles chez l'enfant. Paris, EMC, 2010. Doi : 10.1016/S1283-0879(10)53650-3.
- [2] T. Christensen, P.C. Cartwright, C. Devries and B.W. Snow, "New onset of hydroceles in boys over 1 year of age," *International Journal of Urology*, vol. 13, no. 11, pp. 1425-1427, 2006.
- [3] S.T. Lau, Y.H. Lee and M.G. Caty, "Current management of hernias and hydroceles," *Seminars in Pediatric Surgery*, vol. 16, no. 1, pp. 50-57, 2007.
- [4] A. Sarr, Y. Sow, B. Fall, C. Ze Ondo, A. Thiam, M. Ngandeu, B. Diao, P.A. Fall, A.K. Ndoeye and M. Ba, "La pathologie du canal péritonéo-vaginal en pratique urologique," *Progrès en Urologie*, vol. 24, no. 10, pp. 665-669, 2014.
- [5] G. Ngom, A.S. Mohamed, A.E. Saleck, P.A. Mbaye, O. Ndour, A.L. Faye and M. Ndoeye, "La pathologie non compliquée du canal péritonéo-vaginal à Dakar : à propos de 125 cas," *Journal de Pédiatrie et de Puériculture*, Vol. 28, no. 3, pp. 114-117, 2015.
- [6] P.A. Fall, S.M. Gueye, A. Ndoeye, C. Sylla, M.O. Abdallahi, A.A. Diame, M. Ba and B.A. Diagne, "La pathologie du canal péritonéo-vaginal chez le garçon : aspects cliniques et thérapeutiques à propos de 160 cas," *Dakar Médical*, vol. 45, pp. 206-208, 2000.
- [7] N.J. Hall, O. Ron, S. Eaton and A. Pierro, "Surgery for hydrocele in children: an avoidable excess?," *Journal of pediatric surgery*, vol. 46, no. 12, pp. 2401-2405, 2011.
- [8] O.D. Osifo and E.O. Osaigbovo, "Congenital hydrocele: prevalence and outcome among male children who underwent neonatal circumcision in Benin City, Nigeria," *Journal of Pediatric Urology*, vol. 4, no. 3, pp. 178-182, 2008.
- [9] M.E. Koski, J.H. Makari, M.C. Adams, J.C. Thomas, P.E. Clark, J.C. Pope, W. John and I.I.I. Brock, "Infant communicating hydroceles: do they need immediate repair or might some clinically resolve?," *Journal of Pediatric Surgery*, vol. 45, no. 3, pp. 590-593, 2010.
- [10] J.M. Wilson, D.S. Aaronson, R. Schrader and L.S. Baskin, "Hydrocele in the pediatric patient: inguinal or scrotal approach?," *Journal of Urology*, vol. 180, no. 4, pp. 1724-1728, 2008.

- [11] E.S. Wiener, R.J. Touloukian, B.M. Rodgers, J.L. Grosfeld, E.I. Smith, M.M. Ziegler and A.G. Coran, "Hernia survey of the Section on Surgery of the American Academy of Pediatrics," *Journal of Pediatric Surgery*, vol. 31, no. 8, pp. 1166-1169, 1996.
- [12] S. Tekgül, H. Riedmiller, E. Gerharz, P. Hoebeke, R. Kocvara, R. Nijman, C. Radmayr, R. Stein and H.S. Dogan, "EAU Guidelines on Vesicoureteral Reflux in Children," *European Urology*, vol. 62, no. 3, pp. 534-542, 2012.
- [13] B.F. Alp, H.C. Irkilata, Y. Kibar, U. Zorba, A.A. Sancaktutar, E. Kaya and M. Dayanca, "Comparison of the inguinal and scrotal approaches for the treatment of communicating hydrocele in children," *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, vol. 30, no. 4, pp. 200-205, 2014.
- [14] Ch. Fearne, M. Abela and D. Aquilina, "Scrotal approach for inguinal hernia and hydrocele repair in boys," *European Journal of Pediatric Surgery*, vol. 12, no. 2, pp. 116-117, 2002.
- [15] Theissen, M.A., Niccolai, P., Bouregba, M. and Raucoules-Aime, M., *Blocs de la paroi abdominale*, In: EMC-Anesthésie-Réanimation, pp. 1-8, 2006.
- [16] I. Fall, G. Ngom, E. Betel, M. Cissé, A. Sankalé and M. Ndoye, "Prise en charge des hernies de l'aîne chez l'enfant : à propos de 625 cas," *Médecine d'Afrique Noire*, vol. 51, no. 3, pp. 175-177, 2004.
- [17] M. Ibrahim, K.I. Getso and M.A. Mohammad, "Burden of congenital inguinal hernia and hydrocele in northern and southern Nigeria: An opportunity for awareness creation," *African Journal of Paediatric Surgery*, vol. 11, no. 4, pp. 312, 2014.
- [18] F. Bastiani and J.M. Guys, "Peritoneo-vaginal canal. Pathology," *Soins Gynécologie, Obstétrique, Puériculture, Pédiatrie*, 1990, no. 107, pp. 12-14, 1990.

Using of Automatic Slice-based Adjustment of Golem Voxel Phantom for Developing of Sudanese Voxel Phantom

Elhussien H.M. Sirelkhatim¹, A.M. Artoli², and Mohamed Osman³

¹Medical Physics Department,
Radiation & Isotopes Centre Khartoum, Khartoum, Sudan (RICK),
Khartoum, Sudan

²Department of Computer Science,
College of Computer and Information Sciences, King Saud University,
Riyadh 11543, KSA

³Department of Medical Physics,
Faculty of Science and Technology, Alneelain University,
Khartoum, Sudan

Copyright © 2016 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: Developing of voxel phantoms has been an active field of research during the last decades and is receiving more attention nowadays. Reference phantoms for several ethnic groups have been developed recently as an extension to the ICRP reference phantoms that are based on Caucasian standard anatomical data,. This work reports an attempt to develop a tool for automatic slice-based adjustment of voxel phantoms. This tool achieves the adjustment process depending on anthropomorphic data extracted from anterior and lateral images for targeted body. The software was used to adjust Golem voxel model according to 23 Sudanese individuals. The weight, height, and age of these individuals vary from 52 to 113 Kg; from 166 to 188 cm and from 20 to 35 years, respectively. The maximum equivalent diameter, mean equivalent diameter, major axis length, minimum axis length, solidity and volume of brain, heart, kidneys, liver, lungs, spleen and bladder were calculated for all prepared models. For each organ, the mean value for each of these parameters was calculated and the deviation of each model from this value was evaluated. For the obtained data, we have calculated a global deviation of model (GDM) and selected the model with the smallest GDM to be the Sudanese voxel model. We have also compared volume, height and weight for 17 organs of the Sudanese voxel phantoms with ICRP phantom Golem + visible human and voxel man model.

KEYWORDS: voxel phantoms, nation specific voxel phantoms, Sudanese phantom, computational dosimetry, Slice-based adjustment.

1 INTRODUCTION

Developing of anthropomorphic computational models has been an active field of research during the last 50 years [1], [2]. The first generation is the stylized or mathematical phantoms which started in 1960's. The first mathematical model was developed by Fisher and Synder using simple geometrical shapes [3]. This model is homogeneous and hermaphrodite and contains three regions: head and neck, trunk including arms, and legs. Synder et al. improved this model to be heterogeneous with different densities given for lung, bones and soft tissues [4]. The improved model is known as MIRD after the Medical Internal Radiation Doses Committee. Fisher and Synder [3] scaled down this model to cover pediatrics. In 1967 three designed phantoms for new born, ten and fifteen years old were developed separately [5], [9]. In 1980 Cristy developed a complete family of mathematical phantoms [10], including adult, new born, one, five, ten and fifteen years old

phantoms. An improved version of these phantoms was developed by Cristy and Eckerman [11]. This improved version was known as ORNL family after Oak Ridge National Laboratory.

In 1982, Kramer et al. used MIRD as base to develop ADAM and EVA as the first gender specific mathematical models [12]. In 1995 Stabin et al. developed three mathematical models for a pregnant female in the first, second and third trimester of pregnancy [13].

Voxel model is the second generation of anthropomorphic phantoms which appeared as a result of the evolution on tomographic medical imaging and computer technology. The first voxel model was developed in 1984 by Gibbs [14-16]. Then in 1986 a research group from GSF developed two pediatric phantoms, later extended to cover a family of voxel phantoms. Two of these phantoms are REX and REGINA which are adapted according to ICRP reference man and woman [17] and adopted as standard voxel models of ICRP [18]. In 1994, Zubal et al. developed a model called VOXELMAN [19] and then Kramer et al. developed a modified version of this model called MAX [20]. MAX has been adjusted according to ICRP reference man. Kramer et al. also developed FAX [21] a female voxel phantom adjusted according to ICRP-89 reference woman. These two models have been modified to satisfy ICRP-103 recommendations [22]. The results are MAX06 and Fax06 [23].

Beside the two pediatric phantoms mentioned above, a number of other pediatric voxel models have been developed. In 1999 Caon et al. developed the ADELAIDE model of a fourteen years old girl [24]. In 2002 Nipper et al. from University of Florida (UF) developed UF new born and UF2 for two-month old models [25] Then Lee et al. developed the series of UF Head-Torso pediatric phantoms which cover ages from nine months to fourteen years [26] and second series of pediatric whole-body phantoms [27].

In 1995 Dimbylow used MRI images to develop NORMAN and NAOMI male and female phantoms. Later he used NAOMI to develop a series of pregnant women models [28]. Other pregnant models were developed by Shi et al [29] and Cech [30]. Beside CT and MRI images, a number of models have been developed using color cross sectional images of cadavers. The first of these models was developed by Xu et al in 2000. To cover anatomical variation between deferent races, research groups from Japan, Korea and China developed voxel phantoms having the standard body characteristics of their ethnic group. Saito et al from Japan developed OTOKO, JM and JM2, three voxel models of adult men in addition [31], [34] to ONAGO and JF [30], [32], two voxel models of adult females. Nagaoka et al also from Japan used sets of MRI to develop TARO and HANAKO, two adult male and female voxel models [35] developed for studies of non-ionizing radiations. Beside these two models, Nagaoka et al developed three pediatric voxel models represent three, five and seven years old Japanese children [36]. The pediatric phantoms were modeled using Free Form Deformation (FFD) algorithm [37]. Nagaoka et al also used FFD algorithm to develop voxel models in different postures [38], [39]. In addition to these Japanese voxel models five voxel models from Korea [40], [44] and three voxel models from China [45], [50] had been developed. Recently other models represent Syrian [51] and Iranian [52], [53] ethnic groups have been developed

In this work we adjust a voxel phantom according to anthropomorphic data of 23 Sudanese individuals. For the adjustment process, we developed a dedicated software for slice-based automatic processing. This strategy was used as a relatively simple method to create a Sudanese voxel phantom starting from an existing voxel model.

2 METHOD

2.1 AUTOMATIC SLICE-BASED ADJUSTMENT OF VOXEL PHANTOMS

Many reports in the literature consider modeling of 3D objects according to data extracted from 2D images [54], [56]. We found a good starting point on the work of Charlie et al [57], which consider adaptation of human surface model according to two orthogonal images of a target body. They adapt the position of specific points on the surface of the source model according to two orthogonal images of the target body. However, in their case and unlike voxel phantoms the source model is a surface model without internal anatomy. To deal with voxel phantoms we adopt the following scenario. Initially we partition the model into seven parts. Then we adjust the position of internal organs with respect to the Z-direction. After this, we append, re-slice and adapt the segments in the X and Y directions.

We developed a Matlab code with general flow illustrated in Fig. 1. The code considers Z axis to points from head to foot, X axis to points from right to left and Y axis to points from front to back.

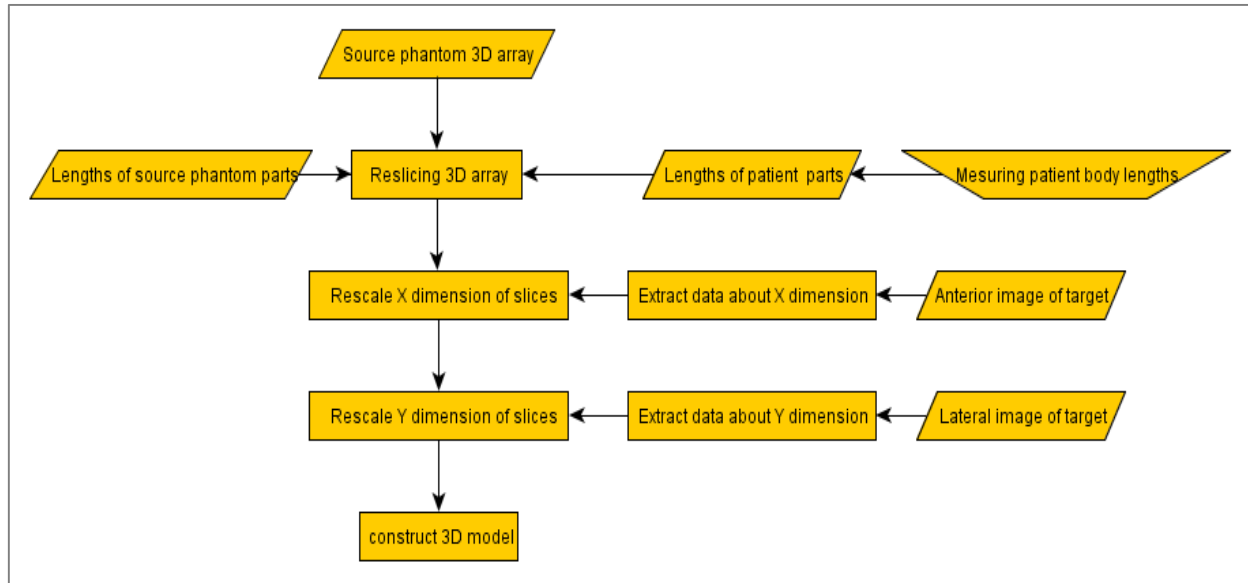


Fig. 1. Scenario of the algorithm developed for automatic slice-based adjustment of source voxel phantom.

At first, the user has to import the source phantom model. The code assumes this model to be without arms, legs or ears and has seven segments in Z direction the first of these segments goes from top of head down to the nasion. The second to the end of the nose, the third to the bottom of the chin, the fourth to the level of the seventh cervical vertebra, the fifth to the level of the xiphoid process, the sixth to the level of the iliac crest and the seventh segment goes down to the end of the model. To start the adjustment process, the user has to insert the length of the seven segments for the source phantom and the targeted body in addition to the number of slices of the source phantom to be prepared. The user has also to pick anterior and lateral silhouette images of the target body and give their magnification factors. These two images must have the same heights and are assumed to be without ears, arms and legs. The reason of removing these parts is the discontinuity of their borders which will disturb the code. At the beginning, the code starts by preparing the slices of the source phantom in 3D array. Then, in order to adapt in Z direction, it prepares a number of slices from each segment according to the following equation:

$$(NS)_i = \text{round} [(TL)_i / NST] \quad (1)$$

Where NS , TL , NST , and i represent number of slices to be prepared, target length of segment, new slice thickness, and segment number respectively. To adapt the source model in X direction, the code scans the anterior image from top to bottom with steps equal NST . In each step, it calculates the length between the borders of the body at the position of that step on the image. Then the code normalizes these lengths according to the largest length of them ($-ML-$) and stores the normalized lengths the (NL) . After that the code starts scanning the prepared slices of the source model one by one from top to bottom. For each slice, it crops the area of the slice which contains source model body and stores its length in X direction another. The length of the cropped image which faces (ML) will be considered as the normal source model length (NSL) . Then, the new length in X direction of the cropped image number i which represented with NCL_i can be calculated by using the following equation:

$$NCL_i = NSL * NL_i \quad (2)$$

After changing the lengths of the cropped images in X direction according to the calculated values, the code pastes these images again in their original slices. By this way the slices would keep their number of pixels but the dimension of these pixels would be modified. To calculate the new dimension of pixels in X direction NPD , the code uses the following equation:

$$NPD = (ML * APD) / NSL \quad (3)$$

Where APD represents the pixel dimensions of the anterior image. This step completes adapting of the model in X direction. To adapt in Y direction the code repeats these steps using the lateral image of the target body.

2.2 PREPARATION OF THE SOURCE VOXEL MODEL

In this study we used Golem voxel phantom (58) as source model. This model was developed from CT images of a 38 years old patient with height of 176 cm and weight of 68.9 kg. The model consists of 220 slices with 256x256 pixels. The voxel dimensions are $0.208 \times 0.208 \times 0.805 \text{ cm}^3$. At first data of the phantom was prepared into slices. The result is shown in Fig. 2. Then ears, arms and legs were removed, after that the model was divided into the mentioned seven segments.

The reference planes used for segmentation are shown in Fig. 3. The lengths of these segments in addition to Golem slices are passed to the code.

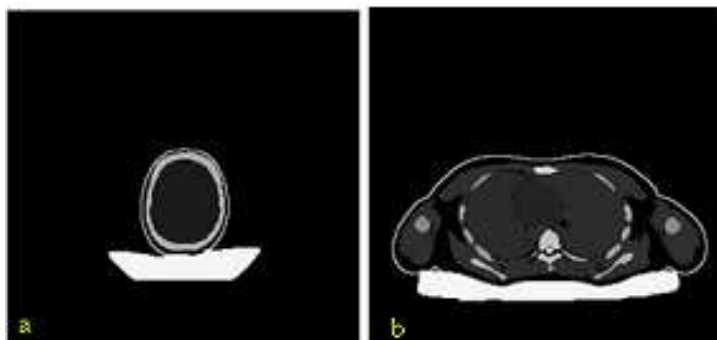


Fig. 2. Sample of Golem slices, from head (a) and chest (b).

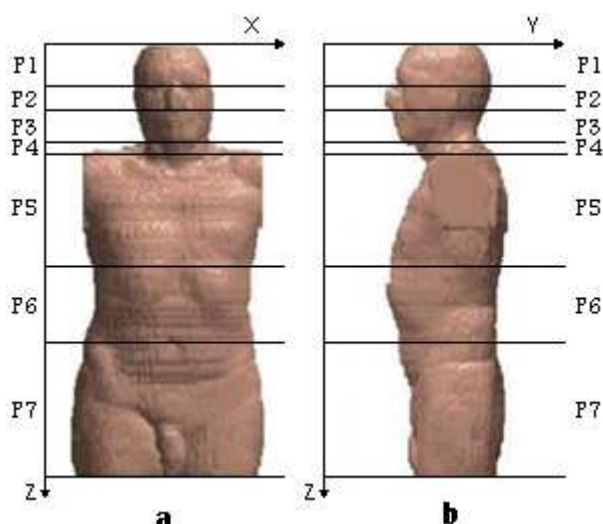


Fig. 3. 3D Rendering of Golem model after removing ears, hands and legs. (a) Anterior view. (b) Lateral view. Shown are the reference planes used for segmentation

2.3 DATA COLLECTING AND PROCESSING

Anterior and lateral images for 23 Sudanese volunteers were acquired. The weight, height and age of these individuals vary from 52 to 113; from 166 to 188 and from 20 to 35 respectively. Each of the individuals was asked to wear as tight as possible clothes. The camera was held vertically without tilting. Distance and magnification of imaging are adapted to satisfy the height of each individual. For each individual, the anterior image was acquired at first; then the lateral image was acquired with the same parameters. The magnification factor of each image was calculated by comparing the actual length of the second segment with its length in the image. Then, silhouette versions of these images are prepared after removing arms, ears and legs and treating defects resulted due to wear less or very tightly clothes. Samples of these images are shown in Figure 4. From these images, the lengths of body segments are measured in pixels for each individual. The source voxel model was adjusted according to these data to generate 23 voxel models. Then, the maximum equivalent diameter, mean equivalent diameter, major axis length, minimum axis length, solidity and volume of brain, heart, kidneys, liver, lungs, spleen and bladder were calculated for each model.

For each organ, the mean values of these parameters were calculated and used to evaluate what was then called Global Deviation of Model (GDM) by using the following equation:

$$GDM_i = \sum_j \sum_k D_{i,j,k} \quad (4)$$

Where $D_{i,j,k}$ is the deviation of the model i for the parameter k of the organ j . From the statistical point of view the model with the smallest GDM is the best representation of all models and therefore it will be selected as the Sudanese voxel phantom.

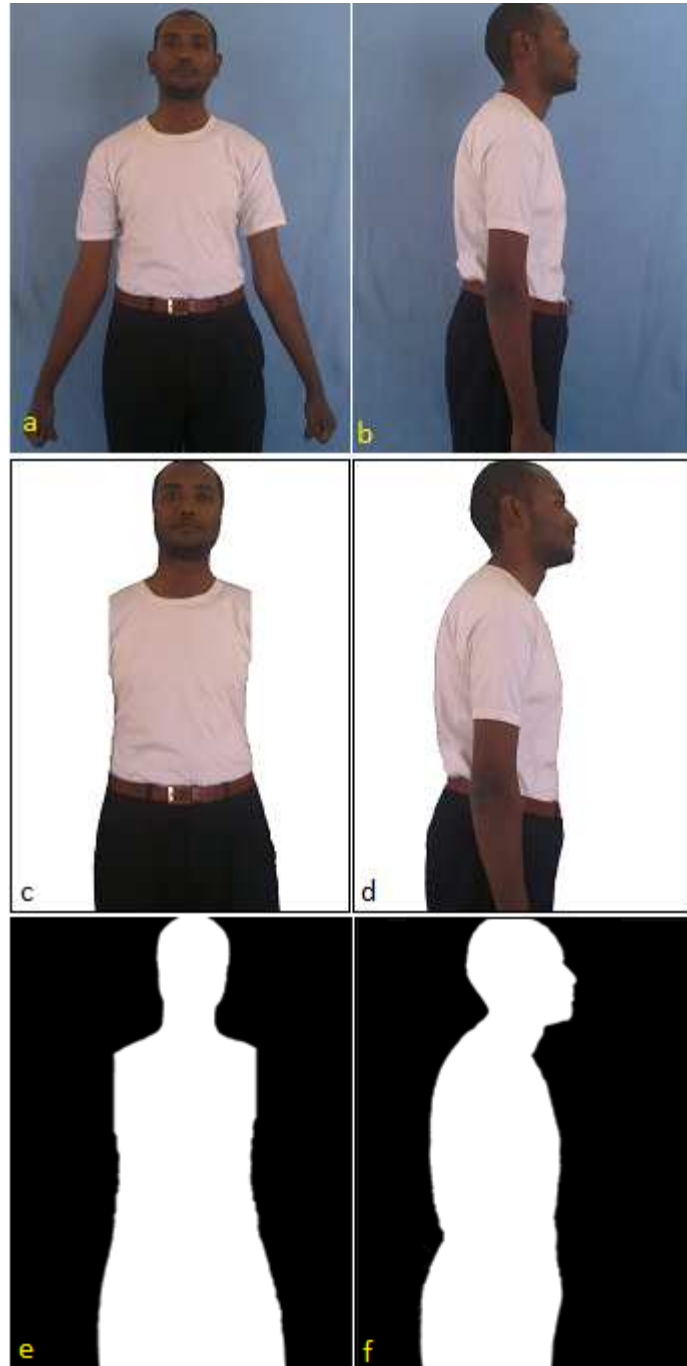


Fig. 4. Images for one of the 23 Sudanese individuals who participated in the study to develop the Sudanese voxel phantom. Shown are the different stages of preparation. Images (a) and (b) are the original anterior and lateral images respectively, images (c) and (d) are the same images after removing ears, arms and background while (e) and (f) are the final silhouette images.

3 RESULTS

The maximum equivalent diameter, mean equivalent diameter, major axis length, minimum axis length, and volume for of the nine organs mentioned above were calculated.

As Sample, results of these parameters for liver are shown in Fig. (5-9). The normality of distribution was examined against Gaussian distribution .the p value of the test was found to be greater than 0.05 for all parameters of all organs as example for liver the values are: 0.126, 0.242, 0.158, 0.109 and 0.142 for the mentioned parameters respectively. There for Gaussian distribution is considered to be acceptable approximation for distribution of these parameters. This means that the parameters of the adjusted models and there organs have the same statistical distribution as those of actual population.

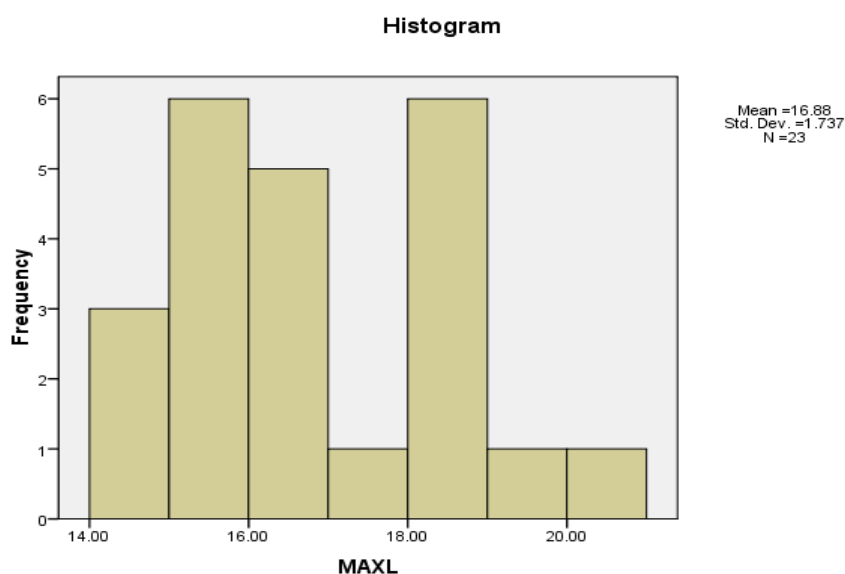


Fig. 5. Lengths of maximum and mean equivalent diameters in addition to major and minor axis of brain for 23 Sudanese individuals participated in the study to develop Sudanese voxel phantom.

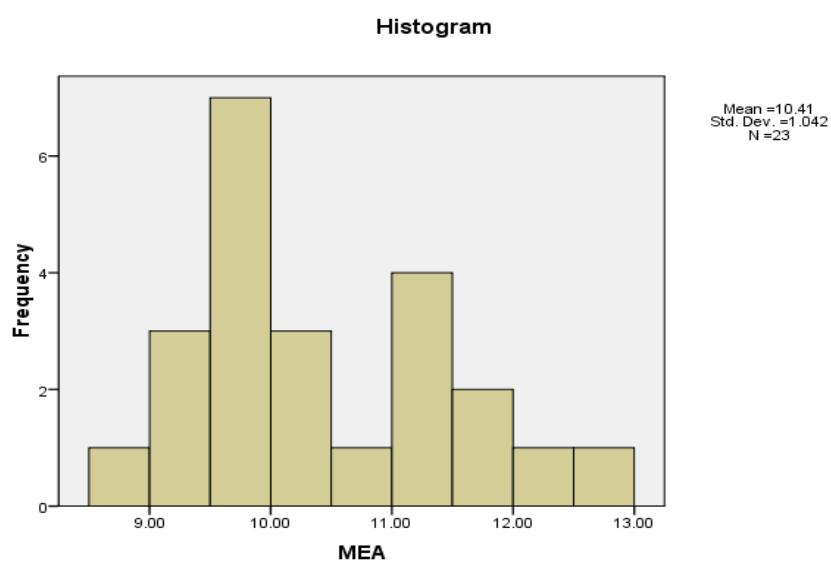


Fig. 6. Lengths of maximum and mean equivalent diameters in addition to major and minor axis of spleen for 23 Sudanese individuals participated in the study to develop Sudanese voxel phantom

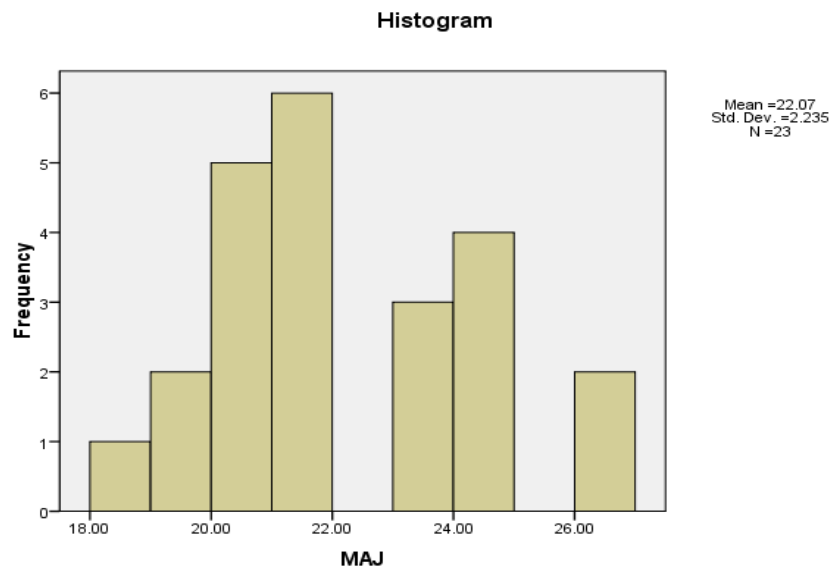


Fig. 7. The solidity of right kidney for the 23 Sudanese individuals participated in the study to develop Sudanese voxel phantom

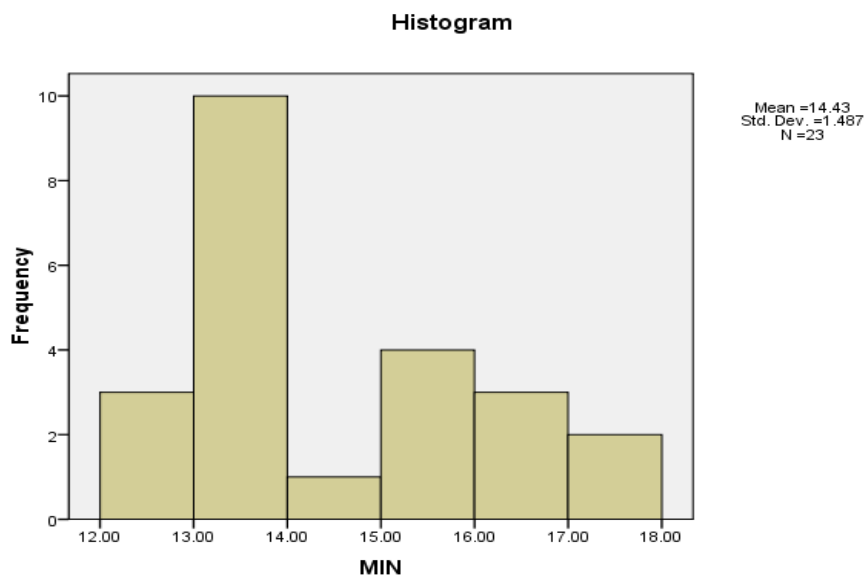


Fig. 8. The solidity of left lung for the 23 Sudanese individuals participated in the study to develop Sudanese voxel phantom

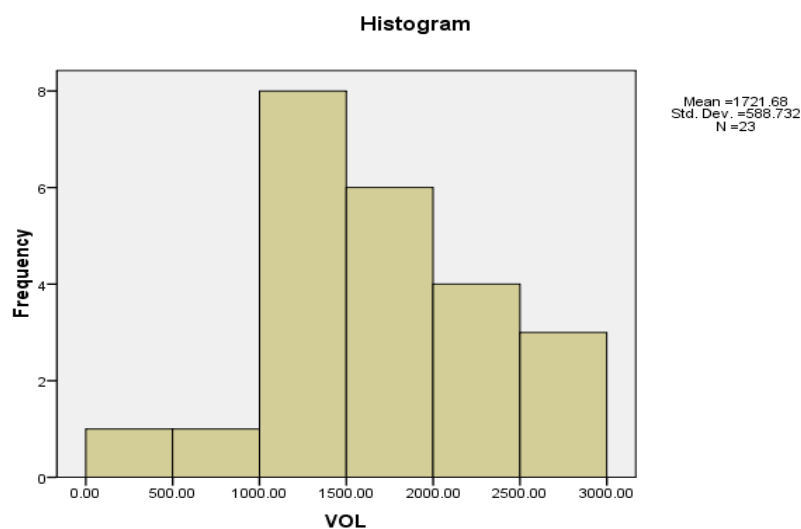


Fig. 9. The volume of heart for the 23 Sudanese individuals participated in the study to develop Sudanese voxel phantom

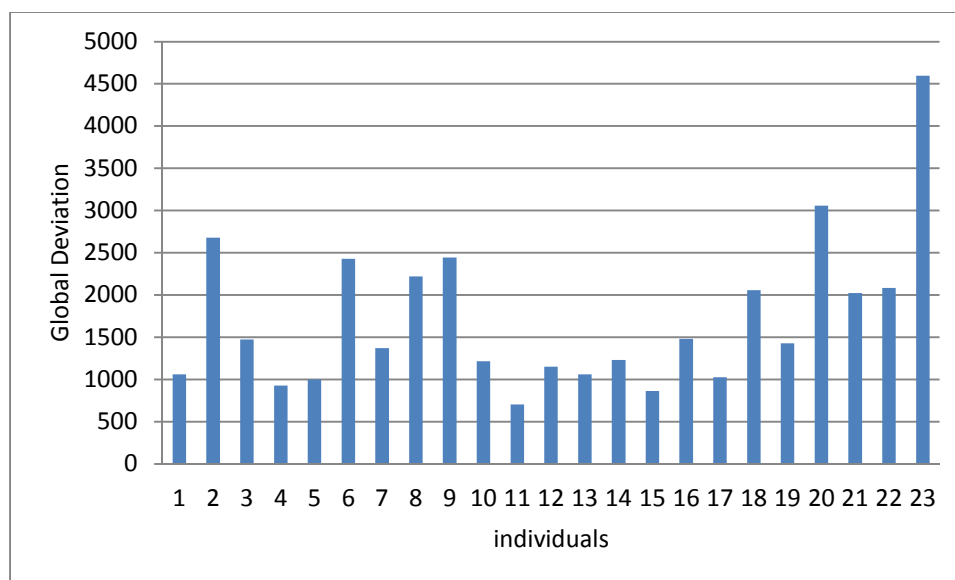


Fig. 10. The volume of liver for the 23 Sudanese individuals participated in the study to develop Sudanese voxel phantom

The maximum, minimum and average of these parameters were evaluated for the nine organs of the 23 models. Then, equation (4) is used to calculate the *GDM* for each individual. The results are explored in Fig. 11. It can be seen that the individual number 11 has the minimum *GDM*. Therefore, it was selected as the Sudanese voxel phantom.

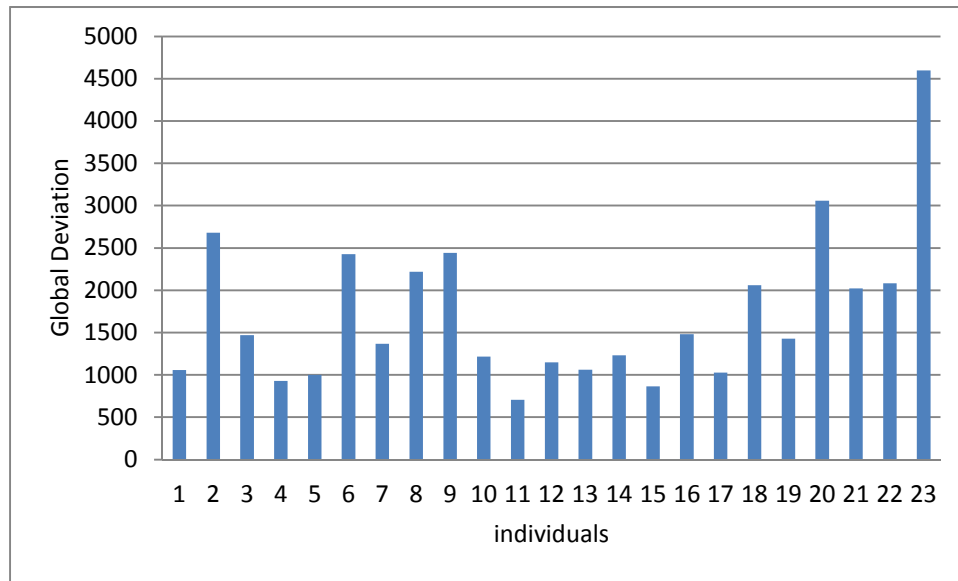


Fig. 11. The Global Deviation for the 23 individuals participated in the study to develop Sudanese voxel phantom

4 DISCUSSIONS

Table 1 contains the volume of selected organs of the Sudanese voxel phantom in addition to the weight and height in comparison with those of ICRP reference man, Golem, Visible Human and Voxel man models.

Table 1. Comparison of organ masses -in gram- and total body height – in centimetre - of Sudanese voxel phantom, ICRP reference man, Golem, Visible Human and voxel man models

Organ	Sudanese Phantom	ICRP reference man	Golem	Visible Human	VOXELMAN
Adrenals	17.5	14	22.8	8.3	4.2
Bladder	61.1	45	68.4	41.4	212
Brain	1399	1400	1218	1574	1230
Eye lenses	0.9	0.4	0.94	0.54	1.55
Gall bladder	8.3	10	8.29	12	22.1
Heart	699.8	330	716	399	629
Kidneys	310.8	310	316	335	512
Liver	1441	1800	1592	1938	1967
Lungs	699.4	1000	747	911	1038
Esophagus	23.9	40	30.1	69.1	43.1
Pancreas	72	100	71.9	82.9	53.2
Prostate	56.8	16	54.7	18.9	29.4
Spleen	153.4	180	174	244	374
Stomach	126.2	150	233	173	345
Testes	23.1	35	21.1	21	116
Thyroid	19.4	20	25.8	27.6	7.1
Trachea	10.4	10	13.7	–	57.8
Total body (Kg)	65	70	68.93	103.176	70.215
Total body height (cm)	174	176	176	180	178

All the phantoms are compared to ICRP reference phantom. We can see that for adrenals, brain, gall bladder, kidneys, testes, thyroid and trachea the relative variation of Sudanese phantom has the minimum variation compared with other phantoms, while for bladder, spleen, total weight and height the values for the Sudanese phantom is near to the minimum values of variation. For eyes lenses, esophagus and pancreas the values for Sudanese phantom are near to the medium. For the heart the variation of the Sudanese phantom is near to the maximum value. In case of liver, lungs and prostate, the

variation has the maximum value. Here we can note that, these values are near to those of Golem. Therefore, we can conclude that, these large variations are due to the large relative variation of the used source model in comparison to ICRP phantom.

5 CONCLUSIONS

In this study, we have developed a Sudanese voxel phantom. To our knowledge, this is the first African nation's specific voxel phantom. This opens the door for other studies to calculate different dosimetric conversion factors more accurately. The relatively simple approach suggested in this work can serve in improving some of new emerging concepts in radiation protection such as developing of virtual population, developing of statistical voxel phantoms [59] and developing a library of patient dependent voxel phantoms for patient-phantom matching.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank GSF institute for the permission to use Golem voxel phantom and Dr Maria Zankel for her appreciated scientific advisements

REFERENCES

- [1] Loevinger R. Distributed radionuclide sources. In AttixFH, Tochilin E, eds. Radiation Dosimetry Volume III, 2nd edn. New York: Academic Press, 1969.
- [2] Ulam SM. On the Monte Carlo method. in Symposium on Large-Scale Digital Calculating Machines, Cambridge, MA 1949; 207-12
- [3] Fisher H, Snyder W. Variation of dose delivered by ¹³⁷Cs as a function of body size from infancy to adulthood. ORNL-4007. Rep. TN 221-28. Oak Ridge, TN: Oak Ridge Natl. Lab. 1966.
- [4] Snyder WS, et al. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. J Nucl Med 1969; 10 (Suppl. 3): 7.
- [5] Snyder WS, Ford MR, Warner G. Estimates of Specific Absorbed Fractions for Photon Sources Uniformly Distributed in Various Organs of a Heterogeneous Phantom. New York.
- [6] Hwang JML et al. Mathematical description of a one- and five-year-old child for use in dosimetry calculations. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory; 1976. ORNL/TM-5293.
- [7] Hwang JML, Shoup RL, Poston JW. Mathematical description of a newborn human for use in dosimetry calculations. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory; 1976. ORNL/TM-5453.
- [8] RM Jones, et al. The development and use of a fifteen-year-old equivalent mathematical phantom for internal dose calculations, Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory; 1976. ORNL/TM-5278.
- [9] Deus SF, Poston JW. The development of a mathematical phantom representing a 10-year-old for use in internal dose calculations. Proceedings of the Symposium on Radiopharmaceutical Dosimetry; Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory; 1976. HEW Publication (FDA) 76-8044.
- [10] Cristy M. Mathematical phantoms representing children of various ages for use in estimates of internal dose. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory; 1980. ORNL/NUREG/TM-367.
- [11] Cristy M, Eckerman KF. Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory; 1987. ORNL/TM-8381.
- [12] R. Kramer et al. The calculation of dose from external photon exposures using reference human phantoms and Monte Carlo methods: Part I. The male (ADAM) and female (EVA) adult mathematical phantoms. Neuherberg-Muenchen: GSF-National Research Center for Environment and Health; 1982. GSF-Report S-885.
- [13] Stabin MG, et al. Mathematical models and specific absorbed fractions of photon energy in the nonpregnant adult female and at the end of each trimester of pregnancy. Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory; 1995. ORNL/TM-12907.
- [14] Gibbs S and Pujol J. A Monte Carlo method for patient dosimetry from diagnostic x-ray. Dentomaxillofac Radiol 1982; 11(25).
- [15] Gibbs S et al. Radiation doses to sensitive organs from intraoral dental radiography Dentomaxillofac Radiol 1987; 16: 67-77.
- [16] Gibbs SJ, Pujol A, Chen TS, et al. Patient risk from interproximal radiography, Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1984; 58(3):347-54.

- [17] ICRP. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values, International Commission on Radiological Protection (ICRP) Publication 89, Pergamon Press, Oxford, 2002.
- [18] International Commission of Radiological Protection. ICRP Publication 110. Adult Reference Computational Phantoms. Amsterdam: Elsevier; 2009.
- [19] Zubal IG, Harrell CR, Smith EO, et al. Computerized three-dimensional segmented human anatomy, *Med Phys* 1994; 21: 299-302.
- [20] Kramer R, Khoury HJ, Vieira JW, et al. All about MAX: A male adult voxel phantom for Monte Carlo calculations in radiation protection dosimetry. *Phys Med Biol* 2003; 48(10): 1239-1262.
- [21] Kramer R, Khoury HJ, Vieira JW, et al. All about FAX: A female adult voxel phantom for Monte Carlo calculation in radiation protection dosimetry. *Phys Med Biol* 2004; 49(23): 5203-5216.
- [22] ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann. ICRP, 37, 1, 2007.
- [23] Kramer R, Khoury HJ, Vieira JW. MAX06 and FAX06: Update of two adult human phantoms for radiation protection dosimetry. *Phys Med Biol* 2006; 51(14): 3331-3346.
- [24] Caon M, Bibbo G and Pattison J. An EGS4-ready tomographic computational model of a 14-year-old female torso for calculating organ doses from CT examinations, *Phys Med Biol* 1999; 44(9) 2213-2225.
- [25] JC Nipper, JL Williams and WE Bolch. Creation of two tomographic voxel models of pediatric patients in the first year of life. *Phys Med Biol* 2002; 47: 3143.
- [26] Lee C, et al. The UF series of tomographic computational phantoms of pediatric patients, *Med Phys* 2005; 32(6): 3537-3548.
- [27] Lee C, et al. Whole-body voxel phantoms of pediatric patients—UF Series B. *Phys Med Biol* 2006; 51:4649.
- [28] Dimbylow PJ. Development of pregnant female, hybrid voxel-mathematical models and their application to the dosimetry of applied magnetic and electric fields at 50 Hz, *Phys Med Biol* 2006; 51: 2383–2394.
- [29] Shi C Xu XG. Development of a 30-week-pregnant female tomographic model from computed tomography (CT) images for Monte Carlo organ dose calculations. *Med Phys* 1994; 31: 2491.
- [30] Cech R, Leitgeb N, Pediaditis M. Fetal exposure to low frequency electric and magnetic fields. *Phys Med Biol* 2007;52(4):879.
- [31] Saito K, et al. Construction of a computed tomographic phantom for a Japanese male adult and dose calculation system. *Radiat. Environ. Biophys* 2001; 40: 69.
- [32] Sato K, et al. Japanese adult male voxel phantom constructed on the basis of CT images. *Radiat Prot Dosim* 2007; 123: 337.
- [33] Sato K, et al. Development of a voxel phantom of Japanese adult male in upright posture, *Radiat Prot Dosim* 2007; 127, p.205.
- [34] Saito K, et al. Construction of a voxel phantom based on CT data for a Japanese female adult and its use for calculation of organ doses from external electrons. *Japanese Journal of Health and Physics* 2008; 43: 122.
- [35] Lee C, Nagaoka T and Lee JK. Implementation of Japanese male and female tomographic phantoms to multi-particle Monte Carlo code for ionizing radiation dosimetry. *J Nucl Sci Technol* 2006; 43: 937.
- [36] Nagaoka T, Kunieda E and Watanabe S. Proportion-corrected scaled voxel models for Japanese children and their application to the numerical dosimetry of specific absorption rate for frequencies from 30 MHz to 3 GHz. *Phys Med Biol* 2008; 53: 6695.
- [37] Sederberg TW, Parry SR. Free-form deformation of solid geometric models. In SIGGRAPH '86: Proceedings of the 13th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. New York: ACM Press; 1986. p151–160.
- [38] Nagaoka T, Watanabe S. Development and application of human voxel models in Japan. *International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Suntec City: Singapore 2006;17:59.
- [39] Nagaoka T and Watanabe S. Postured voxel-based human models for electromagnetic dosimetry. *Phys Med Biol* 2008; 53: 7047.
- [40] Lee C, Lee J and Lee C. Korean adult male voxel model KORMAN segmented from magnetic resonance images. *Med Phys* 2004; 31: 1017.
- [41] Lee C, Lee J. Reference Korean human models: Past, present, and future. In *The Monte Carlo Method: Versatility Unbounded in a Dynamic Computing World*, Chattanooga, TN, 2005 April 17–21.
- [42] Lee C, et al. Development of the two Korean adult tomographic computational phantoms for organ dosimetry. *Med Phys* 2006; 33: 380.
- [43] Choi SH et al. Construction of a highdefinition 'Reference Korean' voxel phantom for organ and tissue radiation dose calculation. In *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, Seoul, Korea, 2006.
- [44] Kim CH, et al. HDRK-Man. A whole-body voxel model based on high-resolution color slice images of a Korean adult male cadaver. *Phys Med Biol* 2008; 53: 4093

- [45] Zhang B, Ma J, Liu L, Cheng J CNMAN. A Chinese adult male voxel phantom constructed from color photographs of a visible anatomical data set. *Radiat Prot Dosim* 2007;124(2): 130-136.
- [46] Zhang G, et al. Organ dose calculations by Monte Carlo modeling of the updated VCH adult male phantom against idealized external proton exposure. *Phys Med Biol* 2008; 53: 3697.
- [47] Zhang G, et al. The development and application of the visible Chinese human model for Monte Carlo dose calculations. *Health Phys* 2008; 94: 118.
- [48] Zhang G, Liu Q and Luo QM. Monte Carlo simulations for external neutron dosimetry based on the visible Chinese human phantom. *Phys Med Biol* 2008;52: 7367.
- [49] Li, J.L. et al. Organ dose conversion coefficients for external photon irradiation using the Chinese Voxel Phantom (CVP), *Radiat Prot Dosim* 2009; 135(1): 33-42.
- [50] Zeng Z, et al. Dose assessment for space radiation using a proton differential dose spectrum. *J Tsinghua Univ (Sci Technol)* 2007; 46: 374.
- [51] Bashira Taleb, Ahmed Khadour, Abadalkader. Reconstruction of head-to-knee voxel model for Syrian adult male of average height and weight, *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine* 2015; 3(2).
- [52] Akhlaghi P1, Hakimabad HM2, Motavalli LR1. Evaluation of dose conversion coefficients for an eight-year-old Iranian male phantom undergoing computed tomography, *Radiation and Environmental Biophysics*, 2015; Volume 54, Issue (4), pp 465-474.
- [53] Parisa Akhlaghi, Hashem Miri Hakimabad, Laleh Rafat Motavalli. Dose estimation for Iranian 11- year-old pediatric phantoms undergoing computed tomography examinations, *Journal of Radiation Research*, 2015; 56(4): 646-655.
- [54] G.A Bilodeau, R Bergevin. Generic Modeling of 3D Objects from single 2D images, *International Conference on Pattern Recognition (ICPR'00)*2000; 1,1770-1773.
- [55] Jalda Dworzak, Hans Lamecker, Jens von Berg et al. 3D Reconstruction of the Human Rib Cage from 2D Projection Images Using a Statistical Shape Model. *Int. J. Computer Assisted Radiology and Surgery* 2010;5(2): 111-124.
- [56] Tal Hassner and Ronen Basri, Example Based 3D Reconstruction from Single 2D Images, *Proceedings of the 2006 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop 2006 IEEE; (CVPRW'06)*: 0-7695-2646-2/06.
- [57] Charlie C. L. Wang, Yu Wang Terry et al. Virtual human modeling from photographs for garment industry. *Computer-Aided Design*2003;(35):577-589.
- [58] Maria Zankl, Alfred Wittmann, The adult male voxel model "Golem" segmented from whole-body CT patient data. *Radiat Environ Biophys* 2001; 40:153–162.
- [59] George X, Tianyu L. Quantifying uncertainty in radiation protection dosimetry using statistical phantoms. Paper presented at: The third international workshop on computational phantoms for radiation protection, imaging and radiotherapy; 2011 Aug 8-9, Tsinghua University, Beijing, China.

Effet des engrais chimiques sur les caractères agronomiques des variétés de cacaoyers dans la région de Daloa (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire)

[Effect of mineral fertilizers on agronomic characters of cacao trees species in the Daloa region (West-Center, Côte d'Ivoire)]

Annick Koulibaly¹, Antoine Philippe Koffi Koffi¹, Mambé Auguste Denise Boyé¹, Mathurin Koffi², and Yatty Justin Kouadio¹

¹Unité de Formation et de Recherche en Agroforesterie,
Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire,

²Unité de Formation et de Recherche en Environnement,
Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2016 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: Côte d'Ivoire became the first world producer of cocoa beans in 1970 by reducing forest cover and by losing biodiversity. The West-central region of the country was a former production site of cocoa, and contributed strongly to the annual supply of cocoa beans, but today, the plantations are old and the soils are poor, especially in the region of Daloa. To increase the yield of production, farmers use artificial fertilizers and the effect on cocoa trees is not really known. Our study aims to determine the agronomic characters improved by the application of the artificial fertilizer. In the plantations of the villages Dibobly, Tien-oula and Zitta, non-experimental and experimental plots were installed and measures on cacao trees on a surface of 2 400m² were realized. The results showed that the cover of flowers by feet and the number of fruits had significantly increased with fertilizer. However, the fertilizer had no really effect on the size of fruits, the mass of fruits and the number of cocoa beans. Also, the varieties of cocoa trees like Forastero and Criollo, had a different productivity for the same application of fertilizer. The productivity of the cocoa trees depends of the quality of the fertilizer but also of the cultivated variety. The results could allow improving the quality of the fertilizer and use it consequently.

KEYWORDS: Agrobiodiversity, agroforestry, cash crop, management, economy.

RESUME: La Côte d'Ivoire est devenue depuis 1970, le premier producteur mondial de fèves de cacao. Cette ascension s'est faite au dépend du couvert forestier et de la biodiversité. Le Centre-Ouest du pays, ancienne centre de production du cacao, contribue encore aujourd'hui à la fourniture annuelle de fèves de cacao, mais les plantations âgées et les sols épuisés ont entraînés une baisse du rendement, surtout dans la région de Daloa. Pour augmenter le rendement des plantations, le paysan à recours à l'utilisation d'engrais chimiques dont l'effet sur le cacao n'est pas véritablement connu. Notre étude a pour but de déterminer les caractères agronomiques améliorés par l'application de l'engrais chimique. Dans les plantations des villages de Dibobly, Tien-oula et Zitta, des parcelles expérimentales et témoins ont été installées et des mesures sur des pieds de cacaoyers couvrant une surface de 2 400m² ont été réalisées. Les résultats ont montré que la couverture en fleurs des pieds et le nombre de cabosses ont significativement augmentés en présence d'engrais. Cependant, l'engrais n'a pratiquement pas eu d'effet sur la taille des cabosses, la masse des cabosses et le nombre de fèves. Aussi, les variétés de cacaoyers Forastero et Criollo, ont une productivité différente pour un même apport d'engrais. La productivité des plantations de cacaoyers est fonction de la qualité de l'engrais mais aussi de l'espèce cultivée. Les résultats pourraient permettre d'améliorer la qualité de l'engrais et de cibler son action pour une meilleure production cacaoyère.

MOTS-CLEFS: Agrobiodiversité, agroforesterie, aménagement, culture de rente, économie.

1 INTRODUCTION

La production de fèves de cacao est à la base de la prospérité économique et sociale de la Côte d'Ivoire, qui est depuis la fin de l'année 1970, le premier producteur mondial de fèves de cacao [1]. La culture du cacao emploie plus de la moitié de la population active et concerne directement environ 600 000 producteurs [1]. Cependant l'installation des plantations s'est fait par un mode extensif, dans des systèmes de cultures itinérantes sur des défriches forestières [2] entraînant la dégradation du couvert forestier et la perte de la biodiversité [3], [4], [5] avec une forte pression actuelle sur les Parc et Réserves, surtout dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire [6].

Le verger de cacaoyer en Côte d'Ivoire est vieillissant, puisque plus de 60% des plantations ont un âge compris entre 11 et 30 ans [7], et les sols sont épuisés [8]. Dans la zone cacaoyère de la région de Daloa, le vieillissement du verger et la baisse de la fertilité des sols [7] sont notables. En plus, il faut noter l'impact de l'invasion des maladies telles que le Swollen shoot qui entraîne la mort des pieds de cacaoyers. Tout ceci conduit à une baisse du rendement de la production cacaoyère. Pour assurer une meilleure production, les paysans ont recours à de l'engrais chimique [9], [8] généralement sans application contrôlée et ne sachant pas quel engrais peut convenir à leur plantation.

Notre étude vise à détecter les effets des engrais chimiques sur la production de cacao dans la région de Daloa (Figure 1). Plus spécifiquement elle a consisté à (1) caractériser les plantations de cacaoyers de la région et à (2) montrer l'influence de l'engrais sur des caractères agronomiques du cacaoyer. Les résultats pourraient permettre d'améliorer la qualité de l'engrais et de cibler son action pour une meilleure production cacaoyère.



Fig. 1. Localisation des sites de relevés dans la région de Daloa

2 METHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

La région de Daloa est située au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, dans la région administrative du Haut-Sassandra. Le climat de la région est tropical humide avec une pluviométrie annuelle oscillant entre 1200 et 2000 millimètres d'eau [10]. La température moyenne annuelle est de 26°C. La végétation appartient au secteur mésophile avec des forêts denses humides semi-décidues, des forêts mésophiles et des savanes humides [11]. Les relevés ont été installés dans des plantations des villages de Zitta, Dibobly et Tien-oula (Figure 1) identifiées à travers la collaboration entre les coopératives de la région et la société YARA.

2.2 MÉTHODES DE RELEVÉS

L'historique des plantations a été relevé à travers une enquête auprès du propriétaire de la plantation afin d'apprécier les conséquences d'actions antérieures à notre travail. Dans les plantations de chaque village, deux parcelles de 20 m de côté, distantes de 100 m, ont été installées. Chacune des parcelles est ensuite subdivisée en carrés de 4 m de côté, soit 16 carrés. Ces carrés sont ensuite numérotés à l'aide de lettres de l'alphabet (Figure 2a). A l'intérieur de chaque carré les arbres ont été numérotés en prenant en compte la lettre attribuée au carré et les lignes verticales de disposition des arbres selon l'exemple du carré U (Figure 2b). La parcelle considérée comme témoin n'a reçu aucun traitement. La parcelle voisine, est la parcelle expérimentale sur laquelle l'engrais composé de mélange de FERTI1 : 00 % N + 23 % P + 19 % K + CaO + S + MgO et FERTI2 : 15.5% N + 18% Ca + 0.3% B, a été répandu. L'épandage des engrais s'est fait en deux phases. La première phase s'est déroulée en Avril et la seconde en Août 2014. Chaque pied de cacaoyer a reçu 250 mg d'engrais épandu suivant un cercle de rayon compris entre 0,60 cm et 1 m selon que le cacaoyer était jeune ou vieux.

Les caractères agronomiques retenus étaient la couverture en fleurs par pied, le nombre de cabosses par pied, les caractères des cabosses (taille, longueur, masse et nombre de fèves). Les données concernant la couverture en fleurs ont été collectées en Juillet 2014. Selon que le degré, la floraison pouvait être nul ; compris entre 0 et 20% ; compris entre 20 et 40% ; compris entre 40 et 60% ; supérieure à 60% et les codes respectifs 0 ; 1 ; 2 ; 3 ; 4 ont été utilisés. Pour le nombre de cabosses par pied de cacaoyer, un dénombrement a été fait depuis le collet de l'arbre jusqu'à la cime. La mesure des caractères des cabosses s'est faite après la récolte. 100 cabosses ont été tirées une à une au hasard de sorte à ce que toutes les cabosses aient la même probabilité d'être tirées. En procédant ainsi, les caractères obtenus pouvaient avoir une bonne représentativité de celles de toute la récolte. D'abord la taille et la longueur ont été déterminées avec le ruban mètre. Ensuite la cabosse a été déposée dans une balance afin de déterminer sa masse, puis elle a été ouverte pour déterminer le nombre de fèves.

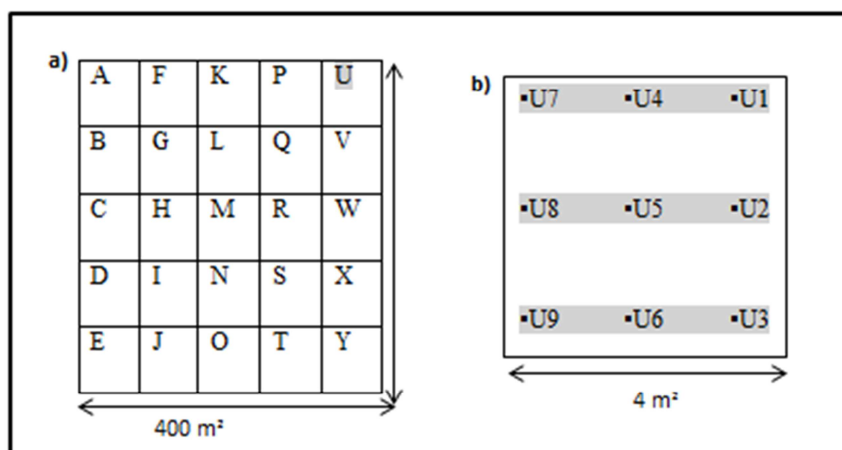


Fig. 2. Dispositif de relevés dans les plantations de cacaoyers de la région de Daloa. a) Subdivision des parcelles en carrés. b) numérotation des pieds de cacaoyers.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISATION DES PLANTATIONS DE CACAOYERS

La phytodiversité des plantations de cacaoyers se répartie en différents groupes : les pieds de cacaoyers, les autres cultures et les espèces naturelles conservées ou introduites dans la plantation (Tableau 1). Les variétés de cacaoyers appartiennent essentiellement au Forastero et au Criollo, avec une dominance du Forastero sur tous les sites (Figure 3). Les autres espèces sont généralement la banane et le taro, le café, l'igname sauvage, le manioc et l'ananas. Les espèces non cultivées se composent d'espèces telles que *Mangifera indica* (Anacardiaceae), *Ficus exasperata* (Moraceae), *Morinda lucida* (Rubiaceae), *Anthonota macrophylla* (Rubiaceae) ; *Vitellaria paradoxa* (Sapotaceae). La densité de ces dernières espèces est de 37,5 pieds/ha, 0 pieds/ha et 87,5 pieds/ha respectivement obtenues à Dibobly, Tien-oula et Zitta. La densité des pieds cacaoyers est relativement proche sur les parcelles de relevés avec une moyenne de 1429 pieds. La densité des autres

cultures est élevée de plus de 1000 pieds/ha sur le site de Zitta et est largement supérieure à celle de Dibobly et de Tien-oula. Aucune espèce non cultivée n'a été relevée sur les plantations de Tien-oula.

Tableau 1: Liste des espèces dans les plantations de cacaoyers de la région de Daloa.

Sites	Espèces	Familles
Dibobly	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Musaceae
	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	Araceae
	<i>Ficus exasperata</i> Vahl	Moraceae
	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae
	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Musaceae
Tien-oula	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	Araceae
	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Musaceae
	<i>Coffea</i> sp.	Rubiaceae
	<i>Dioscorea</i> sp.	Dioscoreaceae
	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.	Bromeliaceae
Zitta	<i>Manihot esculenta</i> Crantz.	Euphorbiaceae
	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq	Arecaceae
	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae
	<i>Bligia sapida</i> K. D. Koenig	Sapindaceae
	<i>Citrus</i> sp.	Rutaceae
	<i>Ficus exasperata</i> Vahl,	Moraceae
	<i>Anthonot macrophylla</i> P. Beauv.	Rubiaceae
	<i>Vitellaria paradoxa</i> C.F.Gaertn.	Sapotaceae
	<i>Morinda Lucida</i> Benth.	Rubiaceae

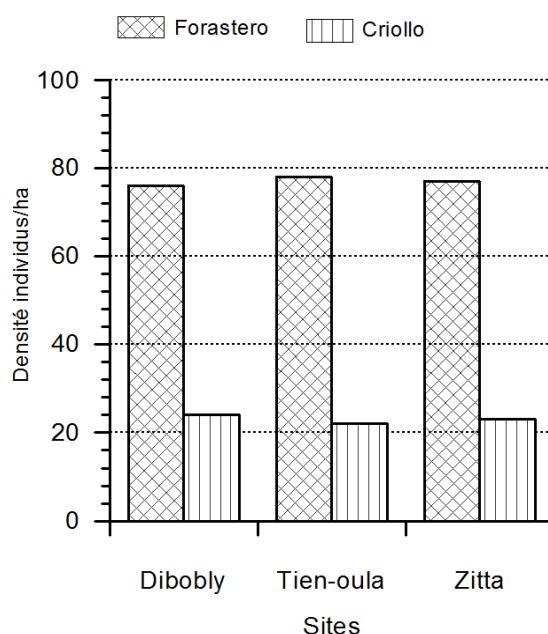


Fig. 3. Distribution des espèces de cacaoyers entre les sites d'étude dans la région de Daloa

3.2 EFFETS DES FERTILISANTS SUR DES CARACTERES AGRONOMIQUES

3.2.1 EFFETS DES FERTILISANTS SUR LA VARIÉTÉ FORASTERO

Il n'y a pas de différence signification entre la parcelle témoin et la parcelle expérimentale pour la taille de la cabosse dans tous les sites étudiés (Tableau 2). Une différence significative est obtenue cependant pour la masse des cabosses et le nombre de fèves uniquement à Tien-oula. La masse moyenne de la cabosse est augmentée de 0,18kg et le nombre de fèves passe de 39 à 44. L'application de l'engrais a favorisé l'augmentation du nombre moyen de fèves par cabosse de 5,21 fèves. L'amendement en engrais a eu un effet hautement significatif sur la couverture en fleur et le nombre de cabosse sur tous les sites.

Tableau 2: Effet des engrais sur des caractères agronomiques du cacaoyer entre les sites de relevés. D : Dibobly, T : Tien-oula, Z : Zitta. Test Anova et LSD de Fisher. P : signification, *significatif, ** hautement significatif

Variétés de cacaoyer	Caractères agronomiques	Sites	Valeur de P
Forastero	Taille de la cabosse	D	0,518
		T	0,054
		Z	0,102
	Masse de la cabosse	D	0,814
		T	0,001*
		Z	0,054
	Nombre de fèves	D	0,653
		T	0,002*
		Z	0,381
	Couverture en Fleurs	D	0,001**
		T	0,001**
		Z	0,001**
Criollo	Taille de la cabosse	D	0,001*
		T	0,007*
		Z	0,001*
	Masse de la cabosse	D	0,068
		T	0,694
		Z	0,333
	Nombre de fèves	D	0,004**
		T	0,222
		Z	0,834
	Couverture en Fleurs	D	0,633
		T	0,121
		Z	0,843
	Nombre de cabosses	D	0,677
		T	0,001**
		Z	0,017*
		D	0,332
		T	0,001**
		Z	0,149

3.2.2 EFFETS DES FERTILISANTS SUR LA VARIÉTÉ CRIOLLO

La taille des cabosses et le nombre des fèves ne varient pas entre les parcelles expérimentales et témoins Sur tous les sites (Tableau 2). Pour la masse moyenne des cabosses, elle varie fortement et uniquement à Dibobly ou elle est augmentée de 0,20 kg sous l'effet des engrais. L'application des engrais a eu un effet hautement significatif sur la couverture en fleur et le nombre de cabosses de cacaoyer à Tien-oula. A Zitta la différence est significative uniquement pour la couverture en fleurs. A Dibobly, il n'y a aucun effet sur la couverture et sur le nombre de cabosses.

3.2.3 EFFETS DES FERTILISANTS ENTRE LES DEUX VARIÉTÉS

La comparaison de l'effet de l'engrais entre les deux variétés montre que l'engrais n'a pas d'effet sur la taille des cabosses quel que soit l'espèce (Tableau 2). Pour les deux variétés, l'amendement entraîne une augmentation hautement significative de la couverture en fleurs et du nombre de cabosses avec un effet plus notable chez le Forastero. Le nombre de fèves ne varie pas chez le Criollo malgré l'amendement en engrais. Pour le Forastero, une différence significative est enregistrée à Tien-oula.

4 DISCUSSION

4.1 CARACTÉRISTIQUES DES PLANTATIONS DANS LA RÉGION DE DALOA

Les caractéristiques des plantations révèlent que La culture du cacaoyer se fait en association avec plusieurs espèces dont des cultures vivrières, des arbres fruitiers, des espèces forestières conservées ou introduites. Ce constat a été fait dans d'autres régions de la Côte d'Ivoire telles que la région de la Réserve de Lamto et de Oumé ([12], [13], [14]) et pour les mêmes espèces quelques fois comme *Mangifera indica* L., *Citrus sinensis* et *Citrus reticulata* signalées dans des cacaoyères au sud du Cameroun [15]. Les raisons de conservation de certaines espèces dans les plantations sont dues à leur utilité dans plusieurs domaines de la vie quotidienne des populations.

Les densités de 37,5 pieds/Ha, 0 pieds/Ha et 87,5 pieds/Ha respectivement obtenues à Dibobly, Tien-oula et Zitta pour les espèces non cultivées, ne sont pas proches entre les sites comme l'a constaté [16] dans la région Centre du Cameroun. Dans une analyse qualitative des systèmes de cacao-culture, les densités d'arbres associés aux cacaoyers qu'il a observés à Okola, Ebolowa et Mbalmayo étaient respectivement de 119, 151 et 196 tiges à l'hectare. Cette nette différence entre les densités d'arbres associés aux cacaoyers selon la localité pourrait être liée à l'ethnie du producteur. En effet la densité des espèces associées aux cacaoyers dans la région d'Oumé variaient avec l'appartenance ethnique du paysan [13].

A l'exception de la densité obtenue à Dibobly, les deux autres densités à Tien-oula et Zitta diffèrent largement de celle obtenue en Côte d'Ivoire (entre 17 et 56 pieds/Ha) [17]. La densité moyenne des pieds de cacaoyers dans la région de Daloa est supérieure à la norme recommandée par la recherche agronomique qui est de 1333 pieds /Ha [18]. Pour limiter les pertes occasionnées par la mortalité des pieds en liaison avec le stress, la pression parasitaire et les erreurs de repiquages, le paysan plante un nombre élevé de pieds de cacaoyers sans respecter même l'espacement des pieds. Cette attitude est surtout due au fait que les paysans sont en majorité (54%) analphabètes [7]. Cependant, il faut noter que ces valeurs sont proches de la moyenne de 1500 pieds/Ha déterminée lors de l'étude des caractéristiques des vergers de cacaoyers en Côte d'Ivoire [7].

4.2 EFFETS DES ENGRAIS SUR LES CARACTERES AGRONOMIQUES DU CACAOYER

Sur la totalité des champs qui ont servi à notre étude, le Forastero et le Criollo sont les variétés de cacaoyer les plus cultivées. La dominance de la variété Forastero est compréhensible par le fait qu'elle est la variété la plus cultivée au monde (Maylis, 2007, *non publié*). En plus en Côte d'Ivoire et singulièrement au Centre-Ouest, le mode de mise en place des plantations se fait préférentiellement (64%) à partir du matériel végétal tout venant [7] augmentant la probabilité pour la variété la plus commune d'être dominante dans les plantations. L'absence d'influence sur la taille des cabosses et la faible influence sur la masse moyenne des cabosses ainsi que le nombre de fèves serait dû à une insuffisance des minéraux reçus par les cacaoyers. En effet, Il s'agit d'une première année de traitement et cela pourrait s'avérer insuffisant pour combler totalement les carences des sols souvent épuisés par les cultures répétitives.

Ainsi une première phase d'amendement pourrait soit manquer d'améliorer le rendement soit le faire modestement. Ces deux cas sont illustrés par les travaux dans d'autres régions cacaoyères de la Côte d'Ivoire, de 1973 à 1983 à Divo, Zagné et Soubré [8]. A Divo, l'application d'un engrais minéral sur les cacaoyers n'a pu produire une différence entre l'expérimental et le témoin durant la première année. A Zagné en 1976 et à Soubré en 1977 l'amendement minéral apporté aux cacaoyers a produit un effet moindre la première année. Cependant, d'après ces mêmes travaux, en répétant les amendements au fil des années l'influence positive des engrais minéraux sur le rendement s'est fortement améliorée. L'augmentation de la couverture en fleur serait due à l'action du phosphore contenu dans l'engrais. Les résultats de plusieurs essais corroborent le rôle majeur du phosphore dans la stimulation de la floraison [19]. Aussi, une correction phosphatée et un équilibre K-Ca-Mg serait nécessaire à l'amélioration de la floraison du cacaoyer [20]. Une bonne floraison entraîne un nombre moyen élevé de cabosse dans les conditions normales comme on le constate sur tous les sites chez le Forastero.

La taille des cabosses ne varie pas avec l'application de l'engrais quel que soit la variété de cacaoyer cultivée. Cependant le nombre de ces cabosses augmente significativement, surtout chez le Forastero. Ce nombre de cabosse élevé est la conséquence d'une couverture dense de fleur suite à une amélioration de la floraison par des engrais riches en minéraux adéquats. Le nombre de fèves du Criollo ne varie pas malgré un apport d'engrais contrairement au Forastero. Concernant la masse des cabosses, l'effet est plus ou moins identique pour les deux variétés. La plupart des travaux d'essai d'engrais sur les cacaoyers pour l'analyse du rendement ne font pas de distinction entre ces deux variétés en Côte d'Ivoire et au Cameroun [20]. Ces deux variétés seraient pratiquement équivalentes du point de vue des besoins en minéraux et donc auraient la même sensibilité aux engrais. Ce travail montre qu'il y existe une différence nette entre ces variétés puisque l'effet de l'engrais sur des caractères agronomiques varie d'une variété à l'autre.

5 CONCLUSION

La dynamique d'extension des plantations de cacaoyers depuis 1970 sur les fronts pionniers par abattage de la forêt et brûlis a permis au verger de cacaoyer ivoirien de connaître une progression historique et géographique de l'Est vers l'Ouest du pays. Aujourd'hui cette région semble moins propice au développement du cacaoyer sans apports additif d'intrants. Même si les pratiques agro-forestières persistent par l'association d'espèces d'autres cultures et la conservation de plantes naturelles dans les plantations, le constat est que cette pratique n'entraîne pas une production agricole satisfaisante. Les paysans de la région de Daloa ont recours aux engrais chimiques de diverses qualités pour améliorer les rendements de leurs plantations. Notre travail a montré que les engrais ont un impact sur certains caractères agronomiques en fonction de leur qualité et en fonction des variétés de cacaoyers cultivées. La densité des cacaoyers diffère d'une plantation à l'autre et est largement supérieure à la norme prescrite par la recherche en Côte d'Ivoire. La variété de cacao majoritairement cultivée est le Forastero, suivi du Criollo. L'utilisation d'engrais en première année d'amendement, conduit à des différences entre les parcelles expérimentales et les parcelles témoins. Dans l'ensemble les engrais n'ont pas eu d'effet notable sur la taille des cabosses, leur masse et le nombre de fèves alors que la couverture en fleur et le nombre de fruits par cacaoyer ont été significativement améliorées. Serait-il possible de concevoir un engrais capable d'augmenter encore plus la couverture florale des pieds de cacaoyers des variétés les plus cultivées? Quel caractère garantirait une meilleure production après l'application de l'engrais ?

REMERCIEMENTS

Nous exprimons nos sincères remerciements à la Société YARA, fournisseur d'engrais, pour le financement de cette étude. Notre reconnaissance va également à l'endroit de Monsieur Maxime Ouattara, Représentant de YARA dans la région du Haut Sassandra, pour avoir facilité l'accès aux plantations et la collecte des données. Nous exprimons notre profonde gratitude aux chefs de villages et aux propriétaires des plantations que nous avons étudiées.

RÉFÉRENCES

- [1] L. J. ESSO, Politique économique et développement: dynamique des recettes du café et du cacao en Côte d'Ivoire. PED N°10. CIRES. 19p., 2009.
- [2] E. H. Freud, P. Petithuguenin & J. Richard, *Les champs de cacao : un défi de compétitivité Afrique - Asie*. Karthala et CIRAD, Paris, France. 207 p., 2000.
- [3] V. M. Manyong, J. Smith, G. Weber, S. S. Jagtap, and B. Oyewole, *Macro characterization of agricultural systems in West Africa: An overview*. Resource and Crop Management Monograph, no. 21, IITA, Ibadan, 1996.
- [4] A. Koulibaly, D. Goetze, S. Porembski, D. Traoré and Aké-Assi, L. (a) *Vegetation characteristics and changes under cash crop cultivation in forest-savanna mosaics in Côte d'Ivoire*. In: X. van der Burgt, J. van der Maesen & J.-M. Onana (Eds), *Systematics and Conservation of African Plants*, Royal Botanic Gardens, Kew. pp. 805–814, 2010.
- [5] A. Koulibaly, N'.F.Kouamé, D. Traoré and S. Porembski, (b) *Structure et régénération de la végétation ligneuse, le long de transect forêts-savanes, dans la région de la réserve de Lamto (Côte d'Ivoire)*. Annales de Botaniques de l'Afrique de l'Ouest, vol. 6, pp. 56-72, 2010.
- [6] A. A. Y. Assale, Y. S. S. Barima, K. A. Kouakou, A. T. M. Kouakou and J. Bogaert, "Agents de dégradation d'une aire protégée après une décennie de conflits en Côte d'Ivoire : cas de la forêt classée du Haut-Sassandra" *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 22, no. 3, pp. 123-133, 2016.
- [7] A. A. Assiri, G. R. Yoro, O. Deheuvels, B. I. Kebe, Z. J. KELI, A. ADIKO et A. ASSA, Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire *Journal of Animal and Plant Sciences*, vol 2, pp. 55-66, 2009.

- [8] Snoeck Didier, Koko Louis, Joffre Joël, Bastide Philippe, Jagoret Patrick. Cacao nutrition and fertilization In: Sustainable Agriculture Reviews. Lichtfouse Eric. (Eds.), Springer International Publishing, E-Publishing Inc, pp. 155-202, 2016.
- [9] Koffi, N'Goran, *Réflexions sur un Système de Production Durable du Cacaoyer: Cas de la Cote d'Ivoire*. [Online] Available: <https://nationalzoo.si.edu/scbi/migratorybirds/research/cacao/koffi2.cfm>, 1998.
- [10] C. Y. Koffie-Bikpo, K. S. Kra, "La région du Haut-Sassandra dans la distribution des produits vivriers agricoles en Côte d'Ivoire", *Revue de Géographie Tropicale et Environnement*. No. 2, 2013.
- [11] Guillaumet J. L. and Adjanohoun E., *La végétation de la Côte d'Ivoire*. In : Le Milieu Naturel de la Côte d'Ivoire. ORSTOM, Paris (France) pp. 161-262, 1971.
- [12] Koulibaly A. Caractéristiques de la végétation et dynamique de la régénération, sous l'influence de l'utilisation des terres, dans des mosaïques forêts-savanes, des régions de la Réserve de Lamto et du Parc National de la Comoé, en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, 150 p. 2008.
- [13] S.C. Piba, A. Koulibaly, D. Goetze, S. Porembski & D. Traoré. Diversité et importance sociale des espèces médicinales conservées dans les agrosystèmes cacaoyers au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Annales de Botanique de l'Afrique de l'Ouest*, vol. 7, pp. 80 – 96, 2011.
- [14] D. Konan, Goetze D. , A. Koulibaly, S. Porembski et D. Traore. Etude comparative de la flore ligneuse des plantations de cacaoyers en fonction de l'âge et les groupes ethniques dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Annales de Botaniques de l'Afrique de l'Ouest*, vol. 7, pp. 59 – 79 , 2011.
- [15] Sonwa D. J. , Weise S. F. , Tchatat M. , Nkongmeneck A. B. , Adesina . , Ndoeye O. et Gockowski J. Les agroforêts cacao : espace intégrant développement de la culture, gestion et conservation des ressources forestières au sud cameroun. Paper presented at the second Pan Africa Symposium on "The sustainable use of natural resources in Africa ". Ouagadougou, Burkina faso : 24-27 . (July 2000).
- [16] Kwasie Petguen Jacques Marcien. Analyse qualitative des systèmes de cacaoculture dans la region du centre, Cameroun. Mémoire de fin d'année. [Online] Available: http://www.memoireonline.com/01/13/6852/m_Analyse-qualitative-des-systemes-de-cacaoculture-dans-la-region-du-centre-Cameroun0.html, 2010.
- [17] F. Herzog, "Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire". *Agroforestry system* vol. 27, pp. 259-267, 1994.
- [18] Boubacar Ismaël Kébé, N'guessan Kouamé François, Tahi Gnion Mathias, Assiri Assiri Alexis, Koko Louis Kan, Kohi N'goran Jeanne, Irié Bi Zahouli, Koffi N'goran. Bien cultiver le cacaoyer en Côte d'Ivoire. [Online] Available: <http://cnra.ci/downloads/ftech%20cacao%20ver2009.pdf>
- [19] Christian S., C. M. Jean et D. Jacques. *Guide de fertilisation raisonnée*. Ed. France Agricole. 414 pages, 2005.
- [20] R. Lotodé et P. Jadin. "Calcul des besoins en engrais des cacaoyers Café Cacao Thé", vol 25. No.1 1981.

EAU, HYGIENE ET ASSAINISSEMENT DANS LA COMMUNE D'ALLADA AU BENIN

A. GREGOIRE BEWA¹, C. ROCH JOHNSON¹, S. CHRISTOPHE HOUSSOU², and MICHEL BOKO¹

¹Centre Inter Facultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED),
Université d'Abomey Calavi (UAC), Cotonou, Benin

²Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université d'Abomey Calavi (UAC), Cotonou, Benin

Copyright © 2016 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 the optics to impregnate themselves of the realities concerning hygiene and purification in the township of Allada in Benin, 600 chiefs of household identified by probabilistic sampling have been interviewed in order to study the relative indicators of hygiene and purification. Besides, a qualitative approach consisting in an observation of the women having in charge of the children of less than 5 years has been adopted in order to document the different convenient concerning manipulations of the stools. It is evident from this survey that the level of hygiene and purification is relatively weak in the township of Allada. A total of 69.5% of the households has access to the drinking water and only 37,2% of the households have latrines at home. The worn-out waters and the strong garbage (except 21,2% collected by the non-government organization of pre-collection) are rejected directly almost in the nature by the - totality of the households. This survey demonstrated a tie between the type of dwelling and the existence of latrine ($p < 10^{-5}$), as well as a tie between the level of instruction and purification ($p < 10^{-5}$). Also, a link exists between the religious factor and the existence of latrine by the families ($p < 10^{-5}$). On the other hand no tie has been put in evidence between the religious factors and the knowledge of the illnesses bound to hygiene and purification ($p = 0,004$).

KEYWORDS: Benin, Water, Hygiene, Purification, Allada.

RESUME: Dans l'optique de s'imprégner des réalités en matière d'hygiène et d'assainissement dans la commune d'Allada au Bénin, 600 chefs de ménage identifiés par échantillonnage probabiliste ont été interviewés en vue d'étudier les indicateurs relatifs à l'hygiène et l'assainissement. De plus, une approche qualitative consistant en une observation des femmes ayant en charge des enfants de moins de 5 ans a été adoptée en vue de documenter les différentes pratiques en matière de manipulations des selles. Il ressort de cette étude que le niveau d'hygiène et d'assainissement est relativement faible dans la commune d'Allada. Un total de 69,5 % des ménages ont accès à l'eau potable et seulement 37,2 % des ménages disposent de latrines à domicile. Les eaux usées et les déchets solides (sauf 21,2% collectés par les ONG de pré-collecte) sont rejetés directement dans la nature par la quasi- totalité des ménages. Cette étude a démontré un lien entre le type d'habitation et l'existence de latrine ($p < 10^{-5}$), de même qu'un lien entre le niveau d'instruction et l'assainissement ($p < 10^{-5}$). Il y a aussi un lien entre le facteur religieux et l'existence de latrine par les familles ($p < 10^{-5}$). Par contre aucun lien n'a été mis en évidence entre les facteurs religieux et la connaissance des maladies liées à l'hygiène et à l'assainissement ($p = 0,04$).

MOTS-CLEFS: Bénin, Eau, Hygiène, Assainissement, Allada.

1 INTRODUCTION

L'accès à l'eau potable, à l'hygiène et l'assainissement est fondamental pour une bonne santé et un développement économique et social [15]. Cependant dans le monde, plus d'un tiers de la population n'a pas accès à des services d'assainissement amélioré. En 2008 environ 2,6 milliards de personnes n'ont pas accès à des services d'assainissement de

base comme les toilettes ou les latrines [16] et [15]. En Afrique subsaharienne, environ 550 millions de personnes ne disposent pas d'installation d'assainissement amélioré et 80 % parmi ceux-ci vivent en milieu rural [5]. Cette situation représente un obstacle important et constant au développement humain durable. L'impact sur la santé d'une couverture mondiale insuffisante en assainissement est particulièrement sensible. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime que 7 % des décès au monde et 8 % de la charge mondiale de morbidité sont dus à des maladies liées à un manque d'assainissement [19]. Mais depuis 2008, année internationale de l'assainissement, on observe une prise de conscience des décideurs des pays africains par rapport à l'importance de l'hygiène et de l'assainissement dans le développement et la lutte contre certaines maladies.

Au Bénin le gouvernement a intégré l'accès aux services d'assainissement dans la stratégie nationale de croissance, de réduction de la pauvreté et de lutte contre les maladies. En effet les maladies dues à l'hygiène comme les diarrhées constituent un grand problème de santé publique dans ce pays. Selon les statistiques sanitaires 2006, la diarrhée est la quatrième cause de morbidité parmi les enfants de moins de 5 ans et sa létalité est plus élevée parmi la tranche d'âge de 0 à 11 mois où elle est de 37%. Ceci est dû au fait qu'à peine 31% des ménages disposent d'endroit de lavage des mains ; 74% des ménages se débarrassent encore des ordures ménagères en les jetant dans la nature ou au dehors ; 66% des ménages n'ont accès qu'à des toilettes non améliorées et 77% ne disposent d'aucun type de toilettes et 76% des ménages évacuent leurs eaux usées dans la nature[12].

La commune d'Allada fait partie des communes rurales du Bénin. Selon sa monographie moins de 5% de la population de la commune bénéficie d'un réseau d'eau potable et le volet hygiène et assainissement ne prend en compte que la gestion des excréta (Afrique Conseil, 2006). Les études antérieures effectuées dans cette commune mettent en évidence la présence de plusieurs maladies environnementales comme l'ulcère de Buruli et la schistosomiase [23]. On ne note aucune information actualisée sur l'hygiène et l'assainissement dans cette commune. Cette étude vise à faire l'état des lieux dans le secteur de l'hygiène et l'assainissement dans cette commune en 2013, en vue de mettre en évidence les principaux indicateurs ainsi que les principaux facteurs qui les influencent.

2 CADRE ET METHODE D'ÉTUDE

L'étude s'est déroulée dans la commune d'Allada qui est une subdivision administrative du département de l'Atlantique au Bénin (figure 1). Il s'agit d'une étude transversale, descriptive et analytique. Trente grappes de vingt chefs de ménages, ont été sélectionnées dans toutes les subdivisions administratives de cette commune selon un échantillonnage aléatoire en grappe en deux degrés. Chaque arrondissement a été considéré comme une strate et à l'intérieur de chaque strate, un nombre de grappe proportionnel à la taille de chaque strate a été déterminé. Les personnes ainsi sélectionnées ont été interrogées à l'aide d'un questionnaire conçu à cette fin et pré-testé avant le déroulement de l'enquête. Pour compléter les données recueillies auprès des chefs de ménages, une étude qualitative et observationnelle consistant en des interviews approfondies a été menée auprès des femmes ayant à charge des enfants de bas âge. A leur niveau, il a été observé surtout les pratiques de manipulation des selles des enfants. Les enfants (5 ans ou plus) ont été aussi observés et interrogés dans leur milieu de vie. Pour ces derniers, l'accent a été essentiellement mis sur l'observation des pratiques d'hygiène, en l'occurrence l'utilisation ou non de latrines et le lavage ou non des mains après défécation.

Les variables étudiées sont de trois ordres. Il s'agit des variables sociodémographiques (l'âge, le sexe, la profession, l'ethnie, la religion, le type d'habitat), des variables environnementales (sources d'eau de boisson, présence ou non de latrines à domicile, gestion des eaux usées et gestion des ordures ménagères) et des variables sanitaires (Connaissance des chefs de ménage sur les maladies liées à l'environnement, les maladies liées à l'environnement). Les diverses informations recueillies ont été traitées et analysées de deux manières. D'une part, le traitement manuel des données qualitatives recueillies auprès des femmes et des enfants et d'autre part le traitement informatique des données recueillies par questionnaire auprès des chefs de ménage. Ces questionnaires ont été saisis et analysés dans le logiciel épi info version 7. Les intervalles de confiance à 95 % ont été calculés pour l'estimation des indicateurs relatifs à l'hygiène et l'assainissement. Le test de chi carré de Pearson et le test exact de Fisher ont été utilisés pour étudier l'association entre deux variables qualitative au seuil de 5 %.

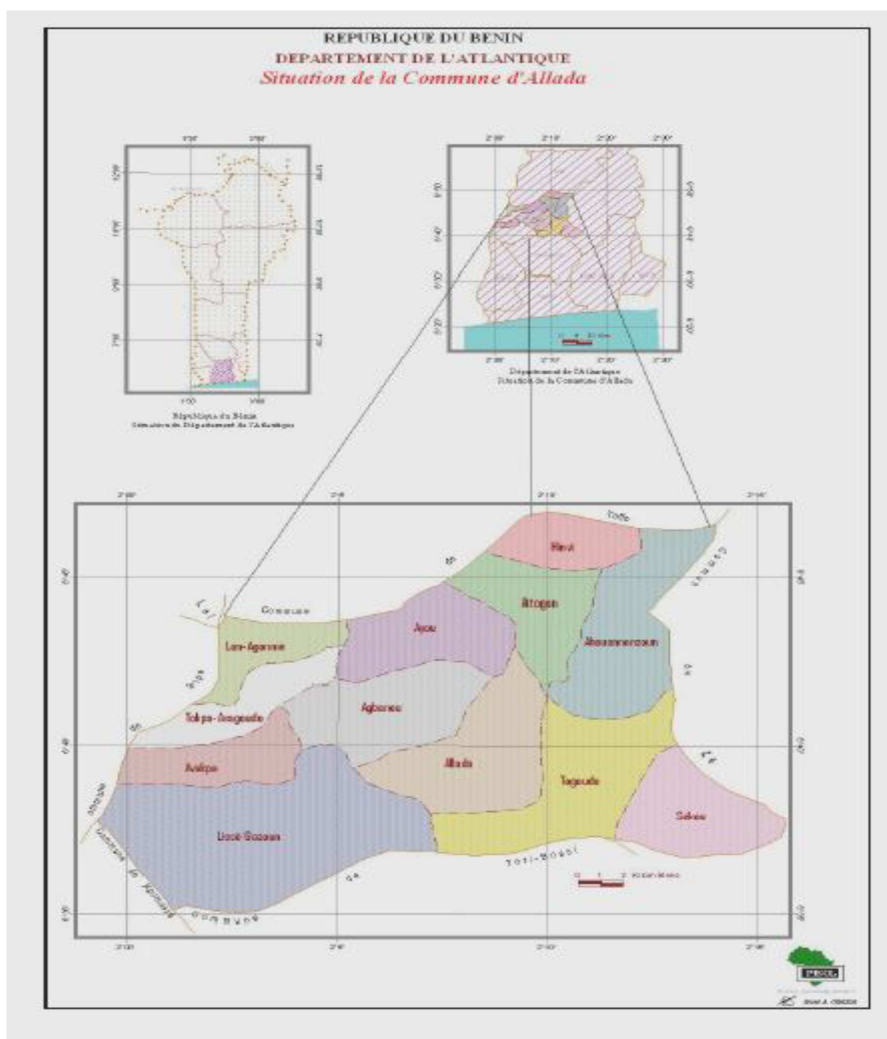


Figure 1. Carte administrative de la commune d'Allada

3 RÉSULTATS

3.1 RESULTATS DES CHEFS DE MENAGES INTERROGES

3.1.1 CARACTÉRISTIQUES SOCIODÉMOGRAPHIQUES

L'Age : L'âge minimum des chefs de ménage interrogés est de 13 ans et l'âge maximum de 80 ans. La moyenne d'âge est de 33,1625 ans, le mode de 25 et l'écart type de 11,2555.

En dehors de l'âge, certains paramètres sociodémographiques sont importants dans le domaine de l'hygiène et de l'assainissement. Ces paramètres sont présentés dans le tableau I.

Tableau I : Caractéristiques sociodémographiques des chefs de ménages

Variables	Modalités	Fréquence	%	IC à 95%
Sexe	Masculin	473	79	[75,43-82,12]
	Féminin	126	21	[17,88-24,57]
	Total	599	100,00	
Ethnie	Aïzo	382	63,8	[59,76-67,60]
	Fon	154	25,7	[22,29-29,44]
	Autres (Adja, Goun et yoruba)	43	10,5	[7,71-14,54]
	Total	600	100,00	
Religion	Traditionnelle	323	53,92	[49,84-57,96]
	Révélee	276	46,08	[42,04-50,16]
	Total	599	100,00	
Niveau scolaire	Aucun niveau	561	93,5	[91,14-95,28]
	Primaire et plus	39	6,5	[4,72-8,86]
	Total	600	100,00	
Profession	Agriculteur/Ménagère	500	83,4	[75,42- 91,47]
	Ouvrier*	42	7,0	[5,15- 9,42]
	Artisan	56	9,3	[7,18- 12,02]
	Cadre	2	0,3	[0,06- 1,34]
	Total	600	100,00	

Ouvrier* regroupe : mécanicien, couturière, soudeur, chauffeur, maçon, photographe etc.

Source : travaux de terrain, 2013

*Religion : Pour des besoins de synthèse, la variable religion a été agrégée en deux composantes regroupant les religions importées et celle traditionnelle.

3.1.2 PROVENANCE GÉOGRAPHIQUE DES ENQUÊTÉS

La situation en matière d'hygiène et d'assainissement varie d'un arrondissement à un autre au sein de la commune. La figure 2 présente la provenance géographique des chefs de ménages interrogés.

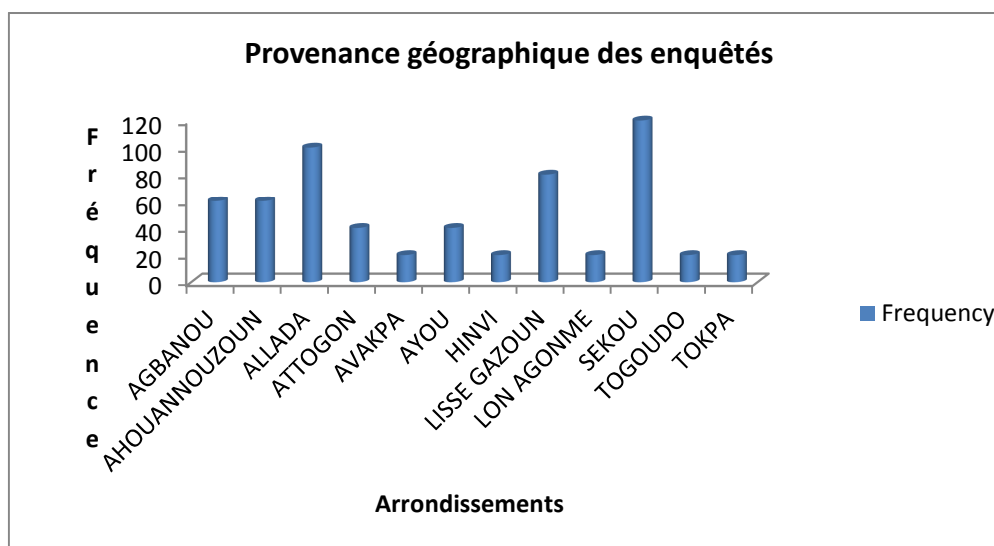


Figure 2. Provenance géographique des ménages

3.1.3 LES PRINCIPAUX INDICATEURS DE L'HYGIENE ET DE L'ASSAINISSEMENT DANS LA COMMUNE D'ALLADA

Ces indicateurs regroupent essentiellement les sources d'eau utilisées ainsi que l'existence de latrines dans les ménages et sont présentés dans le tableau II.

Tableau II : Indicateurs relatifs à l'eau et à l'assainissement dans la commune d'Allada

Sources prioritaires d'approvisionnement en eau	Fréquence	%	IC 95%
Borne Fontaine	417	69,5	[64,2-75,39]
Citerne	102	17,0	[14,13-20,30]
Puits moderne	19	3,2	[1,97-4,99]
Source traditionnelle	62	10,3	[8,07-13,12]
Total	600	100,00	
Latrines			
Non	377	62,8	[58,81-66,69]
Oui	223	37,2	[33,31- 41,19]
Total	600	100,00	

Source : Travaux de terrain, 2013

Pour les ménages disposant de latrines, nous nous sommes intéressés à celles équipées d'un dispositif de lavage des mains. Le résultat est résumé dans le tableau III.

Tableau III : Présence ou non de dispositif de lavage des mains

Présence ou non de dispositif de lavage des mains	Non	Oui	Fréquence	%	IC 95%
			591	98,5%	[97,07-99,27]
			9	1,5%	[0,73-2,93]
Total			600	100,00%	

Source : travaux de terrain, 2013

3.1.4 INFLUENCE DES DETERMINANTS SOCIOCULTURELS SUR L'ASSAINISSEMENT DANS LA COMMUNE D'ALLADA

Les déterminants socio culturels pris en compte sont : Le niveau d'instruction, la religion et le type d'habitat

Tableau IV : Influence du niveau d'instruction, du type d'habitat et de la religion

		Présence de latrine	Absence de latrine	IC 95%
Niveau d'instruction	Primaire et plus	473	79	[75,43-82,12]
	Aucun niveau	126	21	[17,88-24,57]
	Total	599	100,00	
Type d'habitat	Chi carré			
	Habitation à matériaux modernes	382	63,8	[59,76-67,60]
	Habitation à matériaux précaires	154	25,7	[22,29-29,44]
	Total	43	10,5	[7,71-14,54]
	Chi carré	600	100,00	
Facteur Religieux	Religion importée	323	53,92	[49,84-57,96]
	Religion traditionnelle	276	46,08	[42,04-50,16]
	Total	599	100,00	
	Chi carré			

Source : travaux de terrain, janvier 2013

Ce tableau montre qu'il existe un lien significatif entre le niveau d'instruction et l'existence de latrines dans les ménages. De même, l'existence de latrine dans les ménages est fonction du type d'habitat. Par contre aucun lien n'a été décelé entre l'existence de latrines dans les ménages et les facteurs religieux.

3.1.5 GESTION DES EAUX USEES ET DES DECHETS SOLIDES

Sur l'ensemble des ménages investigués, il n'existe aucun système de gestion des eaux usées qui, actuellement sont directement éliminées dans la nature. Il n'existe également aucun système de pré collecte des ordures ménagères. Les déchets ménagers, à l'instar des eaux usées sont directement rejetés dans la nature.

3.1.6 IMPACT SUR LA SANTÉ

L'impact sur la santé a été étudié par la connaissance des chefs de ménage relative aux maladies liées à l'hygiène et l'assainissement d'une part et aux épisodes de diarrhée chez les enfants durant les trois derniers mois d'autre part. Il ressort de l'enquête que 88 % des chefs de ménages ont connaissance des maladies liées à l'environnement. La proportion des maladies diarrhéiques chez les enfants les trois derniers mois a été calculée et représentée par la figure 3.

FREQUENCE DES MALADIES DIARRHEIQUES CHEZ LES ENFANTS

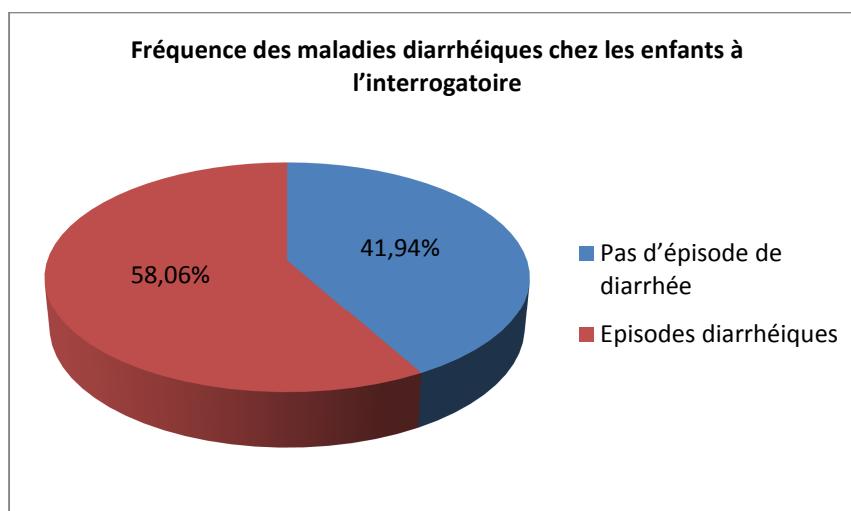


Figure n°3: Fréquence des maladies diarrhéiques chez les enfants à l'interrogatoire

Source : Travaux de terrain, 2013

3.2 MANIPULATIONS DES SELLES DES ENFANTS PAR LES FEMMES ET COMPORTEMENT DES ENFANTS PAR RAPPORT A L'HYGIENE MIS EN EVIDENCE PAR L'OBSERVATION DIRECTE

La manipulation des selles des enfants a été observée au niveau d'une femme par arrondissement. Toutes les femmes incluses dans cette partie qualitative de l'étude ont déclaré ne pas avoir reçu d'éducation particulière en ce qui concerne la manipulation des selles des enfants. Par ailleurs il apparaît que dans tous les ménages observés, les enfants défèquent à même le sol. La propreté après défécation est faite à l'aide des feuilles de tecks (*Tectona grandis*). Le lavage des mains après la manipulation des selles n'est pas systématique.

4 DISCUSSION

L'étude s'est déroulée dans la commune d'Allada. Elle a pris en compte les 12 arrondissements que compte cette circonscription administrative regroupant au total 30 villages. Le choix des villages a été fait à la suite d'un échantillonnage par grappe. Au total 600 chefs de ménage sélectionnés selon un mode probabiliste ont été inclus dans la partie quantitative de ce travail. En plus de cette étude quantitative, nous avons également inclus dans ce travail des informations suivant une approche qualitative notamment en interrogeant des femmes ayant en charge des enfants de moins de 5 ans en vue de documenter les différentes pratiques en matières de manipulations des selles

L'hygiène et l'assainissement sont étroitement liés au comportement des individus et influencent de façon importante la qualité de vie et la santé. Cette étude réalisée dans une municipalité rurale du Bénin a permis d'actualiser les seules informations sur le sujet et qui datent de l'enquête démographique et santé réalisée depuis l'année 2006. La méthode d'échantillonnage utilisée a permis d'avoir des données reflétant de manière notable les indicateurs relatifs à l'hygiène et à l'assainissement dans cette commune.

L'hygiène et l'assainissement peuvent être fortement influencés par les facteurs sociodémographiques et culturels. Ainsi, il s'est révélé indispensable de documenter les caractéristiques sociodémographiques des ménages interrogés. Les données recueillies auprès des ménages, montrent que l'âge minimum des chefs de ménages interrogés est de 13 ans et l'âge maximum est de 80 ans. La moyenne observée est de 33,1625 ans, le mode de 25 et l'écart type de 11,2555. Les chefs de ménages les plus rencontrés sont majoritairement agriculteurs et d'ethnie Aïzo (63,8 %) et fon (25,7%). Les autres ethnies (10,5 %) identifiées sont les Adja, goun et yorouba. Ces données concordent approximativement avec les chiffres de la monographie de la commune qui montrent que la population de la commune est dominée par le groupe ethnique «Aïzo » qui, ajouté aux « fon » font 93 % de la population [1] et témoignent de la validité de nos données.

Les données relatives à la religion révèlent que dans ce domaine, les cultes traditionnels dominent avec 53,92% suivis des religions révélées avec une proportion de 46,08%. C'est également ce que confirment les données de la monographie de la

commune d'Allada (religion traditionnelle : 63, 9%, religion catholique : 21,5% protestants : 0,5%, musulmans : 1,6% et autres : 12,5%).

Les données collectées révèlent que les populations de la commune d'Allada utilisent quatre sources d'eau pour la boisson. Il s'agit de puits modernes (3,2 %), de borne fontaine (69,5%), des citernes (17%) et des sources traditionnelles (10,3%). Tous les 30 villages visités, disposent d'ouvrages de distribution d'eau potable. Cette étude, qui est de nature transversale, ne permet pas de se prononcer sur la fonctionnalité de ces ouvrages pendant toute l'année comme la monographie de la commune. Par ailleurs, dans cette étude, la qualité de l'eau des sources utilisées par les populations n'a pas été étudiée. Or, dans le contexte des pays pauvres, il a été prouvé que l'eau fournie par les systèmes de distribution d'eau peut être de qualité médiocre [3]. Dans le même ordre d'idée, une étude réalisée au Bénin a démontré que l'eau provenant de la nappe phréatique dans la commune d'Abomey Calavi, une autre commune du département de l'Atlantique, est contaminée par *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp, *Clostridium perfringens* et des streptocoques fécaux[6].

Dans l'arrondissement de Lissègazoun, les données collectées montrent que l'eau fournie par le forage a un goût déplaisant selon la population utilisatrice, ce qui pousse les ménages à utiliser l'eau des sources traditionnelles, quand bien même il existe de l'eau du forage (enquêtes de terrain). Des comportements similaires ont été identifiés et documentés dans d'autres pays africains. Cette situation n'est pas unique au Bénin. Des constats similaires ont été faits dans d'autres pays africains notamment au Kenya où une étude réalisée en milieu rural a montré que les populations préfèrent utiliser l'eau de source traditionnelle quand son goût est meilleur à celui de l'eau potable [2]. De plus pour des raisons socioculturelles liées à la croyance, certaine population cible continue de consommer l'eau de rivière (72,5%), malgré l'existence de l'eau potable des puits forés (consommés par 12,5%), dans la localité.

Au total, les résultats de cette étude font ressortir que 40,8 % des enquêtés exploitent les sources d'eau de mauvaise qualité (sources traditionnelles et citernes) et 72,7 % utilisent de l'eau potable (puits modernes et borne fontaine) pour la boisson. Ces données sont supérieures à celles publiées par l'Enquête Démographique de Santé au Bénin qui stipulent qu'environ 51 % des ménages ruraux disposent de l'eau potable, 20 % l'eau provenant de sources d'eau non protégées et 9 % l'eau des rivières. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que l'Enquête Démographique et de Santé a été réalisée en 2006 et depuis cette date des ouvrages hydrauliques ont été mis en place dans les milieux ruraux au Bénin.

Pour ce qui concerne les latrines, il a été remarqué un taux de couverture très faible. Il ressort que dans la commune d'Allada, 37,20 % des ménages disposent de latrines à domicile. Ce faible taux, est conforme avec les données du schéma directeur d'aménagement de la commune d'Allada, qui révèle qu'il n'existe peu de latrine familiale dans la commune [1]. De plus, une étude réalisée par Reiff et al., 2010 pour le compte de Global Sanitation Fund et de Water Supply & Sanitation Collaborative Council) a pu établir dans tout le département de l'Atlantique au Bénin, le taux d'évacuation des excréta est faible et est de l'ordre de 30,21 % [21].

Pour ce qui est du lavage des mains à l'eau et au savon après les selles, il est difficile par un questionnaire de faire l'état de la question. Dès lors, il nous a paru nécessaire de dénombrer le nombre de latrines pourvues de dispositifs de lavage des mains, afin d'avoir une idée de la fréquence de cette pratique. Les résultats de cette étude montrent que seulement 1,5 % des latrines sont pourvues de dispositifs de lavage des mains. Il s'ensuit que les ménages étudiés, ont un niveau de lavage des mains après défécation très bas. Cette situation expose les populations à des risques de maladies car il est prouvé que les mains favorisent la transmission des maladies du péril fécal. En 2009, Judah et al ont rapporté que 28 % des personnes qui étaient souvent en déplacement transportaient des bactéries d'origine fécale dans leurs mains [13] alors qu'un gramme de fèces frais provenant d'une personne infectée peut contenir environ 106 pathogènes viraux, 106-108 bactéries pathogènes, 104 kystes et 10-104 œufs d'helminthe [9].

L'observation structurée de la manipulation des selles des enfants par leurs mamans, montre qu'aucune précaution n'est souvent prise. Cette situation favorise la transmission de maladies du péril hydro fécal, comme le démontre Gil et al., 2004 qui ont prouvé qu'une mauvaise élimination et des pratiques de manipulation non hygiéniques des matières fécales des enfants, ont été associées à une augmentation de 23 % du risque de diarrhée [10]. L'observation des individus, peut les inciter à augmenter leur fréquence de lavage des mains [20]; [8]. Malgré cette réserve, force est de constater que dans notre zone d'étude, la pratique du lavage systématique des mains après les selles reste pour l'essentiel une pratique marginale. Cette situation n'est pas sans conséquence sur la santé car il apparaît que les trois derniers mois précédant l'étude, les enquêtes de terrain révèlent que 58,06 % des enfants des ménages investigués ont souffert de maladies diarrhéiques. Cela pourrait s'expliquer par les comportements à risque des enfants, qui défèquent à même le sol et fréquentent les dépotoirs sauvages. Des études réalisées dans d'autres pays africains, ont montré un lien fort entre l'exposition aux déchets solides rejetés dans l'environnement et les maladies diarrhéiques. Ainsi, Dikassa et al., 1993 ont démontré qu'à Kinshasa, les enfants

de familles vivant dans de très mauvaises conditions hygiéno-sanitaires courent 70 % de plus de risques d'être atteints de diarrhées sévères [7].

Les eaux usées sont globalement mal gérées dans la commune d'Allada. La plupart des ménages enquêtés ne dispose pas à domicile de puits perdus comme le recommande la Direction de l'Hygiène et de l'Assainissement de Base (DHAB), pour la gestion des eaux usées [17]. Les eaux usées, à l'instar des déchets solides, sont rejetées dans la nature par la presque totalité des ménages étudiés. Ces pratiques constituent un risque pour la santé publique comme le démontre l'OMS, qui révèle que 3,3 millions de personnes souffrent, à un moment donné d'infections parasitaires provenant de déjections humaines et des déchets solides rejetés dans la nature [18]. En l'absence de structure de collecte des ordures, les populations assurent elles même le traitement des déchets. La majorité des enquêtés 62,3% incinèrent les ordures tandis que 16,5% de ces enquêtés procèdent à l'enfouissement. Plusieurs facteurs peuvent influencer l'assainissement en milieu rural. Dans cette étude certains facteurs ont été étudiés notamment le niveau d'instruction, le type d'habitation et enfin la religion. Le lien éventuel entre ces facteurs et la possession de latrines familiales dans les ménages a été étudié.

Le type d'habitation, selon la nature du matériau utilisé a été classé en deux groupes : les habitations en matériau moderne et celles construites en matériau précaire. Le type d'habitation constitue un reflet indirect du niveau économique du ménage. Sur cette base, on a noté une association entre le type d'habitation et l'existence de latrines ($p < 10^{-5}$). Les ménages habitant les maisons en matériau précaire ont moins de capacité à s'offrir une latrine à domicile. Nos résultats sont en cohérence avec ceux du Water and Sanitation Program sur le Bénin qui révèlent également une disparité entre les pauvres et les riches en ce qui concerne l'accès à l'assainissement au Bénin [4].

Nous avons également mis en évidence un lien significatif entre le niveau d'instruction et l'assainissement ($p = 0,003$). Une étude conduite en Ethiopie a montré également que les pratiques d'hygiène des enfants à l'école, sont dépendantes du niveau d'alphabétisation des parents (Vivas et al., 2010). Schmidt et al., 2009 ont également montré au Kenya que les pratiques de lavage des mains sont dépendantes du niveau d'instruction [22].

Pour ce qui est de la religion, il a été mis en évidence un lien entre les facteurs religieux et la présence de latrine. La religion est statistiquement liée à la présence ou non de latrine. Ce lien pourrait être justifié par le fait que la religion dominante dans la commune d'Allada est celle traditionnelle et qu'une forte proportion des chefs de ménage ne dispose pas de latrine. C'est dire que plus les enquêtés pratiquent la religion traditionnelle, moins ils disposent de latrine et plus ils sont d'une autre religion plus ils disposent de latrine. La culture est donc un facteur déterminant de la possession ou non de latrine. D'ailleurs certaines études ont montré que les facteurs religieux peuvent influencer les pratiques d'hygiène et d'assainissement notamment le lavage des mains dont le taux est élevé chez une forte proportion de musulman [22].

Conclusion

Cette étude relative à l'hygiène et l'assainissement dans une commune rurale du Bénin, a permis de faire ressortir que les populations de la commune ont un niveau d'hygiène et d'assainissement assez bas. L'accès à une source d'eau potable est de 69,5 % alors que la situation en matière d'assainissement est plus préoccupante. Cette situation a des impacts évidents sur la santé, notamment celle des enfants.

Le niveau d'instruction et le type d'habitation ont été identifiés comme les facteurs les plus significatifs déterminant la possession des latrines au niveau des ménages. Cette étude fournit des informations de base pour toute intervention en matière d'hygiène et d'assainissement dans cette commune.

REFERENCES

- [1] Afrique Conseil, 2006 : Monographie de la commune d'Allada. Cotonou : Afrique Conseil, 27p.
- [2] Atuyambe L., Ediau M., Orach C., Musenero M., Bayezo W., 2011: Land Slide disaster in Eastern Uganda: rapid assessment of water, sanitation and hygiene situation in Bulucheke Camp, Bududa district. *Environmental Health*, 10, 1-13.
- [3] Bartram J, Cairncross S., 2010: Hygiene, Sanitation and Water, forgotten foundations of health. *Plos Medicine*, 7, 1-9.
- [4] Bénin-WSP., 2012 : Rapport sur les impacts économiques d'un mauvais assainissement en Afrique. Washington DC, disponible sur le site www.wsp.org consulté le 27/7/2012.
- [5] Curtis V., Schmidt W., Luby S., Florez R., Touré O, Biran A., 2011 : Hygiene: new hopes, new horizons. *Lancet*, 11, 312-321.
- [6] Degbey C., Makoutode M., Agueh V., Dramaix M., de Brouwer C., 2011 : Facteurs associés à la qualité de l'eau de puits et prévalence des maladies hydriques dans la commune d'Abomey-Calavi (Bénin). *Cahier Santé*, 21, 47-55.

- [7] Dikassa L, Mock N, Magnani R et al., 1993: Maternal behavioural risk factors for severe childhood diarrhoeal disease in Kinshasa. *Int J. Epidemiol*, 22, 327-33.
- [8] Drankiewicz D, Dundes L., 2003: Hand washing among female college students. *Am J Infect control*, 31 :67-71.
- [9] Feachem RG, Bradley DJ, Garelick H, Mara D., 1983: Sanitation and disease. Health aspects of wastewater and excreta management. Chichester John Wiley & Sons, 326 p.
- [10] Gil A, Lanata C, Kleinau E, Penny M., 2004: Children's feces disposal practices in developing countries and interventions to prevent diarrheal diseases. A literature review. Washington DC: Environmental Health Project. U.S. Agency for International Development, 67p.
- [11] Hutton G., Haller L., Bartram J., 2007: Global cost-benefit analysis of water supply and sanitation interventions. *J Water Health.*, 5, 481-502.
- [12] Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique (INSAE) Benin et Macro International Inc., 2006 : Enquête Démographique et de Santé (EDSB-III) - Bénin 2006. Calverton, Maryland, USA : Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique et Macro International Inc, 492p.
- [13] Judah G, Donachie P, Cobb E, Schmidt W, Holland M, Curtis V., 2009: Dirty hands: bacteria of faecal origin on commuter's hands. *Epidemiol Infect.*, 138, 409-14.
- [14] Ministère de la Santé, Direction de la Programmation et de la Prospective, Service des statistiques, de la documentation et de la recherche opérationnelle, 2011 : Annuaire des Statistiques sanitaires. Ministère de la Santé Cotonou, 93 p.
- [15] Mara D, Lane J, Scott B, Trouba D. (2010) : Sanitation and health, *ploS Med* 2010 Nov 7(11) :1-11
- [16] MGE/Conseils/Crépa, 2009; Livre bleu Bénin : "L'eau, l'assainissement, la vie et le développement humain durable 103p
- [17] MSP, DHAB., 2006 : Document de mise en œuvre de la Promotion de l'Hygiène et de l'Assainissement (PHA). MS DHAB, 75 p.
- [18] OMS (1992) : Assainissement approprié pour les communautés à très faibles revenus, volume 1 Genève 114p
- [19] OMS ET UNICEF (2010) : Progrès en matière d'assainissement et d'alimentation en eau. Rapport 2011 Genève : OMS 57p
- [20] Pittet D, Simon A, Hugonnet S, Pessoa-silva C-L, Sauvan V., 2004: Hand hygiene among physicians: performance, beliefs and perceptions. *Ann Intern Med*, 141, 1-8.
- [21] Reiff, S; Clegbaza, G., 1999: Rural sanitation: The experience of non-subsidized household latrines through social marketing and the promotion of the small-scale private sector: the case of PADEAR programme in Benin.
- [22] Schmidt W P, Aunger R Coombes Y, Maina PM, Berhane Y, Williams M. A., 2009: Determinants of hand washing practices in Kenya : the role of media exposure, poverty and infrastructure. *Trop med Int health.*, 14, 1534-41.
- [23] Sopoh GE, Barogui Y, Johnson RC, Adinsi V, Dossou A, van der Werf TS, Stienstra Y, Fourn L, Zohoun T., 2010 : Distribution spatiale de l'ulcère de Buruli dans la commune de Zê (Bénin). *Médecine Tropicale*, 70, 379- 383.
- [24] Vivas A., Gelaye B., Aboset N., Kumie A., Berhane Y., Williams M., 2010: Knowledge, Attitude and Practises (KAP) of hygiene among school children in Angolela, Ethiopia. *Prev Med Hyg.*, 51, 73-79. WHO, UNICEF, 2010: Progress on sanitation and drinking-water. 2010 update. Geneva: WHO, 60 p.

Application of Business Intelligence in the Financial Services Industry

Ghazwan Khalid Ouda

University of Diyala, Iraq

Copyright © 2016 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: A highly dynamic market, violent competition, changing client demands, and the need of strict control and risk management are only some of the challenges of the business environment where modern financial companies conduct their operations. Factors such as mergers and acquisitions, deregulation, technological innovation, and competition, have forced financial companies to rethink their business. Business intelligence (BI) solutions for financial companies provide the decision makers with the ability to manage and take advantage of information resources, in order to solve the problems and make high-quality and timely decisions. The use of BI in financial services industry helps financial companies for creating a vision for financial managers, training the organization to determine realistic goals, and supporting optimal decision making. Business intelligence covers many areas of the financial services industry, and among the most important are: Relationship Marketing, Performance Management (PM), Risk Management (RM), Asset and Liability Management (ALM), and Compliance. Data warehouse (DW) and on-line analytical processes (OLAP) are the informational basis for the application of business intelligence. Data mining (DM) is important part of business intelligence and deal with complex statistical analysis, discovering hidden relationships between data and predicting the behavior trends of business systems. This paper is an attempt to straighten Economy Bank for Investment and Finance (EBIF) through business intelligence techniques to properly identify opportunities and trends in financial businesses. In this work, we propose a business intelligence system, developed on Microsoft SQL Server 2008 R2, for an Economy Bank for Investment and Finance based on the information which the company has. We utilized the business intelligence system in EBIF to accomplish complex processing and data analysis.

KEYWORDS: Data warehouse, Data Mining, On-Line Analytical Processing, Performance Management, Risk Management.

1 INTRODUCTION

Financial companies must respond to challenges such as globalization, process automation, aggressive competition, mergers and acquisitions, increased client expectations, and market segmentation. Also, financial companies must manage risks, make decisions. Decision making process must be efficient, timely, and based on reliable and accurate information derived from data. Financial data doubles every three year [1]; data are recorded for clients on their personal, property and financial features, in addition to their accounts, transactions per account, credit liabilities, loans etc.. This data is stored in transactional databases. Transactional databases are a source of rich information about a company's processes and its business environment that can be used for enhancing the business of any company, especially a financial companies. During the past few years, information-based services have become a critical part of business processes in the financial services industry (think about fraud protection and anti-money laundering) [2]. However, financial companies have a little information, and very little knowledge on many sides of their operations [3]. Let us suppose that a particular client go to a financial company and apply for a loan, financial company wants to determine the risk to the company based on client's financial history. The result of this information will aid the loan officer as to whether the company should make the decision to loan money. Such information can usually be requested from IT personnel at the financial company, who, in such cases, must spend a large amount of time to produce the requested report, so, it may be too late for decision making [4]. Therefore, having the foundation and feedback information available at the appropriate time is extremely important.

The development of technologies provides successful solution to the above-mentioned problems. A large subset of business information and knowledge management tools and applications denoted by "business intelligence" (BI). Business

intelligence can be described as "a set of techniques and tools for the transformation of data into meaningful and useful information for business analysis purposes. BI is the delivery of accurate, useful information to the decision makers within the necessary time frame to support effective daily decision making.

Business intelligence is regarded as a separate discipline encompassing elements of information technology, strategy, managerial accounting, corporate analysis and marketing. Business intelligence enables gathering, analyzing, and acting based on the business information, aimed to facilitating the resolution of problems and making the best business decisions. Financial companies are known to be among leaders in the area of using new technologies, such as BI, which is exactly why they are the fertile soil for implementing such an infrastructure [5].

BI applications use data gathered from a financial data warehouse (DW) or from a data mart to getting useful information out of financial data. Data warehouses are a special type of database, where data is organized in manner suitable for analytical processes on large dataset. A data warehouse structured specifically for reports and analysis and contains a copy of data isolated from operational database. Data warehouses and On-Line Analytical Processing (OLAP) form the informational basis for applying business intelligence. OLAP is used to answering multi-dimensional analytical queries quickly. OLAP tools enable users to analyze multidimensional data interactively from multiple perspectives. OLAP consists of three basic analytical operations: roll-up (data aggregation), drill-down, slicing and dicing. OLAP is a part of the broader category of business intelligence, which also include relational database, data mining, report writing [6]. Data mining (DM) and knowledge discovery are important segments of business intelligence. Data mining is the computational process of discovering patterns in large data sets. DM dealing with complex statistical analyses and discovering hidden relationships between data and forecasting the behavior trends of financial systems[7].

2 BUSINESS INTELLIGENCE AND FINANCIAL INDUSTRY

Business intelligence solutions for financial services companies should provide the decision makers from all business segments of the financial company with the ability to manage and exploit the information potential of a huge amount of internal and external data resources.

With the conditions of growing competition, analyzing the total client relationships is vital for successful financial companies operations. Using BI solution to analyze organizational data, financial companies can improve and streamline operational efficiency, not only to enhance the sales and marketing strategies and develop better customer service programs, but also mitigate risk, through the development of risk management processes more convenient [8].

Business intelligence covers many areas of financial services, the most important being (Table 1):

- Relationship Marketing;
- Performance Management;
- Risk Management;
- Asset and Liability Management;
- Compliance.

Table 1. Areas Covered by Business intelligence in Financial Services

Focus Area	Analytical Requirements	
Relationship Marketing	• Customer Interaction Analysis • Customer Investment Profile • Wallet Share Analysis • Customer Complaints • Delinquency Analysis	• Customer Loyalty • Market Analysis • Campaign Analysis • Cross sell Analysis
Performance Management	• Transaction Analysis • Activity Based Costing Analysis • Insurance Product Analysis • Investment Arrangement Analysis • Profitability Analysis • Channel Profitability • Customer Lifetime Value	• Customer Profitability • Location Profitability • Product Profitability • Product Analysis • Organization Unit Profitability • Performance Measurement • Business Procedure Performance

Risk Management	• Interest Rate Risk Analysis • Credit Risk Profile • Credit Risk Assessment • Credit Risk mitigation Assessment • Asset Securitization Analysis • Operational Risk Assessment • Outstanding Analysis • Portfolio Credit Exposure • Security Analysis	• Liquidity Risk • Collections Analysis • Insurance Risk Profile • Authority Profiling • Credit Risk Analysis • Debt Restructuring • Involved Party Exposure • Non-Performing Loan • Operational Risk Loss Analysis
Asset & Liability Management	• Interest Rate Sensitivity • Liquidity Analysis • Short Term funding Management • Financial Management Accounting • Capital Allocation Analysis • Capital Procurement • Credit Loss Provision	• Funds Maturity Analysis • Income Analysis • Net Interest Margin Variance • Structured Finance Analysis • Equity Position Exposure • Position Valuation Analysis
Compliance	• Financial Capital Adequacy Analysis • Structure of Regulatory Analysis • Foreign Financial Account Analysis • Suspicious Activity Analysis • Transaction Activity Analysis • Balance Sheet Portfolio • Balance Sheet Classified Approach Analysis • Balance Sheet Order Of Liquidity Approach Analysis • Balance Sheet Net Assets Approach Analysis	• Cash Flow Direct Analysis • Cash Flow Indirect Analysis • Cash Flow Direct Financial Institution Analysis • Cash Flow Indirect Financial Institution Analysis • Income Statement By Function Analysis • Income Statement By Nature Analysis • Income Statement Financial Institution Approach Analysis • Statement Of Changes in Equity Analysis

2.1 RELATIONSHIP MARKETING

The American Marketing Association's definition of marketing indicates that "marketing is an organizational function and a set of processes for creating, communicating, and delivering value to customers and for managing customer relationships in ways that benefit the organization and its stakeholders". Thus, the overall definition of marketing identifies the process of managing relationships as one of its key charters, parallel to more traditional marketing-mix factors. Relationship management is defined as the identification, establishment, maintenance, enhancement, modification and termination of relationships with customers to create value for customers and profit for organization by a series of relational exchanges that have both a history and a future. Relational exchanges can be viewed under transaction cost analysis and social exchange theories depending on the context[9].

Relationship marketing (RM) is the process of identifying, developing, maintaining, and terminating relational exchanges with the purpose of enhancing performance. Relationship marketing be implemented to improve customer loyalty and seller's sales and profits[10].

2.2 PERFORMANCE MANAGEMENT

Performance management enable managers to monitor key performance indicators (KPIs) through scorecard reports. KPI used for continuous monitoring of the current balance with defined objectives. The users (especially managers) should be provided with ability to rapid and efficient access to scorecards that showing the key performance indicator values, alert them when these values exceed the allowed limits, and facilitate drill-down. The requirements of performance management methodology requires providing an infrastructure to support the planning and budgeting process. This means that the system should support the possibility of defining the target values across of all dimensions of business operations (clients, services and organizational units), considering the time dimension[11].

2.3 RISK MANAGEMENT

Risk management is a process of identification, analysis, measurement, control and reporting posing a threat to the achievement of its goals and individual business activities, so that the achieved risk level should not endanger the financial company's safe and stable operation. Some of this risks include credit risks, market risks, interest rate risks, foreign change risks, liquidity risks, operational risks, reputational risks, etc.

The purpose of risk management is to enable the financial company to monitor and control the sizes and concentrations of risks resulting from its activities. The risk management process take place in several interconnected stages: risk exposure identification, risk evaluation and assessment, risk control, risk financing and risk management. The risk management process implies identifying and analyzing all risks within the company, defining appropriate risk limits, and monitoring risk limits via contemporary information systems in a controlled manner[12].

2.4 ASSET AND LIABILITY MANAGEMENT

Asset and liability management (ALM) is a process of managing policies and procedures that address financial risks associated with changing foreign exchange rates, interest rates and other factors that can affect a company's liquidity which is one of the fundamental principles of doing business in financial company and denotes the company's ability to meet its current financial obligations continuously. ALM seeks to limit risk to acceptable levels by monitoring and anticipating possible pricing differences between a company's assets and liabilities. The fundamental task of the ALM concept is to establish the correlation between the risk and profitability of individual financial company transactions. This is a method of preventing high risks, which can lead to losses in companies.

Business intelligence solutions for ALM should enable generating a complete set of internal reports – starting from balance sheets, liquidity analysis and cash flow, down to maturity and interest rate structure[5].

3 BUSINESS INTELLIGENCE SYSTEM ARCHITECTURE IN THE FINANCIAL INDUSTRY

The architecture of a financial business intelligence system is very heterogeneous and include several layers (figure 1):

- Operational database and external data;
- The data integration and transformation layers;
- The data warehouse layer;
- The data access layer (application, OLAP, data mining, etc); and
- The front end (reporting layer).

Operational (transactional) databases are created to meet the needs of daily operations. The financial transactional data processing system, i.e. On-line Transaction processing (OLTP) is the company's basic information system. It's used to support day-to-day business transaction activities (entering and processing accounts, savings, deposit and loan contracts, overdrafts, card services, electronic financial services, recording transactions, commission processing and interest rate transaction, etc.) [5].

The data integration and transformation layer is a process of transforming data (operational and external) into a form suitable for database storage. They are referred to as Extract Transform and Load (ETL) processes. During the ETL process, data is extracted from an OLTP database, transformed to match the data warehouse schema, and loaded into the data warehouse database [13].

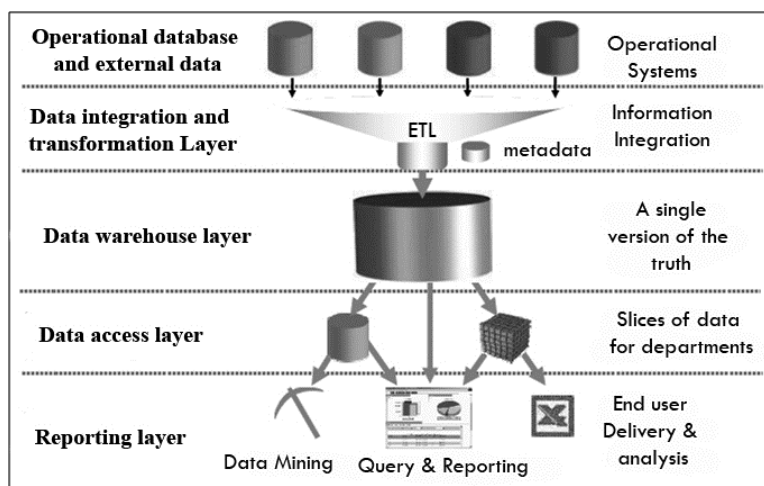


Fig. 1. Business intelligence architecture in the financial services industry

A data warehouse (DW) is an analytical database used as the basis for business intelligence systems. The data warehouse essentially holds the business intelligence for the enterprise to enable strategic decision making. The data warehouse based on the data extracted from operational systems. The data warehouse is an informational environment that:

- Provides an integrated and total view of the enterprise.
- Makes the enterprise's current and historical information easily available for decision making.
- Makes decision-support transactions possible without hindering operational systems.
- Renders the organization's information consistent.
- Presents a flexible and interactive source of strategic information

Data warehouse systems provide some data analysis capabilities, collectively referred to as OLAP. OLAP operations include drill-down, roll-up, and pivot. The term OLAP (On-Line Analytical Processing) refers to the category of software technology enabling users (such as analysts, managers etc.) to gain insight into data in a consistent, interactive, and quick. The major strength of on-line analytical processing over information processing is the multidimensional data analysis of data warehouse data. Multidimensional analysis enables users to look at a large number of interdependent factors involved in a business problem and to view the data in complex relationships. End users are interested in exploring the data at different levels of details, which is determined dynamically. OLAP is the database's interface and a form of data processing which enables end user to extract data easily and quickly, and translate them into information in unlimited number of ways [14].

OLAP technology has the ability to query and analyze multidimensional data through exploration, while data mining is known for its ability to discover knowledge from data [15]. Data mining is a process of evaluating large volumes of data to identify patterns and relationships. Data Mining encompass the use of sophisticated data analysis tools to discover previously unknown, valid patterns and relationships in large datasets. These tools can involve statistical models, mathematical algorithms, and machine learning methods. Consequently, data mining consists of more than collecting and managing data, it's includes analysis and prediction [16]. The term data mining refers to tasks such as classification, clustering, association rule mining, sequential pattern mining, and so forth.

Data mining can be very useful in the financial industry and there are many instances of their application. Data mining can help analyze patterns to help with cross-selling, risk management, fraud detection, customer segmentation, customer retention. For example, based on the clients characteristics, the financial company can predict loan payment, analyzing customer credit policy, classification and clustering of customers for targeted marketing, and detection of money laundering and other financial frauds. In addition, based on historic data, financial company may define characteristics of clients who could use additional services, as well as methods of detecting potential bad debtors [5].

The reporting layer contains tools and applications that interacts directly with end users. These tools tend to become increasingly sophisticated and offer numerous opportunities for manipulating, analyzing and presenting information visually. The reporting layer use the following forms of accessing and presenting information:

- Reports are the basic and static form of presentation that have minimum analytic requirements. Reports can answer classical financial queries generated with classical SQL queries. such as, "How many outstanding loans are and what is their total value?"
- Analytics meet much more complex queries demands (related to time, customers, services, distribution channels, etc.). Multi-dimensional analysis has become a popular way to expand the query and reporting capabilities. It enables users to look at a large number of interrelated factors involved in the business problem and view the data in complex relationships. End-user are interested in exploring the data at different levels of detail, which is determined dynamically. Multi-dimensional analysis can analyze complex relationships through an iterative process involving drilling down to the lower levels of detail or rolling up to higher levels of aggregation and summarization.
- Scorecard shows the progress over time in a graphical representation. Scorecard enable monitoring of key performance indicators (KPIs), which can be used for comparing and controlling the match between the current state and the previously defined target performances or goals.
- Dashboards is a data visualization tool that displays the current status of metrics and (KPIs) for an enterprise at a specific point in time. Dashboards combine all information required for decision making in one place, it allows the decision makers to view instant results into the live performance state of business or data analytics.

4 EBIF – A BI IMPLEMENTATION

EBIF (Economy Bank for Investment and Finance), a special Iraqi bank, provides financial services to small and medium enterprises. EBIF offers banking services for companies include (commercial estate services, loans for construction, credit services, and trade finance). In addition, EBIF provides services to individual customers, which includes a full range of deposit accounts, loans, housing loans, personal loans, and car loans. EBIF comprises of 18 branches distributed across Iraq. EBIF is a member of a group of projects company and has a presence in the middle east and north Africa. It is a group of seven banks partners.

EBIF maintains with the borrowing information related to each person, company, and/or group of companies. It maintains this information by frequently fetching borrowing's related information from various departments and branches over Iraq.

When the bank want to granting a loan above a particular amount to a customer, it prepares the credit worthiness report for the customer. This report is prepared manually by the bank staff and delivered to the requesting institution on the following days. Unfortunately, EBIF can't analyze the reasons for customer attrition. It can't manage well its loans and improve the effectiveness of underwriting functions. EBIF can't detect accurately fraudulent loans attempts. In addition, the current practice of obtaining a report of some of these needs is prepared manually by the EBIF staff and delivered to the requesting branch or institution on the next day, if not the next week!.

4.1 PROBLEM STATEMENT

EBIF must be able to provide fast, accurate, and dynamic analysis. Currently, EBIF gets financial information through the regular mail and E-mail. If any branch or department wants to ask about the information of a certain borrower (for example) it will write to EBIF and then after 3-7 days the information is provided to the department/branch. The process is fairly slow. EBIF provides information about borrowing of a particular borrower, also if the borrower belongs to a particular branch, then the borrower also needs to be identified. Currently, EBIF provides static reports and inaccurate enough, furthermore, it cannot provide predictive analytics any way.

4.2 EXISTING REPOSITORY

Currently the database is running on MS Access 2007 contains information related to financial services.

4.3 ENTITIES SUMMARY

The operational data store contains the following:

- Deposit accounts.
- Customers records.
- Loan records.

- Investment revenues.
- Commercial estate records
- Technical reserves.

4.4 THE SOLUTION

Business intelligence solution consists of several layers. Starting from OLTP, to ETL, generation of multidimensional data store (OLAP), data mining, and finally a reporting/presentation that providing reports and drill-down and roll-up facilities. We convert the financial related MS Access database to SQL database by using the Upsizing Wizard in Access 2007.

Data in EBIF came from a several data sources (e.g. transaction files, loan files, deposit files, external data sources). Some data is incomplete, and some may contain some errors. We use the ETL process for accessing the data, staging, cleansing and validating the data, and linking data from various sources. Table 1 illustrates the tools/technologies used in implementing each layer.

Tool/Technology	Tools/Technologies
SQL	Operational Database (OLTP)
Microsoft SQL Server Integration Services (SSIS)	Data Extraction/Transformation/Loading
Microsoft SQL Server 2008 R2	Data Staging Area
Microsoft SQL Server Analysis Services (SSAS)	OLAP & Data Mining
Microsoft SQL Server Reporting Services (SSRS)	Presentation/Reporting

4.5 THE SCHEMA DESIGN

Star schema was used to design the data warehouse. The data warehouse has six dimensions tables for Bank branches, Borrower, Stock Companies, Customers, Employees, Time related information. Also, we have five fact table for Current balance, Borrowing detail information, interest earned, Transaction count, and Profit Margin. Fig. 2 shows the database schema and the dimension and fact tables.

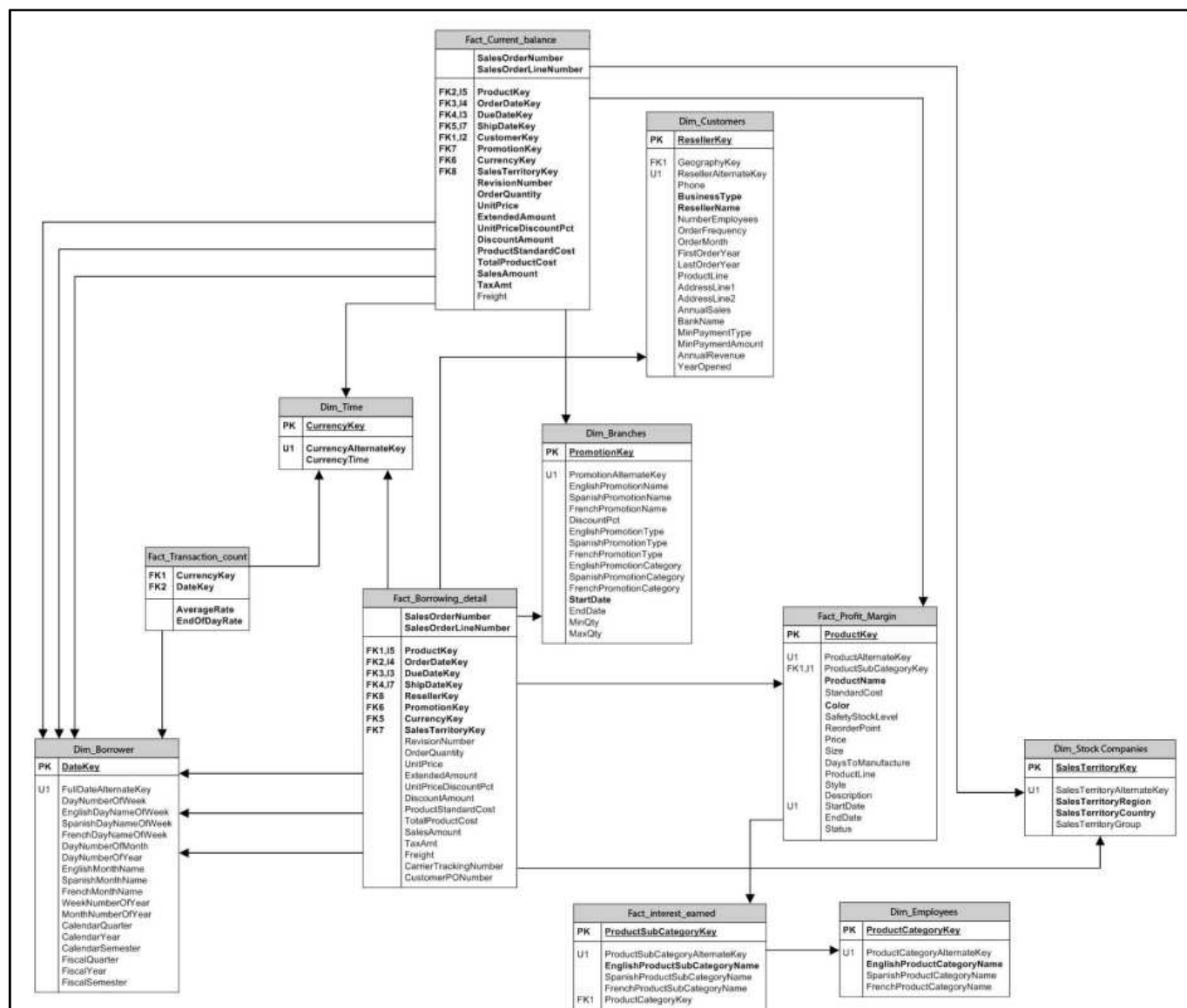


Fig. 2. Data warehouse schema

4.6 PRESENTATION /REPORTING

Business intelligence reporting tools used to see risks and find opportunities so companies can stay in the know and push their business further. The reports may have different layouts to present the data, such as Chart, Gauge, Metrics, Funnel reports, and so on. All these kinds of data layouts can be considered, based on the targeted viewers.

4.6.1 OLAP ANALYSIS

We used OLAP cube analysis capability to drill down through the EBIF data to shows the loans profit margin by years, Fig. 3.

Dimension	Hierarchy	Operator	Filter Expression
<Select dimension>			
Drop Filter Fields Here			
Drop Column Fields Here			
Calendar Year ▼	Current balance	Loans	Profit Margin
2004	376768 \$	4880 \$	4880 \$
2005	487687 \$	5730 \$	5730 \$
2006	512331 \$	14320 \$	14320 \$
2007	586998 \$	34245 \$	34245 \$
2008	612213 \$	34980 \$	34980 \$
2009	679834 \$	39870 \$	39870 \$
Grand Total	3255331 \$	134024 \$	134024 \$

Fig. 3. The loans profit margin by years in the EBIF

4.6.2 THE REPORTING

We can illustrate the volume of transactions by creating the report such as in fig. 4. In this report, we used the pie chart to show the volume of transactions in the bank for one year.

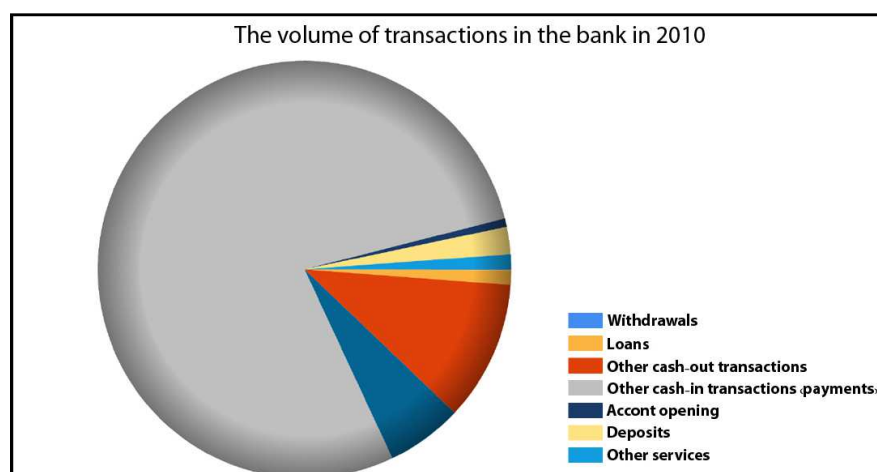


Fig. 4. The volume of transactions in the bank in 2010

Figure below shows the loans amount per services type in 2009.

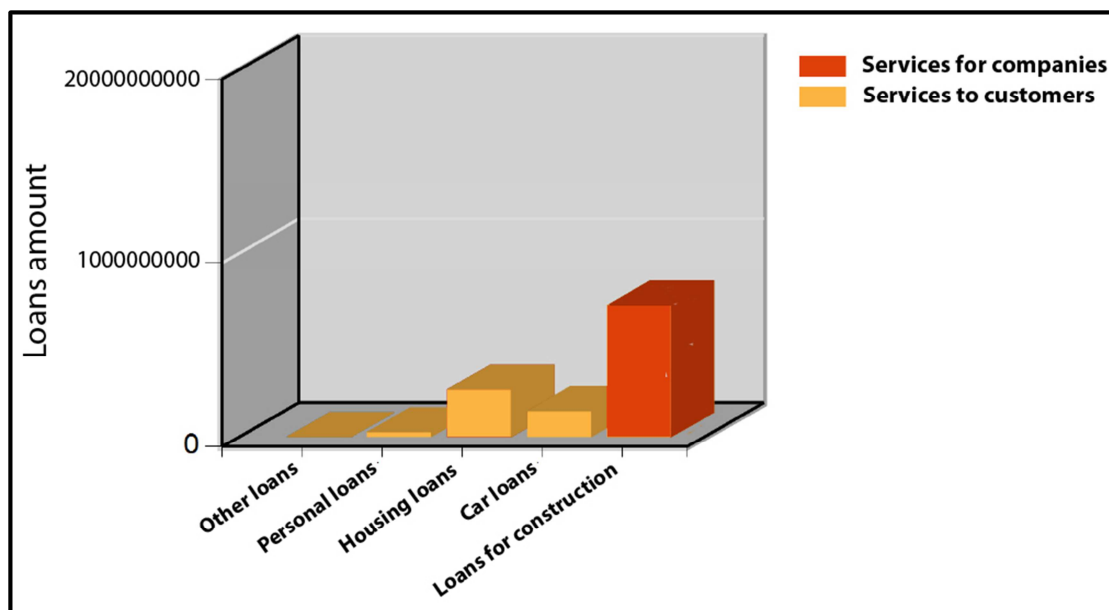


Fig. 5. The loans amount per service type in year 2009

5 CONCLUSION

Financial services industry faces many challenges in a business environment. BI systems can help financial companies to manage risk, detect fraud, gain visibility into their profitability, and leverage customer insights. BI systems also enable financial companies to expect future behavior of the company and their business indicators. They also enable financial companies to expect client behavior in terms of using new services and alarm the company to a possible risks. BI system support the financial companies to make high-quality and timely decision making. However, until recent times, there are no financial company in Iraq was adept business intelligence environment for gaining these competitive advantages and insights. In this study, we created a business intelligence system to help the "Economy Bank for Investment and Finance" to determine business trends, manage risk, improve its performance, and make better and faster business decisions. We converted the MS Access database of the EBIF to SQL database, then we used the ETL process to accessing, staging, cleaning, linking data from various branch's sources using Microsoft SQL Server Integration Services. BI system was designed and implemented using Microsoft SQL Server 2008 R2. This BI system that reported in this study is give power to EBIF to make projecting and calculating the future values of portfolios, cash flows, liquidity, and determine profit-and-loss accounts easily and quickly.

REFERENCES

- [1] Stefane, M., Healthcare and the Effect of Technology: Developments, Challenges and Advancements, IGI Global, 2010.
- [2] Kevin, M., Andreas, W., David, Dixon, C., and W.H. Inmon, Mastering the SAP Business Information Warehouse, Second Edition, Wiley Publishing, Inc, 2006.
- [3] John, E., Database Technologies: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications, University of Nebraska, Omaha, USA, 2009.
- [4] Brian, L., Delivering Business Intelligence with Microsoft SQL Server 2008, McGraw-Hill Companies, 2009.
- [5] Ubiparipović, B., Đurković, E., Application of Business Intelligence in the Banking Industry, Journal of Management Information Systems, Vol. 6, No. 4, 2011.
- [6] Mostafa, M., Ayman K., Mohamed H., Business Intelligence and its role to enhance Corporate Performance Management, International Journal of Management & Information Technology, Vol. 3 No.3, 2013.
- [7] Abdul-Aziz R., DATA, TEXT, AND WEB MINING FOR BUSINESS INTELLIGENCE: A SURVEY, International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process, Vol.3, No.2, 2013.
- [8] Lachlan, J., Business Intelligence for the finance and banking sector, 2011, retrieved (Feb. 2015) on yellowfinbi.com
- [9] Nagasimha, K., Role of Relationship Marketing in Competitive Marketing Strategy, Journal of Management and Marketing Research, Vol. 2, 2009.
- [10] Robert, W., Relationship Marketing, Marketing Science Institute, 2008.
- [11] Mosimann, R., & Connelly, R., The Performance Manager (for Banking), Ottawa: Cognos Press, 2007.

- [12] Boulier, J., & Chambron, C., Selected ALM ISSUES.
Retrieved Feb., 2015, from http://www.actuaries.org/AFIR/Colloquia/Cairns/Boulier_Chambron.pdf.
- [13] Shaker, H., A proposed model for data warehouse ETL processes, Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, Volume 23, Issue 2, 2011.
- [14] Jiawei, H. & Micheline, K., Data Mining: Concepts and Techniques, Second Edition, Elsevier Inc., 2006.
- [15] David, T., Research and Trends in Data Mining Technologies and Applications, Idea Group Inc., 2007.
- [16] Senthil, K., Knowledge Discovery Practices and Emerging Applications of Data Mining: Trends and New Domains, IGI Global, 2011.

Etude ethnobotanique et floristique de quelques plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal dans le secteur de Bakumu-Mangongo (Territoire d'Ubundu, Province de la Tshopo, RD Congo)

[Ethno-botanical and floristic study of some edible caterpillars host plants of medicinal relevance in the Bakumu-Mangongo sector (Ubundu Territory, Tshopo Province, DR Congo)]

E. Okangola¹, E. Solomo¹, Y. Lituka¹, W.B. Tchatchambe¹, M. Mate¹, A. Upoki¹, A. Dudu¹, Justin A. Asimonyio², Pius T. Mpiana³, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua³

¹Faculté des Sciences, Université de Kisangani, B.P. 2012 Kisangani, RD Congo

²Centre de Surveillance de la Biodiversité, Université de Kisangani, RD Congo

³Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2016 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 the plants hosts of the edible caterpillars of medicinal use used in the treatment of the diseases in the sector of Bakumu-Mangongo led to the inventory list of 18 species belonging to 12 different families to Fabaceae prevalence. These plants generally come from the forests secondary (12 species) and dominated especially by the trees (17 species), the phanerophytes in particular the mesophanerophytes (11espèces), the sarcochores (14 species) and with distribution Guineo-congolaise (16 species) among which 9 species are Omni-guineo-congolaise. The drugs are often prepared by decoction or aqueous maceration at basis of the fresh leaves, the roots, the barks of stem or trunk, the bark of root, latexes and are managed by oral route, anal way and bath of the body. Accessibility to the edible caterpillars and the plant species of medicinal value are the positive assets of these resources for the populations. On the other hand, the no-ecological exploitation of these resources could lead to deforestation, disappearance if not rarefaction of the biocenoses and the disturbance of the ecosystems.

KEYWORDS: Congo basin, Forest, Caterpillars host plants, Traditional remedies, No-timber forest products.

RESUME: L'étude des plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal utilisées dans le traitement des maladies dans le secteur de Bakumu-Mangongo a conduit à l'inventaire de 18 espèces appartenant à 12 familles différentes à prédominance Fabaceae. Ces plantes proviennent généralement des forêts secondaires (12 espèces) et dominées surtout par les arbres (17 espèces), les phanérophytes notamment les mésophanérophytes (11espèces), les sarcochores (14 espèces) et à distribution Guinéo-congolaises (16 espèces) parmi lesquelles 9 espèces sont Omni-guinéo-congolaises. Les médicaments sont souvent préparés par décoction ou macération aqueuse à base des feuilles fraîches, des racines, des écorces de tige ou tronc, de l'écorce de racine, de latex et administrés par voie orale, voie anale et bain du corps. L'accessibilité aux chenilles comestibles et aux plantes à usage médicinal sont les atouts positifs de ces essences pour les populations. Par contre, l'exploitation non écologique de ces essences entrainerait la déforestation, la disparition si pas raréfaction des biocénoses et la perturbation des écosystèmes.

MOTS-CLEFS: Bassin du Congo, Forêt, Plantes à chenilles, remèdes traditionnelles, Produits forestiers non ligneux.

1 INTRODUCTION

En Afrique, la difficulté d'accéder aux soins de santé primaire, l'insuffisance et la mauvaise répartition de personnel médical de même que les comportements socioculturels font que plus de 80% de la population recourent à la médecine traditionnelle pour se prendre en charge [1-5]. C'est dans ce cadre que l'approche ethnobotanique constitue une approche très prometteuse en ce sens que la quinine et l'artémisinine (deux molécules tête de série) ont été extraites de plantes utilisées en médecine traditionnelle. Ces garantissent en outre le libre accès au traitement [6].

La République Démocratique du Congo (dont 62% du territoire sont couverts par la forêt, représentant 57,5% de superficie totale du bassin du Congo) est un réservoir de la biodiversité [7-19]. Les forêts de la Province de la Tshopo regorgent, hormis les bois d'œuvre, de grandes potentialités en matière de produits forestiers non ligneux (PFNL). A ce titre, ces derniers contribuent plus à la sécurité alimentaire en vue d'améliorer le bien-être de la population.

Parmi les produits forestiers non ligneux, les chenilles sont comestibles et leur plantes hôtes sont exploitées pour divers usages notamment l'usage médicinal. En effet, ces plantes hôtes des chenilles comestibles sont soumises à l'exploitation forestière tant artisanale qu'industrielle associée à la mauvaise pratique de culture sur brûlis pouvant occasionnées à la longue leur disparition [20]. La faible valorisation de ces ressources à multiples usages par les communautés se justifie par une faible connaissance sur leurs usages. Or, depuis les temps les plus reculés, l'homme, attaqué et affaibli par la maladie, a toujours recouru aux plantes comme remèdes en vue de se soigner [21].

Pour faire face à cette situation, la connaissance des plantes médicinales demeure préoccupante pour l'humanité toute entière. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude sur quelques plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal dans le secteur de Bakumu-Mangongo (Territoire d'Ubundu, Province de la Tshopo). Ce travail suppose que le groupement Babusoko en secteur de Bakumu-Mangobo regorge d'une biodiversité des plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal qui sont diversement utilisés par la population pour diverses maladies.

L'objectif de cette étude est d'inventorier quelques plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal auprès des enquêtés constitués uniquement des tradithérapeutes et de dégager leurs explications l'utilisation (posologie) tout en précisant les organes végétaux utilisés, le mode de préparation, les voies et mode d'administration ainsi que les maladies traitées. Cette étude constitue une contribution à la connaissance des plantes médicinales en vue de faciliter leur mise en valeur par les communautés, la base de la mise en œuvre d'un programme d'aménagement forestier ainsi que de diverses mises en garde à l'égard des exploitants à cause des conséquences néfastes qui peuvent découler de leurs activités.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU ET DURÉE D'ÉTUDE

L'étude a été réalisé dans le secteur Bakumu-Mangongo, allant du PK 25 à 54 sur l'axe routier Kisangani-Ubundu, dans le Territoire d'Ubundu en Province de la Tshopo durant la période de 2013 à 2014.

2.2 MÉTHODOLOGIE

O ENQUETE ETHNOBOTANIQUE ET IDENTIFICATION DES PLANTES

L'étude a été réalisée auprès de 42 enquêtés dont 29 hommes et 13 femmes, tous mariés. Le choix des enquêtés était basé sur les critères suivants :

- avoir une bonne ancienneté dans le milieu (plus ou moins 10 ans) ;
- avoir une connaissance des plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal ;
- avoir des vertus thérapeutiques en médecine traditionnelle,
- être disposé à livrer gratuitement les informations en la matière.

L'enquête ethnobotanique a été réalisée auprès des tradi-thérapeutes et praticiens de diverses ethnies, grâce à un questionnaire d'enquête préétabli à cet effet. Le protocole d'enquête portait sur la tribu, les noms vernaculaires des plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal et les chenilles qui les colonisent, les maladies traitées, les organes ou les parties des plantes utilisées, les modes ou techniques de préparation, la voie ou le mode d'administration, et les caractères bioécologiques des plantes. Un herbier a été constitué et déposé à l'Herbarium de la Faculté des Sciences de l'Université de

Kisangani (Collection Okangola). L'identification du matériel récolté a été faite sur le terrain et à l'herbarium par comparaison avec l'herbier de référence. Un consentement éclairé a été obtenu au près des enquêtés en vue de divulguer les informations obtenues, conformément aux principes de la convention sur la biodiversité [5, 6].

O ANALYSES STATISTIQUES

Pour les analyses des statistiques, nous avons recouru au programme Microsoft office Excel 2007, qui nous a permis de quantifier les réponses et à leur conversion en somme, en fréquence, en moyenne et en pourcentage.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 1 donne la liste des plantes, leurs caractéristiques écologiques et leurs chenilles.

Tableau 1 : Analyse floristique des plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal

Famille	Plantes hôtes	Biotope	Morphologie	Biologie	Diaspore	Géographique	Chenilles comestibles
Apocynaceae	<i>Funtumia africana</i>	F2	A	Méso	Sarco	OGC	<i>Imbrasia epimethea</i>
Arecaceae	<i>Elaeis guineensis</i>	F2	A	Méso	Sarco	Pa	<i>Imbrasia petiveri</i>
Burseraceae	<i>Canarium schweinfurthii</i>	F1	A	Mega	Sarco	At	<i>Gonimbrasia hecate</i>
Euphorbiaceae	<i>Dacryodes edulis</i>	F2	A	Méso	Sarco	AGC	<i>Imbrasia petiveri</i>
	<i>Macaranga monandra</i>	F2	A	Méso	Sarco	OGC	<i>Gonimbrasia hecate</i>
	<i>Ricinodendron heudelotii</i>	F2	A	Meso	Sarco	OGC	<i>Imbrasia truncata</i>
Fabaceae	<i>Albizia adianthifolia</i>	F2	A	Meso	Baro	At	<i>Elaphrodes lactea</i>
	<i>Erythrophleum suaveolens</i>	F1	A	Méga	Ballo	At	<i>Cirina forda</i>
	<i>Piptadeniastrum africanum</i>	F1	A	Méga	Ballo	OGC	<i>Elaphrodes lactea</i>
	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	F1	A	Mega	Baro	BGC	<i>Elaphrodes lactea</i>
Lecythidaceae	<i>Petersianthus macrocarpus</i>	F2	A	Méga	Sarco	OGC	<i>Imbrasia epimethea</i>
Moraceae	<i>Ficus mucoso</i>	F2	A	Méso	Sarco	At	<i>Imbrasia petiveri</i>
Myristicaceae	<i>Pycnanthus angolensis</i>	F2	A	Méso	Sarco	OGC	<i>Elaphrodes lactea</i>
Phyllanthaceae	<i>Bridelia atroviridis</i>	F2	A	Micro	Sarco	G	<i>Anaphe panda</i>
	<i>Uapaca guineensis</i>	F1	A	Meso	Sarco	OGC	<i>Bunaeopsis aurantiaca</i>
Rhamnaceae	<i>Maesopsis eminii</i>	F2	A	Méso	Sarco	OGC	<i>Pseudanthera iscrepans</i>
Salicaceae	<i>Oncoba subtomentosa</i>	Jach	a	Micro	Sarco	BGC	<i>Cymothoe caenis</i>
Urticaceae	<i>Musanga cecropioides</i>	F2	A	Méso	Sarco	OGC	<i>Imbrasia petiveri</i>

Légende : F1: Forêt Primaire; F2: Forêt Secondaire; Jach: Jachère; A: Arbre; a: Arbuste; Méga : Megaphanérophytes; Méso : Moésophanérophytes et Micro : Microphanérophytes; Ballo : Ballochore ; Baro: Barochore ; Sarco: Sarcochore ; AGC: Afrique Guinéo-congolaise ; At: Afrotropicale ; BGC : Bas Guinéo-Congolais ; G : Guinéen ; OGC : Omni Guinéo-Congolaise ; Pa : Pantropicale.

Les 18 espèces des plantes hôtes des chenilles comestibles sont recensées au cours de l'enquête ethnobotanique. Ces plantes sont dominées par les Fabaceae avec quatre espèces (22,22%). La dominance des Fabaceae s'expliquerait par le nombre élevé d'espèces ayant des pieds de grande taille occupant des larges étendues.

Ces plantes sont à majorité des forêts secondaires, avec 12 espèces (66,67%), ceci s'expliquerait par le nombre d'espèces qui occupent ces biotopes et aussi par l'omniprésence de l'action anthropique. Elles sont douées d'un grand pouvoir de

dissémination et possèdent une grande amplitude écologique [22]. Elles sont dominées par les arbres, avec 17 espèces (94,44%), car, elles sont caractéristiques des régions équatoriales humides dont fait partie le territoire étudié.

Le type biologique est dominé par les mésophanérophyles avec 11 espèces (61,11%) car, il est établi que la flore sous le climat équatorial est composée de 88% des phanérophyles [23]. Le type de diaspore est caractérisé par les sarcochores avec 14 espèces (77,78%). Cela est dû au fait qu'ils sont essentiellement zoochores. C'est aussi un mode de dispersion de graines qui caractérise de nombreuses essences des forêts ombrophiles sempervirentes [24].

La distribution géographique montre la prédominance des plantes Guinéo-congolaises avec 16 espèces (88,89%) parmi lesquelles 9 espèces (50%) à distribution Omni-guinéo-congolaises, 4 espèces (22,22%) Afro-tropicales, 2 espèces (11,11%) Bas-guinéo-congolaises et 1 espèce (5,56%) Guinéenne. C'est suite à l'appartenance de différents sites à une même région phytogéographique [25].

3.1 DIAGNOSES ET ETHNO-PHYTOTHERAPIES DES PLANTES ETUDIEES

O *ALBIZIA ADIANTHIFOLIA* (SCHUMACH.) W.F. WIGHT



Figure 1: Rameau feuillé d'*Albizia adianthifolia*

- ✓ Nom pilote: Mepepe
- ✓ Noms vernaculaires: Oléla (Mbole), Lilembe-li-isala(Turumbu), Mbamba (Ngando et Topoke), Kpanga (Kumu), Olumbu (Lengola), Boumbu(Lokele) et Embamba(Soko).
- ✓ Usage médicinal : la décoction des feuilles avec quelques gouttes d'huile de palme dans un verre d'eau est prise par voie orale par jour pendant une semaine contre l'asthme. Le macéré de l'écorce de racine dans un verre d'eau est pris par voie anale pour traiter la hernie. En dehors de cet usage, certains phytothérapeutes signalent l'utilisation de cette plante dans beaucoup d'autres affections telles que les maux de dents, les vomissements, les lombagos, la toux, etc.

O *BRIDELIA ATROVIRIDIS* MULL. ARG



Figure 2: Rameau feuillé et fructifère de *Bridelia atroviridis*

- ✓ Nom pilote: Bolanga
- ✓ Noms vernaculaires: Ohongola (Mbole), Osaku (Turumbu), Geangange (Topoke), Enjegu(Kumu), Kakonge(Lengola), Konge(Lokele), Olianga(Ngando) et Otaku(Soko).
- ✓ Usage médicinal : Quoique relativement fréquent dans tout le milieu, la décoction des jeunes feuilles donne un liquide qui est administré par voie orale pour arrêter la diarrhée chronique. Un phytothérapeute signale la décoction de feuilles en boisson comme remède de la blennorragie.

O *CANARIUM SCHWEINFURTHII* ENGLER



Figure 3: Port de *Canarium schweinfurthii*

- ✓ Nom pilote: Aiélé
- ✓ Noms vernaculaires : Oyele (Mbole), Obele (Topoke et Turumbu), Obaka (Kumu), Bombele (Lengola et Lokele), Weele (Ngando) et Ndongi (Soko).
- ✓ Usage médicinal : Cette espèce est connue comme plante alimentaire (le péricarpe de fruits est comestible) et pour sa résine (ubanién swahili) à odeur agréable. Celle-ci sert à enduire l'intérieur de vases en glaise destinés au stockage d'eau, de boisson et à coller certains ustensiles de cuisine notamment lesalebasses. Autrefois elle

constituait la principale matière d'éclairage du milieu [26]. Quant à l'usage médicinal la résine de la plante avec les feuilles d'*Ipomoea batatas* sont utilisées dans la composition d'un cataplasme résolutif.

O ***DACRYODES EDULIS* (G. DON) H. J. LAM**



Figure 4: Rameau feuillé de *Dacryodes edulis*

- ✓ Nom pilote : Safoutier
- ✓ Noms vernaculaires : Osau (Mbole, Ngando et Soko), Osaw (Turumbu), Osu (Topoke), Nchafu (Kumu), Busau (Lengola) et Bosau (Lokele).
- ✓ Usage: C'est une espèce très souvent rencontrée dans les villages à cause de ses fruits comestibles. Quant à son usage médicinal, le macéré de l'écorce de la racine, dans 1,5 litres d'eau est pris par voie anale pour traiter la hernie.

O ***ELAEIS GUINEENSIS* JACQ.**



Figure 5: Port d'*Elaeis guineensis*

- ✓ Nom pilote : Palmier à huile
- ✓ Noms vernaculaires : Litoko (Mbole, Ngando et Turumbu) ; Litoo, Obila(Topoke) ; Ibiya (Kumu), Ibila (Lengola), Loila (Lokele) et Mbila (Soko).
- ✓ Usage: C'est une espèce commune dans tout le milieu où elle a été introduite artificiellement et cultivée par la population. Les principaux usages du palmier à huile au secteur Bakumu Mangongo comme partout ailleurs, la fabrication d'une huile alimentaire (à partir de la pulpe des fruits, de l'huile palmiste (à partir des amandes), du vin de palme (par saignée des bases d'inflorescences) et préparation d'un sel d'origine végétale (forme liquide ou solide) à partir des cendres d'inflorescences ou de bases de rameaux [21]. En thérapeutique populaire, l'huile de palme est un antidote en cas d'empoisonnement. On l'utilise seule ou en association avec 1 ou 2 œufs préalablement battus. On l'utilise également pour faire aboutir un abcès, un furoncle ou calmer les douleurs

inflammatoires. Pilées avec de la chaux, les pétioles des jeunes feuilles servent à préparer un macéré à administrer en boisson en cas des menaces d'avortement.

O *ERYTHROPHLEUM SUAVEOLENS* (GUILL. ET PERR.) BREMAN



Figure 6: Rameau feuillé d'*Erythrophleum suaveolens*

- ✓ Nom pilote: Tali
- ✓ Noms vernaculaires : Olanda (Mbole, Ngando et Turumbu), Bolanda (Topoke) ; Akoba (Kumu), Bondanda (Lengola et Lokele) et Ogandaganda (Soko).
- ✓ Usage médicinal : En thérapeutique, on utilise ses feuilles en bain de vapeur pour la grippe et la fièvre. L'écorce macérée constitue un violent poison d'épreuve (alcaloïde erythropléine) ; séchée et pulvérisée, elle remédie aux maux de tête ; par les divers alcaloïdes qu'elle contient, elle active les mouvements du cœur, elle permet aussi de teindre le cuir en brun [27].

O *FICUS MUCUSO* WELW. EX FICALHO



Figure 7: Rameau feuillé de *Ficus mucoso*

- ✓ Noms pilotes : Liteli et Efofo
- ✓ Noms vernaculaires : Liselele (Mbole) ; Liwalifufow (Turumbu) ; Logonge (Topoke) ; Mauwa(Kumu) ;Ongou, Bwaalo (Lengola), Oangu (Lokele), Esese(Ngando) et Lihaha (Soko).
- ✓ Usage médicinal : Le décocté de l'écorce du tronc est administré per os en cas d'anémie. La dose est de 2 verres par jour (matin et soir) jusqu'au rétablissement.

O **FUNTUMIA AFRICANA (BENTHAM.) STAFF**



Figure 8: Rameau feuillé de Funtumia africana

- ✓ Nom pilote: Mutondo
- ✓ Noms vernaculaires : Lombe (Mbole); Wembe (Lokele, Ngando et Turumbu), Boembe (Topoke) ; Odjombo (Kumu et Lengola) et Molanga (Soko).
- ✓ Usage médicinal : En thérapeutique, le latex obtenu par l'incision de l'écorce de la tige est appliquée à l'endroit mordu par le serpent comme anti-venin après incision de la peau. La tige des branches est utilisée comme brosse à dent indigène pour se prémunir de la carie dentaire.

O **MACARANGA MONANDRA MÜLL. DRG.**



Figure 9: Rameau feuillé et fructifère de Macaranga monandra

- ✓ Nom pilote: Lisangu
- ✓ Noms vernaculaires : Likoke (Mbole et Ngando), Likoke-li-baino (Turumbu), Lioye (Topoke), Ngengé (Kumu), Akpengé (Lengola), Likombo (Lokele) et Mbolongo (Soko).
- ✓ Usage médicinal : Le décocté aqueux des feuilles de la plante en association avec celles d'*Alchorneacordifolia* est utilisé comme bain de bouche pour éliminer la carie dentaire.

O **MAESOPSIS EMINII ENGL.**



Figure 10: Rameau feuillé et fructifère de *Maesopsis eminii*

- ✓ Nom pilote: Musizi
- ✓ Noms vernaculaires : Otondo (Mbole), Ofambu (Turumbu), Ososongo (Topoke), Ongoongo (Kumu), Mobungi (Lengola), Lilombo (Lokele) et Otondotondo (Ngando).
- ✓ Usage médicinal : En thérapeutique, le macéré de la racine est utilisé dans le traitement des insuffisances cardiaques. Le décocté de l'écorce du tronc mélangé avec le latex de *Funtumia africana* ou *Funtumia elastica* est pris chaque matin et soir lors des crises anémiques graves (Drépanocytose). Il est également utilisé comme purgatif énergétique et diurétique [28].

O **MUSANGA CECROPIOIDES R. BR**

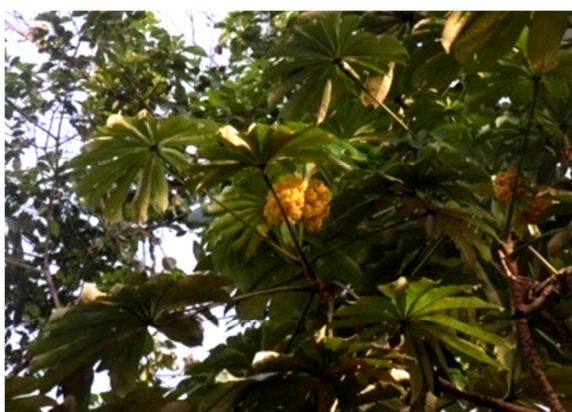


Figure 11: Port de *Musanga cecropioides*

- ✓ Nom pilote: Parasolier
- ✓ Noms vernaculaires : Litumbe (Mbole), Bokombo (Turumbu), Botumbe (Lokele et Topoke), Kombo (Kumu), Ochoi (Lengola), Otumbe (Ngando) et Okombo (Soko).
- ✓ Usage médicinal : L'écorce pilée rend le vin de Canne à sucre plus enivrant. En thérapeutique, les bourgeons servent à préparer les cataplasmes résolutifs pour les abcès, tandis que séchées au soleil, pilées et mélangées avec de l'huile

de palme, les écorces de racines sont prescrites per os comme traitement de maux de cœur. La sève potable s'écoulant, la nuit surtout, des racines sectionnées ; cette sève aurait des propriétés désinfectantes et cicatrisantes [29].

O ***ONCOBA SUBTOMENTOSA* (GILG) HUL & BRETELER**



Figure 12: Rameau feuillé, florifère et fructifère d'Oncoba subtomentosa

- ✓ Nom pilote : Bosake
- ✓ Noms vernaculaires : Liseende (Mbole et Ngando), Likole-li-libande (Turumbu), Lisende (Topoke et Lokele), (Kumu), Oseesende (Lengola) et Sakango (Soko).
- ✓ Usage médicinal : L'écorce des racines pilée puis pressée donne un liquide qu'on instille dans les yeux pour calmer les crises de malaria cérébrale. Les feuilles sont pilées et mélangées avec de l'eau et la solution est administrée par voie anale contre l'anémie.

O ***PETERSIANTHUS MACROCARPUS* (P.BEAUUV.) LIBEN**

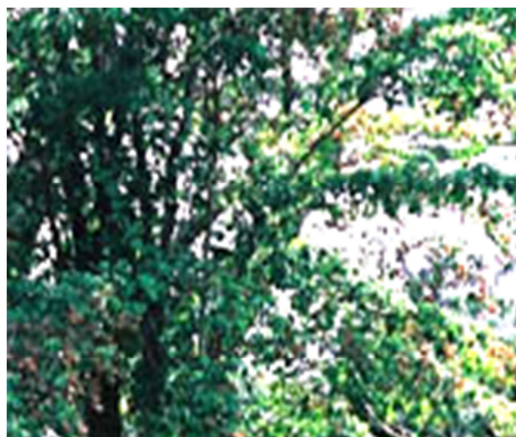


Figure 13: Port de Petersianthus macrocarpus

- ✓ Nom pilote: Essia
- ✓ Noms vernaculaires : Osoho (Mbole) ; Oso (Turumbu) ; Osogo (Topoke); Foyo, Fodjo (Kumu), Osegé (Lengola) et Osoo (Lokele, Ngando et Soko).
- ✓ Usage médicinal : En thérapeutique, le décocté des feuilles ou de l'écorce de la tige est utilisé pour guérir la lombalgie (Indocide indigène) [20] et les maux de ventre (antibiotique et vermifuge). Il est également administré per os comme traitement préventif de la rougeole chez les enfants.

O *PIPTADENIASTRUM AFRICANUM* (HOOKER F.) BRENNAN



Figure 14: Rameau feuillé de *Piptadeniastrum africanum*

- ✓ Nom pilote: Dabéma
- ✓ Noms vernaculaires: Okungu (Mbole et Ngando) ; Olunda (Turumbu) ; Likungu (Soko et Topoke) ; Okondo (Kumu), Buluku (Lengola) et Bolunda (Lokele).
- ✓ Usage médicinal : La poudre obtenue après l'incinération des racines palettes et mélangée avec du sel indigène est sucée pour lutter contre le choléra. Les râpures d'écorces de tiges ramollies au feu servent comme hémostatique et analgésique dans le traitement des hémorroïdes externes. L'écorce à propriétés abortives ; la sève servait comme poison d'épreuve par les yeux [27].

O *PYCNANTHUS ANGOLENSIS* (WELW.) EXELL



Figure 15: Port de *Pycnanthus angolensis*

- ✓ Nom pilote: Ilomba
- ✓ Noms vernaculaires : Lioko (Mbole) ; Likoka (Turumbu) ; Lioo (Topoke) ; Angobé (Kumu), Guba (Lengola) et Liooko (Lokele et Ngando).
- ✓ Usage médicinal : En thérapeutique, la poudre obtenue après incinération de quelques grammes de racines est mélangée avec de l'huile de palme, puis appliquée au muscle anal pour diminuer les douleurs de l'hémorroïde. Le latex cicatriserait les plaies et favoriserait la sécrétion du lait pendant les périodes de lactation, au Cameroun [27].

O *RICINODENDRON HEUDELOTII* (BAILL.) PIERRE EX HECKEL



Figure 16: Rameau feuillé et fructifère de Ricinodendron heudelotii

- ✓ Nom pilote: Essessang
- ✓ Noms vernaculaires : Lisongo (Mbole, Ngando, Topoke, Turumbu), Peke (Kumu), Bupeke (Lengola), Bosongo (Lokele) et Osongo (Soko).
- ✓ Usage: Son bouturage facile fournit des piquets vivants de clôture où il abrite des chenilles comestibles. Le décocté des râpures de racines avec les racines de *Piptadeniastrum africanum* se prescrit en lavement en cas de blennorragie. L'infusion de l'écorce utilisée à lavements, la sève de l'écorce combat la diarrhée [21].

O *SCORODOPHLOEUS ZENKERI* HARMS



Figure 17: Rameau feuillé de Scorodophloeus zenkeri

- ✓ Nom pilote: Divida
- ✓ Noms vernaculaires : Ofili (Mbole, Ngando et Turumbu), Bofili (Lokele, Soko et Topoke), Boyengelé (Kumu) et Bogengele (Lengola).
- ✓ Usage: Les écorces et les feuilles sont utilisées comme condiment en lieu et place des oignons et d'ail [21]. En thérapeutique, les écorces de ses racines renferment des vertus curatives contre le lumbago et les filaires. Le décocté de l'écorce du tronc est pris par voie anale contre le rhumatisme. La macération d'écorces en lavement comme remède de la constipation.

O *UAPACA GUINEENSIS* MULL. ARG



Figure 18: Rameau feuillé d'*Uapaca guineensis*

- ✓ Noms pilotes: Rikio et Bosenge
- ✓ Noms vernaculaires: Osenge (Mbole, Ngando, Soko et Turumbu), Bosenge (Lokele et Topoke), Oteya (Kumu) et Bokongu (Lengola).
- ✓ Usage: Le fruit est comestible. Quant à l'usage médicinal, la décoction des écorces des racines échasses et de tiges traite les maux de dos et de lombalgie. L'écorce à vertus thérapeutiques, sous forme de lavements [27].

Ces ressources phytogénétiques sont utilisées en médecine traditionnelle pour soigner plusieurs maladies [30]. A cet effet, la dégradation de leurs habitats serait préjudiciable à la population locale car en effet, les besoins essentiels des communautés en matière de santé ne seraient plus assurés alors qu'il est bien établi qu'en Afrique, plus de 80% de la population recourent aux plantes et à médecine traditionnelle pour se soigner [1-6]. L'usage des plantes dans le traitement des maladies comporte un certain nombre de traitements des organes végétaux employés dans la préparation des remèdes. Les types de préparation les plus utilisés dans notre milieu sont la décoction et la macération. Ces 2 types de préparation nécessitent un solvant car, elles proviennent des extractions aqueuses, estime Wome [31] que 75% de préparation en ethno-phytothérapie étaient des extractions aqueuses. Outre les deux types de préparation, on recourt aussi à l'incinération et à l'infusion. En ce qui concerne les voies d'administration des remèdes, nous avons constaté que les tradi-praticiens prescrivent principalement la voie orale (per os ou voie buccale), la voie anale et le bain du corps. On recourt aussi à la scarification. Les plantes broyées coupées ou pulvérisées sont mises dans l'eau. Leurs principes actifs passent en solution soit par contact prolongé et exposition au soleil, soit par une ébullition plus ou moins longue, le nombre de parties varie d'une préparation à l'autre sans obéir à une règle définie. La feuille constitue l'organe végétal le plus employé médicalement, viennent ensuite les écorces de tiges ou des troncs, l'écorce de la racine, les racines et le latex. Ceci se justifierait par la permanence des organes végétatifs alors que les organes reproducteurs font parfois défaut au cours d'une saison suite à la phénologie de certaines espèces végétales.

L'accessibilité aux chenilles comestibles et aux plantes médicinales a un impact positif [32]. Ataholo [33] montre que les plantes médicinales sont considérées comme source de revenu. Lisingo *et al.* [34] souligne que l'exploitation des plantes à usage médicinal entraîne la création d'emplois dans la zone rurale. Par contre, l'exploitation irrationnelle des plantes hôtes des chenilles comestibles à usage médicinal entraîne des conséquences négatives sur l'environnement notamment la déforestation, la disparition si pas la raréfaction des ressources fauniques qui dépendent de ces plantes (notamment les chenilles) et la perturbation écologique des habitats [32].

Ainsi, la sensibilisation de la communauté riveraine sur l'importance de ces ressources biologiques et la mise en place de systèmes agro-forestiers à production soutenue pour la conservation ainsi que la régénération assistée des forêts dans cette partie du pays permettrait aussi de réduire les émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts tropicales (initiative REDD+) [16].

4 CONCLUSION ET SUGGESTIONS

La présente étude ethnobotanique a révélé que certaines espèces des plantes hôtes des chenilles comestibles sont aussi douées des propriétés médicinales. En milieu rural comme c'est notamment le cas dans le secteur de Bakumu-Mangongo, les centres médicaux ne sont pas équipés et ne disposent pas des personnels qualifiés. Ainsi, les paysans, faute des moyens financiers, recourent à la médecine traditionnelle et aux plantes médicinales pour leur prise en charge sanitaire. La préservation de ces plantes hôtes des chenilles comestibles doit donc constituer une préoccupation pour les gestionnaires des ressources naturelles renouvelables par la sensibilisation de ces paysans afin de pérenniser ces plantes hôtes à chenilles comestibles en vue d'un meilleur développement durable communautaire.

REFERENCES

- [1] K.N. Ngbolua, H. Rafatro, H. Rakotoarimanana, R.S. Urverg, V. Mudogo, P.T. Mpiana, D.S.T. Tshibangu. Pharmacological screening of some traditionally-used antimalarial plants from the Democratic Republic of Congo compared to its ecological taxonomic equivalence in Madagascar. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 5, no. 5, pp. 1797-1804, 2011a.
- [2] K.N. Ngbolua, H. Rakotoarimanana, H. Rafatro, S.R. Urverg, V. Mudogo, P.T. Mpiana, D.S.T. Tshibangu. Comparative antimalarial and cytotoxic activities of two *Vernonia* species: *V. amygdalina* from the Democratic Republic of Congo and *V. cinerea subsp vialis* endemic to Madagascar. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 5, no. 1, pp. 345-353, 2011b.
- [3] K.N. Ngbolua, N.R. Mubindikila, P.T. Mpiana, C.A. Masengo, R. Baholy, P.R. Fatiany, E.G. Ekutsu, Z.B. Gbolo. *In vitro* Assessment of Antibacterial and Antioxidant activities of a Congolese medicinal plant species *Anthocleista schweinfurthii* Gilg (Gentianaceae). *J. of Modern Drug Discovery and Drug Delivery Research*. V1I3, 20014a. DOI: 10.15297/JMDDR.V1I3.03.
- [4] K.N. Ngbolua, N.R. Mubindikila, P.T. Mpiana, D.S.T. Tshibangu, C.A. Masengo, K.W. Nzongola, R. Baholy, P.R. Fatiany. Phytochemical screening, Antibacterial and Antioxidant activities of *Anthocleista liebrechtsiana* Wild & T. Durand (Gentianaceae) originated from Democratic Republic of the Congo. *Journal of Advancement in Medical and Life Sciences* V1I3, 2014b. DOI: 10.15297/JALS.V1I3.04.
- [5] K.N. Ngbolua, T.T. Bishola, P.T. Mpiana, V. Mudogo, D.S.T. Tshibangu, K.N. Ngombe, E.G. Ekutsu, D.D. Tshilanda, Z.B. Gbolo, T.D. Mwanangombo, P.R. Fatiany, R. Baholy. Ethno-botanical survey, *in vitro* antisickling and free radical scavenging activities of *Garcinia punctata* Oliv. (Clusiaceae). *Journal of Advanced Botany & Zoology* V1I2, 2014e. DOI: 10.15297/JABZ.V1I2.04.
- [6] K.N. Ngbolua. Evaluation de l'activité anti-drépanocytaire et antipaludique de quelques taxons végétaux de la République Démocratique du Congo et de Madagascar, Thèse de Doctorat: Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo : 2012. DOI: 10.13140/RG.2.1.3513.3606.
- [7] J.A. Asimonyio, K. Kambale, E. Shutsha, G.N. Bongo, D.S.T. Tshibangu, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Phytoecological Study of Uma Forest (Kisangani City, Democratic Republic Of The Congo). *J. of Advanced Botany and Zoology*, V3I2. DOI: 10.15297/JABZ.V3I2.01, 2015.
- [8] J.A. Asimonyio, J.C. Ngabu, C.B. Lomba, C.M. Falanga, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Structure et diversité d'un peuplement forestier hétérogène dans le bloc sud de la réserve forestière de Yoko (Ubundu, République Démocratique du Congo). *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 18, no. 2, pp. 241-251, 2015.
- [9] J.M. Tsongo, P. Sabongo, J.K. Kambale, B.T. Malombo, E.W. Katembo, P.K. Kavira, J.A. Asimonyio, P.M. Konga, K.N. Ngbolua. Régénération naturelle de *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard (Leguminosae) dans la réserve forestière de Masako à Kisangani, République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 21, no. 1, pp. 61-68, 2016.
- [10] J. Omatoko, H. Nshimba, J. Bogaert, J. Lejoly, R. Shutsha, J.P. Shaumba, J. Asimonyio, K.N. Ngbolua. Etudes floristique et structurale des peuplements sur sols argileux à *Pericopsis elata* et sableux à *Julbernardia seretii* dans la forêt de plaine de UMA en République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies* Vol. 13, no. 2, pp. 452-463, 2015.
- [11] F.M. Masudi, A. Dudu, G. Katuala, J.A. Asimonyio, P.K. Museu, B.Z. Gbolo, K.N. Ngbolua, 2016. Biodiversité des rongeurs et Soricomorphes de champs de cultures mixtes de la région de Kisangani, République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies* Vol. 14, no. 2, pp. 327-339, 2016.
- [12] K.N. Ngbolua, B.G. Badjedjea, B.J. Akuboy, M.F. Masudi, J.A. Asimonyio, G.N. Bongo, A.D. Siasia. Contribution to the Knowledge of Amphibians of Kponyo village (DR Congo). *J. of Advanced Botany and Zoology*, V4I1 DOI: 10.15297/JABZ.V4I1.04, 2016.

- [13] K.N. Ngbolua., A. Mafoto, M. Molongo, G.M. Ngemale, C.A Masengo, Z.B. Gbolo, P.T. Mpiana, G.N. Bongo. Contribution to the Inventory of "Protected Animals" Sold As Bush Meats in Some Markets of Nord Ubangi Province, Democratic Republic Of The Congo. J. of Advanced Botany and Zoology, V3I2. DOI: 10.15297/JABZ.V3I2.02, 2015.
- [14] K.N. Ngbolua, A. Mafoto, M. Molongo, J.P. Magbukudua, G.M. Ngemale, C.A. Masengo, K. Patrick, H. Yabuda, J. Zama, F. Veke. Evidence of new geographic localization of *Okapia johnstoni* (Giraffidae) in Democratic Republic of the Congo: The rainforest of "Nord Ubangi" district. Journal of Advanced Botany & Zoology. V2I1. DOI: 10.15297/JABZ.V2I1.02, 2014.
- [15] K.N. Ngbolua, G.M. Ngemale., N.F. Konzi, C.A. Masengo, Z.B. Gbolo, B.M. Bangata., T.S. Yangba, N. Gbiangbada. Utilisation de produits forestiers non ligneux à Gbadolite (District du Nord-Ubangi, Province de l'Equateur, R.D. Congo): Cas de *Cola acuminata* (P.Beauv.) Schott & Endl. (Malvaceae) et de *Piper guineense* Schumach. & Thonn. (Piperaceae). Congo Sciences Vol. 2, no. 2, pp. 61-66, 2014.
- [16] J.K. Kambale, F.M. Feza , J.M. Tsongo , J.A. Asimonyio , S. Mapeta , H. Nshimba , B.Z. Gbolo , P.T. Mpiana , K.N. Ngbolua. La filière bois-énergie et dégradation des écosystèmes forestiers en milieu périurbain: Enjeux et incidence sur les riverains de l'île Mbiye à Kisangani (République Démocratique du Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 21, no. 1, pp. 51-60, 2016.
- [17] J.U. Thumitho, T.B. Mambo, C.C. Urom, J.C. Ngab'u, A.B. Kankonda, A.P. Ulyel, M.G. Ngemale, K.N. Ngbolua. Ecologie alimentaire de *Ichtyoborus besse congolensis* (Giltay, 1930 ;Teleostei: Distichodontidae) de rivière Biaro et son affluent Yoko dans la Réserve forestière de Yoko (RD Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 21, no. 2, pp. 330-341.
- [18] T.B. Mambo, J.U. Thumitho, E.L. Tambwe, C.M. Danadu, J.A. Asimonyio, A.B. Kankonda, J.A. Ulyel, C.M. Falanga, K.N. Ngbolua. Etude qualitative du régime alimentaire de *Hippopotamyrus psittacus* (Boulenger, 1897: Osteiglossiformes, Mormyridae) du fleuve Congo à Kisangani (RD Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 21, no. 2, pp. 321-329, 2016.
- [19] B.G. Badjedjea, B.J. Akuboy, M.F. Masudi, J.A. Asimonyio, K.P. Museu, K.N. Ngbolua. A preliminary survey of the amphibian fauna of Kisangani eco-region, Democratic Republic of the Congo. J. of Advanced Botany and Zoology, V3I4.DOI: 10.15297/JABZ.V3I4.01, 2015.
- [20] M. Mate. La précarité de l'exploitation des ressources naturelles renouvelables : cas de la flore de la Province Orientale (RDC) en cette période des guerres et de la recherche de paix. ILDP, Kinshasa, pp. 49-63, 2002.
- [21] K. Mabika. Plantes médicinales et Médecine traditionnelle au Kasai Occidental. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 510p, 1983.
- [22] J. Lebrun, G. Gilbert. Une classification écologique des forêts du Congo Belge. INEAC, Série Ss. No. 63, Bruxelles, 89p, 1954.
- [23] M. Nyakabwa. Phytocénose de l'écosystème urbain de Kisangani. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, Vol. 1, 2 & 3. 998p, 1982.
- [24] B.L. Lomba. Contribution à l'étude de la phytodiversité de la Réserve Forestière de Yoko (Ubundu, République Démocratique du Congo). Mémoire de D.E.S., Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 72p, 2007.
- [25] M.B. Ndjele. Les éléments phytogéographiques endémiques dans la florevasculaire du Zaïre. Thèse de Doctorat. Labo. Bot. Syst&Phyt, Université Libre de Bruxelles, 528p, 1988.
- [26] K. Kalanda, M. Ataholo, L. Ongendangenda. Contribution à l'étude des plantes utilisées dans le traitement du diabète dans la ville de Kisangani (Zaïre), Ann. Fac. Sci, Université de Kisangani, Vol. 8, pp. 37-49, 1992.
- [27] Y. Tailfer. La forêt dense d'Afrique Centrale : Identification pratique des principaux arbres : Approche botanique et systématique. Tome I (II). CTA, Pays-Bas, 456 (1271) p, 1989.
- [28] J. Kerharo. Recherches ethnopharmacognosiques sur les plantes toxiques de la pharmacopée sénégalaise traditionnelle. Thèse de doctorat. Fac. Mixte. Méd. Ed. Pharm., Université de Dakar, 185p, 1971.
- [29] M. Biloso. Valorisation des produits forestiers non ligneux des plateaux de Batekeen périphérie de Kinshasa (RD Congo). Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles, 167p, 2008.
- [30] H.D. Neuwinger. African Traditional Medicine. Mepharm Scientific Publisher, Stuttgart, 2000.
- [31] B. Wome. Recherches ethnopharmacognosiques sur les plantes médicinales utilisées en médecine traditionnelle à Kisangani (Haut-Zaïre). Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, Belgique. 562p, 1985.
- [32] E.W. Okangola. Contribution à l'étude biologique et écologique des chenilles comestibles de la Région de Kisangani. Cas de la Réserve Forestière de Yoko (Ubundu, R.D. Congo). Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 79 p, 2007.
- [33] M. Ataholo. Plantes médicinales de Buta. Mémoire, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 106p, 1988.
- [34] J. Lisingo, J-L. Wetsi et H. Ntahobavuka. Enquête sur les chenilles comestibles et les divers usages de leurs plantes hôtes dans les districts de Kisangani et de la Tshopo (RD Congo), Geo. Eco. Trop., Vol. 34, pp. 139-146, 2010.

Biodiversité des rongeurs et musaraignes de la forêt de Yasikia (Opala, République Démocratique du Congo)

[Rodents and Shrews biodiversity of Yasikia forest (Opala, Democratic Republic of the Congo)]

Esther Y. Isangi¹, Emmanuela M. Katungu², Corneille K. Mukirania¹, Jonathan K. Kosele¹, Pascal Baelo¹, Elie P. Bugenthos¹,
Sylvestre Gambalemoke^{1,2}, Justin A. Asimonyio¹, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua³

¹Centre de Surveillance de la Biodiversité, Université de Kisangani, RD Congo

²Faculté des Sciences, Université de Kisangani, RD Congo

³Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2016 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 is a contribution to the knowledge of Rodents and Shrews diversity in Yasikia forest, located at 31 Km from Kisangani, on the road towards Opala. On transects, Rodents and Shrews were sampled using the protocol with [xPF, ySH]. A total of 13 sampling lines were observed during 15 days (from March 26 to 11 April 2015). As results, we collected 74 shrews, belonging to two genera at least 9 species; 68 rodents which represent 9 genera and 12 species. In total, we collected 145 small mammals, with a trapping effort of 6478 trap-nights. The specific biodiversity and trapping success showed that Pitfall traps are the most efficient to capture Shrews. It also catches small Rodents and adult such as *N. cf. grata*, and other adults' rodents as *Praomys* genera, but with reduced number. Sherman traps are more effective to catch Rodents. They also catch shrews in reduced number. The trappings were conducted in three habitats. In the primary forest *G. dewevrei* (EC = 1060 night-traps, 50 specimens, 14 species, and TS = 4.72%), mixed primary forest (EC = 1500 night-traps, 69 specimens, 15 species, and TS = 4.6%) and fallow land (EC = 440 night-traps, 23 specimens, 9 species, and TS = 5.23%). No new species was announced but rather the presence of three endemic species of which two (*C. goliath* and *L. huttereri*) are rare.

KEYWORDS: Biodiversity, Small mammals, Endemic species, Trapping capture, Democratic Republic of the Congo.

RÉSUMÉ: Cette étude est une contribution à la connaissance de la biodiversité des Rongeurs et des Musaraignes dans la forêt de Yasikia, située à 31 Km de Kisangani, sur la route Opala. Un piégeage sur 13 lignes au moyen du dispositif [xPF, ySH] a été effectué pendant 15 jours de relevé, soit du 26 mars au 11 avril 2015. Cet échantillonnage a permis d'obtenir 145 spécimens dont 74 Musaraignes, réparties en deux genres et 9 espèces ; 68 Rongeurs répartis en 9 genres et 12 espèces pour un effort de capture de 6478 nuits-pièges. La biodiversité spécifique et le trapping success montrent que les pièges Pitfall sont les mieux appropriés pour capturer les musaraignes. Ils capturent aussi des Rongeurs de petite taille tels que *N. cf. grata*, des jeunes et adultes d'autres Rongeurs du genre *Praomys*, mais avec des effectifs réduits. Les pièges Sherman quant à eux, s'avèrent efficaces pour capturer des Rongeurs. Ils capturent aussi de Musaraignes mais en petit nombre. Les piégeages étaient effectués en trois habitats : la forêt primaire à *Gilbertiodendron dewevrei* (EC = 1060 nuit-pièges, 50 spécimens, 14 espèces et TS = 4,72%), de la forêt primaire mixte (EC = 1500 nuit-pièges, 69 spécimens, 15 espèces et TS = 4,6%) et enfin de la jachère (EC = 440 nuit-pièges, 23 spécimens, 9 espèces et TS=5,23%). Aucune espèce nouvelle n'a été signalée mais plutôt la présence de trois espèces endémiques dont deux (*C. goliath* et *L. huttereri*) sont rares.

MOTS-CLEFS: Biodiversité, petits mammifères, espèces endémiques, Techniques de capture, République Démocratique du Congo.

LISTE DES ABRÉVIATIONS : TS Trapping succes ou rendement de capture, NP Nuit piège, Eq Equitabilité, EC Effort de capture, D indice de diversité de Smpson, H indice de diversité de Shannon, JJ Jachère jeune, FPM Forêt primaire mixte, FPG Forêt primaire en *Gilbertiodendron dewevrey*, PF Piège pitfall, SH piège Sherman, RS Richesse spécifique.

1 INTRODUCTION

La République Démocratique du Congo (RDC) compte parmi les 17 régions du monde qui abritent des "hotspots" c'est à dire des zones de forte biodiversité de la flore et de la faune [1-14]. La région de Kisangani est située dans la cuvette centrale congolaise du bassin du Congo, constitue un de ces pools de la méga-biodiversité et d'endémisme faunique [15].

Elle n'est pas à ignorer, la richesse faunique de la RDC du fait qu'elle forme un maillon dans la chaîne trophique naturelle et contribue au maintien de l'équilibre biologique. Cette faune beaucoup plus diversifiée, joue un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes sous plusieurs aspects. Elle occupe des milieux très divers et contribue au maintien de l'équilibre biologique grâce au maillon qu'elle forme dans la chaîne trophique. Les Musaraignes et les Rongeurs constituent un modèle biologique intéressant pour les études à l'échelle du paysage, en raison de leur implication dans de nombreux processus éco-systémiques, socio-économiques, alimentaires et épidémiologiques [16]. Ils sont en intense interaction avec leur environnement et ont des effets complexes sur les autres organismes.

Les écosystèmes forestiers tropicaux sont très menacés de dégradation suite aux divers facteurs tels que le changement climatique régional et les types d'activités anthropiques qui y sont pratiquées [17]. En dépit de l'exploitation à faible intensité de prélèvement, les forêts d'Afrique en général, celles de la RDC en particulier, subissent une dégradation touchant à la fois la structure et la composition du couvert végétal, l'hydrologie, les sols ainsi que la faune [18]. La biodiversité unique de la RDC se trouve malheureusement dans ce contexte de pression des menaces multiples qui entraînent, la disparition continue des habitats naturels à cause des activités humaines. Bon nombre d'espèces et certains types d'habitats deviennent de plus en plus rares et même à la porte de l'extinction avant qu'elles ne soient connues [19]. La présente étude a pour but de d'évaluer la biodiversité des musaraignes et des rongeurs de la forêt de Yasikia et l'efficacité des pièges utilisés pour capturer ces animaux.

2 MATERIEL ET METHODES

Le matériel biologique est constitué de 145 petits mammifères dont 74 musaraignes et 71 rongeurs tous capturés à Yasikia, un village situé à 31 Km de la ville de Kisangani (figure 1).

Deux types de piège étaient installés en combinaison pour la capture des petits mammifères Notamment le piège pitfall et le piège sherman (figure 2a-c).

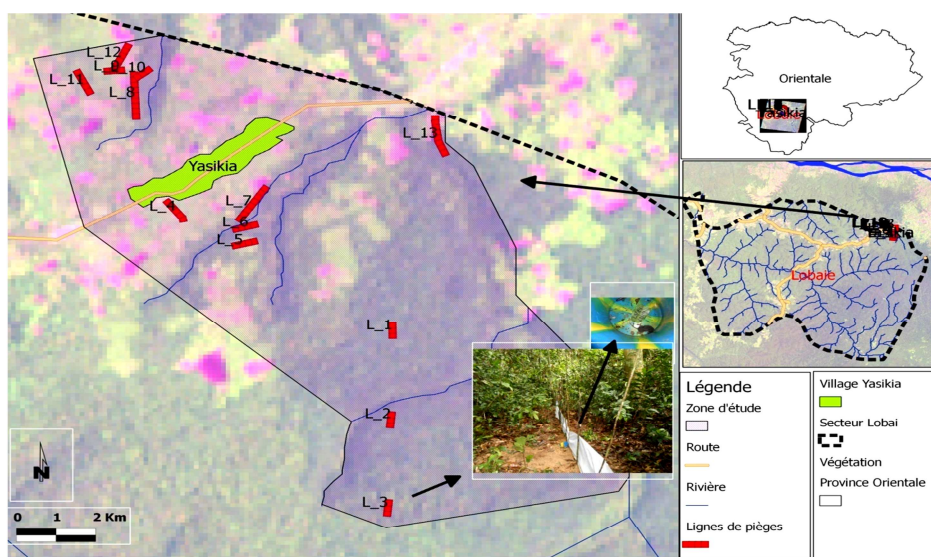


Figure 1. Localisation des différentes lignes installées en forêt de Yasikia



Figure 2. Les différentes lignes du dispositif [20 PF, 20 SH] : (a) en FPG, (b) en FPM et (c) en JJ.

L'identification de musaraignes et rongeurs était faite sur base des caractères morphologiques externes en se servant du guide des Mammifères d'Afrique [20] et de la clé d'identification des musaraignes de la région de Kisangani.

Cinq mesures étaient prises sur chaque carcasse de musaraignes et rongeurs. La biomasse corporelle (BMC) était prise en gramme près à l'aide de peson de marque Pesola de 10, 30, 60 et de 100 g selon la taille de la bête ; La longueur de l'oreille gauche (LO) et la longueur du pied postérieur gauche (LP) étaient prises avec le pied à coulisse (marque Hogetex à 0,01 mm près). La longueur de la queue (LQ) et la longueur totale du corps (LT) étaient prises au moyen d'une latte métallique graduée de 300 mm et 500 mm, marque Stainless Chinese.

Les indices de diversité ont été calculés à l'aide du logiciel Past version 1.94b et pour comparer le rapport des mâles sur les femelles au sein de deux groupes, nous avons utilisé le Test F de Snédécour au seuil de signification $\alpha = 0,05$.

3 RESULTATS

3.1 COMPOSITION DES PEULEMENTS DE MUSARAIGNES ET RONGEURS

Le tableau 1 donne la biodiversité de petits mammifères capturés à Yasikia.

Tableau 1. Diversité biologique de petits mammifères capturés à Yasikia selon leur sexe

Genre/espèce	M	F	M/F	Total général	%
Soricomorpha					
<i>Crocidura cf. latona</i>	1	1	0	2	2,70
<i>Crocidura latona</i>	9	2	0	11	14,86
<i>Crocidura cf. dolichura</i>	2	1	0	3	4,05
<i>Crocidura goliath</i>	0	1	0	1	1,35
<i>Crocidura cf. littoralis</i>	2	0	0	2	2,70
<i>Crocidura ludia</i>	21	9	0	30	40,54
<i>Crocidura sp.</i>	1	0	0	1	1,35
<i>Crocidura cf. olivieri</i>	5	13	0	18	24,32
<i>Sylvisorex cf. ollula</i>	4	2	0	6	8,11
Total	45	29	0	74	100
Rodentia					
<i>Hybomys cf. lunaris</i>	2	3	0	5	7,35
<i>Hylomyscus cf. aeta</i>	5	8	0	13	19,12
<i>Hylomyscus parvus</i>	1	0	0	1	1,47
<i>Lemniscomys cf. striatus</i>	0	1	0	1	1,47
<i>Lophuromys huttheri</i>	0	1	0	1	1,47
<i>Lophuromys sp</i>	2	2	0	4	5,88
<i>Malacomys longipes</i>	0	1	0	1	1,47
<i>Nannomys cf. grata</i>	4	4	1	9	13,24
<i>Praomys sp1.</i>	5	6	0	11	16,18
<i>Praomys sp2.</i>	9	7	0	16	23,53
<i>Oenomys hypoxanthus</i>	0	1	0	1	1,47
<i>Stochomys longicaudatus</i>	4	4	0	8	11,76
Total	32	38	1	71	100
Total général	77	67	1	145	100
%	53	46	1	100	

Il ressort du tableau 1 que 145 petits mammifères capturés dans la forêt de Yasikia sont repartis en deux groupes : 74 musaraignes (2 genres et 8 espèces et 1 sp soit 51%) et 71 rongeurs (soit 9 genres, au moins 12 espèces, 49%).

La répartition des individus selon les sexes montre que nous avons capturé dans l'ensemble plus de mâles 53% que de femelles (F) 46%. Cette répartition par groupe montre que le rapport entre mâles et femelles chez les rongeurs aussi bien que chez les musaraignes s'avèrent non significatif ($p>0,05$).

3.2 EFFICACITE DE PIEGE DANS LA CAPTURE DES MUSARAIGNES ET DES RONGEURS

Chez les Musaraignes, 61 pièges PF installés sur 5 transects ont fourni 58 musaraignes appartenant à 2 genres et 9 espèces (*C. cf. latona*, *C. latona*, *C. cf. dolichura*, *C. goliath*, *C. ludia*, *C. cf. littoralis*, *C. cf. olivieri* et *S. cf. ollula*, *Crocidura sp*), un EC de 4343 NP et un TS = 1,34%.

Les 160 pièges Sherman sur 13 lignes n'ont fourni que 16 musaraignes appartenant à 5 espèces avec un EC de 2135 et un TS égal à 0,74%.

Tableau 2. Indices de diversité biologique de Rongeurs et Musaraignes capturés en trois habitats de la forêt de Yasikia

Genre/espèce	FPG	FPM	JJ	Total général
Soricomorpha				
<i>Crocidura cf. latona</i>	0	2	0	2
<i>Crocidura latona</i>	4	7	0	11
<i>Crocidura cf. dolichura</i>	0	2	1	3
<i>Crocidura goliath</i>	0	1	0	1
<i>Crocidura cf. littoralis</i>	2	0	0	2
<i>Crocidura ludia</i>	9	19	2	30
<i>Crocidura sp.</i>	0	1	0	1
<i>Crocidura cf. olivieri</i>	4	12	2	18
<i>Sylvisorex cf. ollula</i>	3	3	0	6
Total	22	47	5	74
Rodentia				
<i>Hybomys cf. lunaris</i>	2	2	1	5
<i>Hylomyscus cf. aeta</i>	4	5	3	13
<i>Hylomyscus parvus</i>	1	0	0	1
<i>Lemniscomys cf. striatus</i>	1	0	0	1
<i>Lophuromys huttereri</i>	0	0	1	1
<i>Lophuromys sp</i>	3	1	0	4
<i>Malacomys longipes</i>	0	1	0	1
<i>Nanomys cf. grata</i>	3	0	6	9
Genre/espèce	FPG	FPM	JJ	Total général
<i>Praomys sp1</i>	4	4	3	11
<i>Praomys sp2</i>	7	5	4	16
<i>Stochomys longicaudatus</i>	3	4	0	7
Total	28	22	18	68
Effectif/espèce	50	69	23	
RS (richesse spécifique)	14	15	9	
Nuit-piège	1060	1500	440	
TS	4,72	4,6	5,23	
Shannon_H	2,48	2,29	2,02	
Simpson_1-D	0,90	0,86	0,85	
Equitabilité	0,94	0,84	0,92	

A l'aide de dispositif [PF, SH] dans les trois habitats exploités, nous avons les résultats ci-dessous :

- o En FPG, 50 spécimens capturés, à l'issue d'un EC de 1060 NP, soit une richesse spécifique de 14 espèces et un TS de 4,72 %.
- o En FPM, 69 spécimens, à l'issue d'un EC de 1500 NP, soit un TS de 4,6% et 15 espèces.
- o En JJ, 23 spécimens capturés, à l'issue d'un EC de 440 NP avec 9 espèces avec un TS de 5,23%.

En FPG : H = 2,48; D = 0,90; Eq = 0,94 et RS = 14

En FPM : H = 2,29; D = 0,86; Eq = 0,85 et RS = 15

En JJ : H = 2,02; D = 0,85; Eq = 0,92 et RS = 9.

L'indice H de Shannon-winner montre que la biodiversité est élevée dans les trois habitats. L'indice d'Equitabilité montre une équi-répartition des individus dans les espèces. L'indice de Simpson est égal à 0,90 en FPG, 0,86 en FPM et 0,85 en JJ. Cet indice montre que la probabilité pour que deux individus tirés au hasard dans l'échantillon appartiennent à deux espèces différentes est presque la même dans les trois habitats : en FPG (90%) en FPM (86%) et (85%) JJ.

4 DISCUSSION

La session de capture dont les résultats sont présentés ici, était faite du 27 mars au 11 avril 2015 au PK31 dans le village Yasikia. L'échantillonnage a fourni au total 74 musaraignes et 71 rongeurs.

L'examen comparatif des résultats démontre que la diversité des musaraignes et des rongeurs est différente dans les trois habitats. En effet, pour un nombre différent de prélèvements, la JJ (440 NP et TS =5,23%) présente un rendement de capture élevé par rapport à la FPM (1500 NP et un TS =4,75%) et la FPG (1060NP et un TS= 4,6%). De ce fait, sa richesse ne reflète pas exactement la situation réelle de cet habitat car il n'a pas été échantillonné avec le même effort de capture.

Ces différences seraient dues en partie à la répartition de la végétation, la hauteur de la litière, la préférence écologique et la mobilité de ces animaux.

Ayant utilisé deux techniques d'échantillonnage pour les Musaraignes, 74 spécimens étaient collectés. Le nombre de spécimens ainsi que la richesse spécifique issus de pitfall est de 58 et 9 espèces, EC= 4343 NP.

Ces résultats affirment que les pièges Pitfall sont réputés jusqu'à ces jours les plus performants que les pièges Sherman pour l'échantillonnage des musaraignes. Ces résultats ont été confirmés antérieurement par d'autres études [21], [22] Probablement, c'est à cause, de leurs sens olfactifs élevés et l'habitude alimentaire que les musaraignes soient attirées par les insectes tombés dans les seaux.

Pour [22], elles y tombent du fait qu'elles ne reculent pas une fois qu'elles se heurtent contre la bâche, bien au contraire, elles la longent jusqu'à tomber dans les seaux.

Quant à la Richesse spécifique, ces musaraignes capturées appartiennent à deux genres (*Crocidura* et *Sylvisorex*) et 8 espèces. (*C. cf. latona*, *C. latona*, *C. cf. dolichura*, *C. goliath*, *C. cf. littoralis*, *C. ludia*, *C. cf. olivieri* et *Sylvisorex cf. ollula*).

[21] en 2014 au cours de 12 sessions de capture à la Yoko a fourni 2019 Musaraignes réparties en 4 genres et 16 espèces identifiées et le 17ème identifiée jusque au niveau du genre. Tandis qu'à Yasikia au cours d'une session de capture nous avons capturé 74 Musaraignes réparties en 2 genres 8 espèces identifiées et la 9 ème identifiée jusque au niveau du genre. Cette comparaison nous pousse à dire que Yasikia est plus diversifiée que Yoko. Toutes ces espèces sont communes aux deux rives du fleuve Congo, excepté *C. goliath* qui est endémique à la rive gauche et qui appartient à l'échelon des espèces très rares.

Selon [23], le genre *Crocidura* est très commun, il se retrouve presque partout en Afrique Subsaharienne avec une fréquence élevée. Les espèces du genre *Crocidura* sont très diversifiées et numériquement plus nombreux partout, elles s'adaptent facilement à tous les biotopes. Ce même constat a été fait dans la région de Kisangani lors des études faites par [21] et [22], avec au moins 11 espèces dans cette région.

Les 71 Rongeurs capturés appartiennent à 9 genres et 8 espèces identifiées et 3 génériques qui fait 11 espèces (*Hybomys cf. lunaris*, *Hylomyscus cf. aeta*, *Hylomyscus parvus*, *Lemniscomys cf. striatus*, *Malacomys longipes*, *Nannomys cf. grata*, *Stochomys longicaudatus*, *Lophuromys hutthereri* et *S. longicaudatus*).

Ces résultats ne corroborent pas avec ceux antérieurement trouvés à la rive droite du fleuve Congo, dans la région de Kisangani, qui montrent que *P. cf. jacksoni*, *H. stella* sont abondantes en termes d'individus [17], [24]

La distribution des espèces dans les habitats d'étude montre que les espèces *H. cf. lunaris* et *H. cf. aeta* sont présentes dans les trois habitats explorés.

En définitive, la composition spécifique des Rongeurs et Musaraignes de la forêt de Yasikia ne s'écarte pas de celle de petits mammifères des autres localités de la région de Kisangani dont la dominance est d'un ou deux espèces avec une richesse spécifique d'au moins 11 espèces.

Le succès de capture, la richesse spécifique et l'abondance relative varient entre les habitats explorés même si le meilleur score est observé en forêt primaire mixte et une légère décroissance en jachère.

5 CONCLUSION

Le but de la présente étude était d'évaluer la biodiversité des rongeurs et musaraignes de la forêt de Yasikia. Deux techniques de piégeage ont été utilisées sur 13 transects, dont 5 lignes de dispositif Pitfall-Sherman et 8 lignes Sherman uniquement. Les pièges traditionnels ont été installés pour l'échantillonnage des écureuils mais ont fourni 3 rongeurs inclus dans cette étude. Ces différentes lignes n'ont pas fonctionné au même moment ni durant le même nombre de jour.

A la fin de la session de capture, nous avons répertorié 145 petits mammifères dont 71 Rongeurs et 74 Musaraignes repartis en 11 genres, 17 espèces et 4 sp soit 21 espèces. Aucune espèce nouvelle n'a été signalée mais plutôt la présence de trois espèces endémiques dont deux (*C. goliath* et *L. hutthereri*) sont rares.

REFERENCES

- [1] J.A. Asimonyio, K. Kambale, E. Shutsha, G.N. Bongo, D.S.T. Tshibangu, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Phytoecological Study of Uma Forest (Kisangani City, Democratic Republic Of The Congo). J. of Advanced Botany and Zoology, V3I2. DOI: 10.15297/JABZ.V3I2.01, 2015.
- [2] J.A. Asimonyio, J.C. Ngabu, C.B. Lomba, C.M. Falanga, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Structure et diversité d'un peuplement forestier hétérogène dans le bloc sud de la réserve forestière de Yoko (Ubundu, République Démocratique du Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 18, no. 2, pp. 241-251, 2015.
- [3] J.M. Tsongo, P. Sabongo, J.K. Kambale, B.T. Malombo, E.W. Katembo, P.K. Kavira, J.A. Asimonyio, P.M. Konga, K.N. Ngbolua. Régénération naturelle de *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard (Leguminosae) dans la réserve forestière de Masako à Kisangani, République Démocratique du Congo. International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 21, no. 1, pp. 61-68, 2016.
- [4] J. Omatoko, H. Nshimba, J. Bogaert, J. Lejoly, R. Shutsha, J.P. Shaumba, J. Asimonyio, K.N. Ngbolua. Etudes floristique et structurale des peuplements sur sols argileux à *Pericopsis elata* et sableux à *Julbernardia seretii* dans la forêt de plaine de UMA en République Démocratique du Congo. International Journal of Innovation and Applied Studies Vol. 13, no. 2, pp. 452-463, 2015.
- [5] F.M. Masudi, A. Dudu, G. Katuala, J.A. Asimonyio, P.K. Museu, B.Z. Gbolo, K.N. Ngbolua, 2016. Biodiversité des rongeurs et Soricomorphes de champs de cultures mixtes de la région de Kisangani, République Démocratique du Congo. International Journal of Innovation and Applied Studies Vol. 14, no. 2, pp. 327-339, 2016.
- [6] K.N. Ngbolua, B.G. Badjedjea, B.J. Akuboy, M.F. Masudi, J.A. Asimonyio, G.N. Bongo, A.D. Siasia. Contribution to the Knowledge of Amphibians of Kponyo village (DR Congo). J. of Advanced Botany and Zoology, V4I1 DOI: 10.15297/JABZ.V4I1.04, 2016.
- [7] K.N. Ngbolua., A. Mafoto, M. Molongo, G.M. Ngemale, C.A. Masengo, Z.B. Gbolo, P.T. Mpiana, G.N. Bongo. Contribution to the Inventory of "Protected Animals" Sold As Bush Meats in Some Markets of Nord Ubangi Province, Democratic Republic Of The Congo. J. of Advanced Botany and Zoology, V3I2. DOI: 10.15297/JABZ.V3I2.02, 2015.
- [8] K.N. Ngbolua, A. Mafoto, M. Molongo, J.P. Magbukudua, G.M. Ngemale, C.A. Masengo, K. Patrick, H. Yabuda, J. Zama, F. Veke. Evidence of new geographic localization of *Okapia johnstoni* (Giraffidae) in Democratic Republic of the Congo: The rainforest of "Nord Ubangi" district. Journal of Advanced Botany & Zoology. V2I1. DOI: 10.15297/JABZ.V2I1.02, 2014.
- [9] K.N. Ngbolua, G.M. Ngemale., N.F. Konzi, C.A. Masengo, Z.B. Gbolo, B.M. Bangata., T.S. Yangba, N. Gbiangbada. Utilisation de produits forestiers non ligneux à Gbadolite (District du Nord-Ubangi, Province de l'Equateur, R.D. Congo): Cas de *Cola acuminata* (P.Beauv.) Schott & Endl. (Malvaceae) et de *Piper guineense* Schumach. & Thonn. (Piperaceae). Congo Sciences Vol. 2, no. 2, pp. 61-66, 2014.
- [10] J.K. Kambale, F.M. Feza, J.M. Tsongo, J.A. Asimonyio, S. Mapeta, H. Nshimba, B.Z. Gbolo, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. La filière bois-énergie et dégradation des écosystèmes forestiers en milieu périurbain: Enjeux et incidence sur les riverains de l'île Mbiye à Kisangani (République Démocratique du Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 21, no. 1, pp. 51-60, 2016.
- [11] J.U. Thumitho, T.B. Mambo, C.C. Urom, J.C. Ngab'u, A.B. Kankonda, A.P. Ulyel, M.G. Ngemale, K.N. Ngbolua. Ecologie alimentaire de *Ichthyoborus besse congolensis* (Giltay, 1930 ;Teleostei: Distichodontidae) de rivière Biaro et son affluent Yoko dans la Réserve forestière de Yoko (RD Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 21, no. 2, pp. 330-341.
- [12] T.B. Mambo, J.U. Thumitho, E.L. Tambwe, C.M. Danadu, J.A. Asimonyio, A.B. Kankonda, J.A. Ulyel, C.M. Falanga, K.N. Ngbolua. Etude qualitative du régime alimentaire de *Hippopotamys psittacus* (Boulenger, 1897: Osteiglossiformes, Mormyridae) du fleuve Congo à Kisangani (RD Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 21, no. 2, pp. 321-329, 2016.
- [13] B.G. Badjedjea, B.J. Akuboy, M.F. Masudi, J.A. Asimonyio, K.P. Museu, K.N. Ngbolua. A preliminary survey of the amphibian fauna of Kisangani eco-region, Democratic Republic of the Congo. J. of Advanced Botany and Zoology, V3I4.DOI: 10.15297/JABZ.V3I4.01, 2015.
- [14] K.J. Gaston, J.I. Spicer. Biodiversity: An introduction. Second edition, Blackwell Publishing Company, Oxford, UK, 2004.
- [15] M. Colyn M. L'importance zoogéographique du bassin du fleuve Zaïre pour l'espéciation : cas des Primates simiens. *Annales des Sciences Zoologiques* (Musée Royal de l'Afrique Centrale Tervuren, Belgique), vol. 264, pp. 4-10, 1991.
- [16] O. Delzons. Guide des méthodes d'évaluation écologique des milieux naturels. Museum National d'Histoire Naturelle-UNICEM, 2010.
- [17] G.B. Katuala. Biodiversité et biogéographie des rongeurs myomorphes et sciuriformes (*Rodentia: Mammalia*) de quelques blocs forestiers de la région de Kisangani (République Démocratique du Congo), Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 2009.

- [18] J.P. Vande Weghe. Forêts d'Afrique Centrale: La nature et l'homme. Lannoo, ADIE, ECOFAC, FFEM Tielt, Belgique, 2004.
- [19] I. Mukinzi. Composition et structure des peuplements de Soricidae (*Soricomorpha*, *Mammalia*) de la Réserve Forestière de la Yoko et de ses environs (Kisangani, RD Congo), Mémoire de DES, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 2009.
- [20] J. Kingndon. Guide des Mammifères d'Afrique. Ed. Delachaux et Niestlé, 2006.
- [21] I. Mukinzi. Biodiversité et Ecologie des musaraignes (*Soricomorpha*, *Mammalia*) de la Réserve Forestière de la Yoko et des milieux perturbés environnants (Kisangani, R.D. Congo). Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 2014.
- [22] M. Gambalemoke. Phylogénie et biodiversité des Musaraignes (*Soricomorpha*, *Crocidurinae*) en Cuvette Congolaise (Kisangani, RD Congo). Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 2014.
- [23] R.B. Ndara. Les musaraignes outils de conservation du rift albertin (Est de la République Démocratique du Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 12, no. 1, pp. 256-265, 2014.
- [24] A.M. Dudu. Etude du peuplement d'Insectivores et de Rongeurs de la Forêt ombrophile de basse altitude au Zaïre (Kisangani, Masako). Thèse de doctorat, Antwerpen University, 1991.

Evaluation du processus d'ingénierie de formation: Cas des encaisseurs de l'ONEP

[Evaluation of training engineering process: Case of collectors of ONEP]

Safa CHERKAOUI SELLAMI

Docteur en Education, Management, et responsabilité sociétale des organisations,
Faculté des sciences de l'éducation, Université Mohammed V, Rabat, Morocco

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In this article, we focused on the evaluation of the engineering process of the formation of collectors within the ONEP. This study is based on the technique of semi-structured interview which allowed us to investigate, how deep the ideas and perceptions of resource persons about a number of issues relating to the management of engineering from the training. The completion of this work has allowed us to analyze the different training engineering practices from the analysis of training needs to the evaluation and monitoring of training, through the design and implementation training activities in order to identify the strengths and weaknesses of the training system for collectors of ONEP in order to improve it. The results of our work have shown that the assessment remains the weak link of collectors training engineering processes within the office, to the extent that it would require many advances to improve its effectiveness.

KEYWORDS: engineering, training, evaluation, needs analysis.

RÉSUMÉ: Dans le présent article, nous nous sommes intéressés à l'évaluation du processus d'ingénierie de la formation des encaisseurs au sein de l'ONEP. Cette étude est basée sur la technique de l'entretien semi-structuré qui nous a permis d'investiguer, de façon profonde les idées et les perceptions des personnes ressources à propos d'un certain nombre de questions relatives à la gestion de l'ingénierie de la formation.

L'accomplissement de ce travail nous a permis d'analyser les différentes pratiques d'ingénierie de formation allant de l'analyse des besoins en formation jusqu'à l'évaluation et le suivi de la formation, en passant par la conception et la réalisation des actions de formation et ce afin de dégager les points forts et les faiblesses du système de formation des encaisseurs de l'ONEP dans le but de l'améliorer. Les résultats de notre travail ont montré que l'évaluation reste le maillon faible du processus d'ingénierie de formation des encaisseurs au sein de l'office, dans la mesure où elle exigerait plusieurs avancées pour améliorer son efficacité.

MOTS-CLEFS: ingénierie, formation, évaluation, analyse des besoins.

1 INTRODUCTION

Aujourd'hui, toutes les entreprises marocaines évoluent dans un monde marqué par l'incertitude, le changement et la complexité. Celles-ci doivent être capables d'affronter et de gérer la pression de leur environnement.

Devant la mouvance de cet environnement, et pour favoriser l'innovation et faire face à cette vitesse accélérée du changement et des évolutions de l'environnement, les entreprises essaient d'identifier les compétences stratégiques.

Ainsi, pour accompagner ces changements, la formation joue un rôle important dans le développement des ressources humaines et la mise à jour des compétences.

En effet, la formation est aujourd'hui considérée comme étant une dimension stratégique qui contribue à l'efficacité et à la pertinence des organisations. Conjuguée à une démarche d'ingénierie de formation, cette dernière intègre son rôle stratégique et fait ses preuves dans le domaine de développement des ressources humaines.

Ainsi, l'office national de l'eau potable n'est pas exclu de cette évolution. En effet, l'office est assisté de plus en plus par des mutations profondes liées à l'ouverture sur l'extérieur et l'évolution des progrès technologiques. Cette nouvelle conjoncture a poussé l'office à opter pour un programme de mise à niveau visant l'amélioration de la compétitivité, et ce, par le développement de ses ressources humaines qui constituent son principal capital par le biais de la formation.

Notre travail consiste, en une enquête auprès des responsables de la formation à l'ONEP, à travers laquelle, nous allons essayer de répondre à la problématique suivante :

Comment est géré le processus d'ingénierie de formation des encaisseurs au sein de l'ONEP pour les quatre étapes : l'analyse des besoins, l'élaboration du programme de formation, la réalisation et l'évaluation de la formation ?

Pour répondre à cette question, nous avons défini comme objectif de notre travail de recherche l'évaluation du système de formation des encaisseurs à l'ONEP afin de dégager les dysfonctionnements existants dans le système en vue de proposer des améliorations pour le système de formation.

Ainsi, nous proposons, en premier lieu de commencer par une représentation théorique puisée dans la littérature en rapport avec notre sujet de recherche, puis, dans un second lieu, nous allons présenter les résultats de notre évaluation des pratiques d'ingénierie de formation au sein de l'ONEP.

2 REVUE DE LITTÉRATURE : LA DEMARCHE D'INGENIERIE DE LA FORMATION

2.1 LA NOTION D'INGENIERIE OU DE L'ENGINEERING

La notion d'engineering est apparue au début du XXème siècle, avant la seconde guerre mondiale, aux Etats -Unis, en Grande -Bretagne et en Allemagne. Elle désignait l'activité de conception ou de montage de grandes unités de fabrication industrielle dans les domaines du pétrole, de la pétrochimie, de la chimie, de la mécanique et des usines d'armement. En France, cette notion n'intervient qu'après la seconde guerre mondiale pour la conception de travaux neufs. Elle s'est étendue par la suite aux travaux de conception concernant le développement de l'industrie du pétrole et de la chimie.

L'ingénierie se définit comme l'ensemble coordonné des activités permettant de maîtriser et de synthétiser les informations multiples nécessaires à la conception, l'étude et la réalisation d'un ouvrage ou d'un ensemble d'ouvrages (unités de production, équipements ...) en vue d'optimiser l'investissement qu'il constitue et d'assurer les conditions de sa viabilité¹.

2.2 LE CONTEXTE DE LA NAISSANCE DE LA NOTION DE L'INGENIERIE DE FORMATION

Il nous semble intéressant de situer d'abord le contexte dans lequel la notion de l'ingénierie de la formation s'est développée, avant d'essayer de la définir sur la base des textes des différents auteurs. La notion d'« ingénierie » de la formation est apparue en France, au cours des années 60. Guy LE BOTERF identifie dans son ouvrage « l'ingénierie et l'évaluation de la formation » deux principales sources d'émergence du concept d'ingénierie de la formation. Cette notion tire son origine d'abord de la demande sociale, et ensuite des demandes des décideurs et des financeurs publics.

Concernant les pays en voie de développement, il s'agissait, peu de temps, après l'indépendance et dans la période de reconstruction qui suit la libération, de concevoir et de mettre en place des systèmes de formation dans le but de former, dans un délai précis des cadres, des techniciens et des ingénieurs. Au cours de cette même période, des demandes se sont développées en vue de construire des institutions dans les pays en voie de développement, d'appliquer des démarches qualité à la formation, et puis de situer l'ingénierie de la formation dans un contexte plus vaste, celui de la production et du management des compétences.

¹ Guy LEBOTERF, *ingénierie et évaluation des compétences, éditions d'organisation, 2004, p.49.*

C'est ainsi que Guy LE BOTERF considère le poids de la demande sociale comme important dans l'origine de la notion de l'ingénierie de la formation. La notion d'ingénierie de la formation trouve son origine également dans la volonté de professionnalisation et de reconnaissance des formateurs.

Une autre source du concept de l'ingénierie de la formation agit plus tard en réponse à une demande forte des financeurs publics et privés de la formation visant la transparence et le contrôle du processus. A travers les pouvoirs publics et les entreprises se manifestent les préoccupations concernant les résultats observables de l'investissement consenti. En effet, les sommes importantes dépensées pour la formation mènent à un contrôle accru du projet et à une exigence de résultats observables.

2.3 QUELQUES DEFINITIONS DE LA NOTION DE L'INGENIERIE DE FORMATION

La littérature a révélé une panoplie de définitions de l'ingénierie de la tout au long de l'évolution de cette discipline. Il y'a autant de définitions que d'auteurs, c'est pourquoi nous jugé opportun de présenter celles qui nous semblent les plus adaptées à notre étude.

L'ingénierie de la formation est définie par **Guy LE BOTERF** comme étant « l'ensemble coordonné des travaux méthodiques de conception et de réalisation des systèmes de formation. »² Elle correspond ainsi à une démarche par laquelle un responsable de formation doit passer pour espérer être crédible comme gestionnaire à part entière.

S'appuyant sur les travaux de F.VIALET, **Guy LE BOTERF** présente aussi l'ingénierie de la formation comme « l'ensemble des activités de conception d'un dispositif de formation (dispositif de formation, plan de formation...) en vue d'optimiser l'investissement qu'il constitue est d'assurer les conditions de sa viabilité. »³

Nous retenons donc qu'elle est l'aboutissement méthodologique de l'idée de formation –investissement. Plus explicitement, l'ingénierie de la formation regroupe les méthodes et les démarches allant de l'analyse des besoins en formation, à la conception des plans de formation et de la réalisation à l'évaluation de la formation. Il ressort nettement de la définition de Guy LE BOTERF que la finalité première de cette démarche est la recherche d'une optimisation de l'investissement.

Le concept de l'ingénierie de la formation est aussi défini par **Abraham PAIN** : « l'ingénierie de la formation est une démarche rationnelle et anticipatoire, exploratoire et validant, qui s'intéresse d'abord au contexte et aux acteurs agissant dans la situation à l'origine de la demande de la formation. »⁴ Il en ressort que cette démarche permet de découvrir les acteurs autour du problème à résoudre. De plus, elle renseigne sur les moyens à mettre en œuvre et sur leur degré d'engagement dans l'action prévue.

Selon le même auteur, « il s'agit d'une démarche dont le principe est la prise en compte du maximum de variables possibles dans le but de créer un système d'action en réponse à une demande de formation. Elle comprend l'exploration de la demande, la conception, la planification et la réalisation d'une action de formation en utilisant la validation comme outil tout au long de la construction du projet de formation, et l'évaluation comme outil de pilotage tout au long du processus. »

Sur la base de cette définition générale, nous pouvons avancer que l'ingénierie de la formation suppose une démarche prévisionnelle, la concertation entre les différents partenaires et une capacité de traduction des objectifs en action. Elle comprend la conception, la planification et la réalisation d'un système de formation. Ainsi, son intérêt réside en ce qu'elle apporte un certain nombre de règles qui permettent de construire l'action de formation, selon une démarche rationnelle, anticipative et validante.

J.AUBEGNY, pour sa part, définit l'ingénierie de la formation comme « l'ensemble de démarches méthodologiques et instrumentales se référant au paradigme systémique et visant dans une perspective prévisionnelle et concentrée à créer ou à modifier des systèmes d'action en vue d'efficience. »⁵ Nous retenons donc que l'ingénierie de la formation est mise en place dans un souci d'optimisation de la gestion.

² Guy LE BOTERF, *ingénierie et évaluation des compétences*, 4ème édition entièrement renouvelée, 2004, P.48

³ Idem

⁴ Abraham pain, *l'ingénierie de la formation, Etat des lieux*, éditions d'harmattan, 2004, P.132

⁵ J.AUBEGNY, *formation et développement éditions l'harmattan, paris 1989, P.56*

Pour *l'association française de normalisation (l'AFNOR)* : « l'ingénierie de la formation est l'ensemble des démarches méthodologiques articulées qui s'appliquent à la conception d'action de formation pour atteindre efficacement l'objectif visé .Elle comprend l'analyse des besoins de formation, l'élaboration d'un plan de formation, la conduite d'une action de formation (coordination et contrôle), l'évaluation des effets de la formation. »

Thierry ARDOUIN, quant à lui, définit l'ingénierie de la formation comme « une démarche structurée qui intègre la formation dans un ensemble politique et stratégique, avec une volonté éducative forte. Elle permet ainsi d'accompagner efficacement les individus et d'anticiper les changements dans les organisations. »⁶. Cet auteur avance que cette démarche permet de se doter des moyens nécessaires et suffisants pour agir dans les meilleures conditions possibles compte tenu des contraintes de l'environnement.

Dimitri WEISS précise enfin que « l'ingénierie de la formation est une activité spécifique de conception, d'études et de coordination de diverses disciplines exercées par les ingénieurs et les techniciens agissant généralement en équipe pour la réalisation d'un ouvrage ou d'un ensemble d'ouvrages ». ⁷ Il s'agit donc des activités d'analyse, d'anticipation et de projection conduite dans la formation.

En somme, l'ingénierie de la formation regroupe l'ensemble des actions et des dispositifs liés au développement du savoir –faire de l'entreprise, tant au niveau individuel, que collectif.

De ce qui précède, il paraît évident que l'ingénierie de la formation est une démarche qui consiste à faire l'analyse complète du travail et à montrer un projet de formation adapté, pour aider l'entreprise à évoluer et à devenir plus performante. À travers ces différentes définitions, nous pouvons ressortir les principaux objectifs assignés à la démarche d'ingénierie de formation à savoir :

- Se doter d'un plan de développement des ressources humaines
- Accompagner par la formation ses projets de développement.
- Améliorer les méthodes de travail ;
- Améliorer le climat de travail et l'appartenance à l'entreprise ;
- Valoriser et développer les ressources humaines de l'entreprise ;
- Rendre la formation professionnelle et la formation en général plus efficaces ;
- Optimiser les ressources de l'entreprise, réduire les coûts ;
- Accompagner par la formation pour mettre à niveau les compétences de l'entreprise ;
- Optimiser l'investissement que constitue la formation et assurer sa viabilité ;
- Aider à atteindre efficacement l'objectif visé par l'entreprise ;
- Maximiser l'impact des investissements en développement des ressources humaines.

❖ Analyse critique de l'ingénierie de la formation

Dès la fin des années quatre-vingt, une tendance s'est peu à peu dégagée dans les grandes entreprises : l'ingénierie de la formation s'est progressivement transformée en ingénierie des compétences. Ce changement de perspective est dû essentiellement à un changement de contexte. La compétence professionnelle tend à prendre une place de choix dans les préoccupations des entreprises et même des individus. En effet, la compétence est de plus en plus considérée comme une ressource clé dans l'obtention de la performance et un moyen efficace pour faire face à la compétitivité.

Pour faire face aux exigences croissantes de qualité, d'innovation, les procédures ne suffisent plus et peuvent même, si elles sont portées à l'excès, devenir contre-productives. Ainsi, selon Guy LE BOTERF, « il faut faire confiance aux acteurs de l'entreprise aux salariés et non seulement aux cadres : cela suppose que l'on puisse compter sur leur professionnalisme. Face à des événements imprévus, et à l'inédit qui ne peut jamais être éliminé, ils devront élaborer et mettre en œuvre des réponses appropriées, prendre des initiatives pertinentes. Ils auront à construire des compétences adéquates. »⁸ La compétence n'est pas uniquement la préoccupation des responsables des entreprises, elle est également recherchée par les individus.

⁶ Thierry ARDOUIN, *Ingénierie de formation pour l'entreprise*, Edition dunod, P. 17

⁷ Dimitri WEISS, *Gestion des ressources humaines*, éditions d'organisation, 1999, P.138

⁸ Guy LE BOTERF : « l'ingénierie des compétences », éditions d'organisation, 1997, P.123

Actuellement, face au contexte économique difficile, le capital de compétence devient de plus en plus nécessaire pour gérer au mieux la mobilité de l'individu professionnelle et son employabilité. Raisonner en termes d'ingénierie de compétences et non plus seulement en termes d'ingénierie de la formation ne revient pas seulement à préciser ou à moderniser le vocabulaire ou les concepts. Cette évolution se traduit par le passage d'« une ingénierie de la formation » à « une ingénierie de la professionnalisation ».

Il existe selon LE BOTERF plusieurs moyens de développer des compétences, d'acquérir des ressources nécessaires à cette construction du professionnalisme. La formation est certes un moyen, mais c'est un moyen parmi d'autres d'y contribuer et ce n'est pas le seul.

L'ingénierie de la professionnalisation a donc pour but de concevoir et de mettre en place des dispositifs de professionnalisation. Cette dernière tend à devenir de plus en plus une ingénierie de contexte et non plus une ingénierie d'un programme. L'ingénierie de la professionnalisation nécessite sans doute de mettre en œuvre d'autres moyens, et d'autres outils que ceux de la formation puisqu'elle va s'intéresser à la genèse des connaissances et des compétences, ainsi qu'aux conditions sociales, économiques favorisant leur émergence, leur développement ou leur transfert.

Il s'agit donc de concevoir et d'organiser un contexte (organisation, règles de mobilité, dispositif de communication interne...) qui vont rendre possible et faciliter l'élaboration et la réalisation de parcours individualisés de professionnalisation.

Après avoir défini le concept d'ingénierie de la formation, nous allons, à présent, détailler successivement les quatre étapes nécessaires au déploiement de la démarche d'ingénierie de formation : analyser, concevoir, réaliser et évaluer.

LES ÉTAPES DU PROCESSUS D'INGÉNIERIE DE LA FORMATION

Le processus de formation comprend les grandes étapes décrites dans le schéma ci-dessous :



Ainsi, il convient à présent de détailler les éléments constitutifs de chaque étape du processus d'ingénierie de la formation :

PHASE 1 : L'ANALYSE DES BESOINS

L'identification des besoins en formation est une étape très importante, sans laquelle il serait difficile de bien cerner l'objet et le but de la formation réalisée. Le recueil des besoins en formation naît d'une situation de déséquilibre ou d'une insuffisance. Cette étape consiste en la formulation de la demande, l'identification de la problématique du départ et la conduite d'analyses préalables des situations de travail et des populations concernées par la formation.⁹

Il s'agit de rechercher et de recueillir les insuffisances chez les individus concernés par rapport aux performances attendues, et ceci se fait à l'aide de diverses méthodes et techniques qu'un responsable de formation peut utiliser tel que : le questionnaire, l'entretien, l'observation, la technique du groupe nominal (la TGN),...L'analyse des besoins est une démarche aboutissant à un diagnostic des besoins en formation et à l'élucidation de l'écart qui existe entre la situation réelle et la situation souhaitée.

⁹ Marc Dennery, *piloter un projet de formation*, collection « formation permanente » 1999, éditeur, paris, P.61

PHASE 2 : L'ELABORATION DU PLAN DE FORMATION

Le plan de formation est un élément opérant du dispositif de formation professionnelle continue. Il est stratégique pour le développement de l'entreprise. Il est la traduction opérationnelle de la politique de formation de l'entreprise. C'est la manière dont elle affecte ses ressources en vue de préparer l'avenir ; et ceci en mettant à jour et en développant les compétences des salariés.

De plus, il décrit les objectifs à atteindre par la formation, les actions à mettre en œuvre, la planification et le chiffrage.

Le plan de formation structure et organise, de manière qualitative et quantitative, les projets de formation adressés aux salariés de l'entreprise: quels objectifs? Quel public? Quelle durée? Quels formateurs? Quel budget?

Formaliser le plan de formation est une démarche utile à toute entreprise, quelle que soit son envergure.

En outre, il s'agit d'un document contractuel qui lie les différents acteurs concernés à savoir la direction, les responsables de ressources humaines et de formation, les employés, les responsables opérationnels, les partenaires sociaux.¹⁰

Il est décliné en trois catégories d'action de formation qui diffèrent par leurs objectifs et leurs modalités de réalisation. Pour mener à bout cette étape, l'entreprise élabore un plan de formation et réalise un cahier de charge.

L'établissement d'un plan de formation est un processus qui s'effectue en fonction des moyens et des contraintes. Selon Alain MEIGNANT, le processus d'élaboration du plan de formation s'établit suivant les quatre phases suivantes :

- a- **Le recueil des données générales**
- b- **Le recueil des besoins par entité**
- c- **L'établissement du plan de formation et pré chiffrage**
- d- **La validation du plan de formation**

LA PHASE 3 : LA REALISATION DE LA FORMATION

Avant de se lancer dans une action de formation, il faut bien se préparer avant l'intervention. De ce fait, il est recommandé de suivre les mesures suivantes :

- Mettre en place un plan de communication renseignant l'ensemble des acteurs concernés sur les modalités de cette formation ;
- S'assurer que les futures formées ont reçu une convocation qui indique l'heure, le lieu, la date des sessions de formation et le thème du séminaire ;
- Préparer les supports logistiques, organiser les locaux de formation, vérifier le matériel, composer les groupes, préparer la documentation des stagiaires, choisir les méthodes pédagogiques.

A ce stade, le plan de communication permet de mettre en pratique le programme de formation à travers un planning rassemblant l'ensemble des actions de formation. Ce planning s'articule autour de plusieurs thèmes traduits en séquences, et indiquant l'intitulé du séminaire, les jours, les horaires, et les noms des intervenants.

La réalisation est le moment de la rencontre entre les responsables de formation, les animateurs et les participants. Cette étape est assumée par les animateurs qui assurent le face à face pédagogique. Le formateur utilisera les techniques et les méthodes pédagogiques les plus adaptées aux caractéristiques de la formation, le niveau initial des participants, le nombre des apprenants, la durée, les objectifs de la formation, et ceci, afin de faciliter la transmission des connaissances, l'apprentissage du savoir-faire, le développement personnel et la promotion des compétences.

PHASE 4 : EVALUATION DE LA FORMATION

L'évaluation de la formation peut être définie comme une opération ayant pour objet la production d'un jugement de valeur, au cours ou à l'issue de la formation, à partir de résultats mesurables en fonction de critères préétablis. Cette évaluation peut être faite à des temps différents, par des acteurs différents et à des niveaux différents. Elle est donc, avant

¹⁰ Loïc CADIN, Francis GUERIN, Frédérique PIGEYRE, *gestion des ressources humaines, édition Dunod, paris, 1997, P.110*

tout, une mesure d'écart. En effet, elle consiste d'abord à faire la mesure entre les objectifs et les effets attendus d'un dispositif de formation.

Par ailleurs, c'est une démarche qui a pour finalité d'apprécier objectivement les effets et les changements qu'une action de formation peut produire. Il s'agit d'un ensemble d'outils et des méthodes mis en place périodiquement et objectivement pour jauger l'efficacité des actions et apporter les mesures correctives adéquates. De cette façon, évaluer une action de formation revient à mesurer l'atteinte ou non des objectifs prédéfinis, à apprécier et à juger son efficacité.

Dans le même cours d'idée, l'évaluation devient un élément nécessaire et un moment clé d'un processus d'amélioration continue de la qualité de la formation dans la mesure où, rapportant les résultats obtenus aux objectifs visés, elle doit permettre de dégager les actions correctrices et les voies de progrès.

Il est à souligner que l'évaluation de la formation n'est pas une opération en soi ; elle s'intègre à l'ensemble de l'ingénierie de la formation. À ce titre, elle devrait donc être une occasion privilégiée non seulement pour constater et mesurer les résultats de la formation, mais aussi pour fournir des éléments qui alimentent la réflexion des professionnels et décideurs sur les processus de formation en relation avec un contexte donné.¹¹

Les recherches en matière d'évaluation ont dévoilé que le modèle de Kirkpatrick occupe une place prépondérante dans la littérature. Ce modèle constitue le cadre de référence le plus sollicité par les chercheurs et les praticiens dans ce domaine. D. Kirkpatrick pionnier, reconnu en matière d'évaluation de la formation, préconise quatre niveaux d'évaluation à savoir les réactions des participants, l'apprentissage, le transfert et les résultats sur l'organisation.

Soulignons enfin que Kirkpatrick insiste sur le fait que les quatre niveaux d'évaluation déjà cités constituent des parties importantes de l'évaluation. Il ne propose donc pas un choix de quatre critères, mais plutôt une évaluation complète de la formation qui devrait couvrir ces quatre critères.

Dans la littérature, nous distinguons généralement deux temps forts de l'évaluation de la formation : l'évaluation à chaud et l'évaluation à froid. La première intervient, de manière générale, à la fin de la formation. Ce type d'évaluation permet aux participants de donner leur avis sur l'action de formation réalisée.¹² Elle est présentée aux participants sous forme de questionnaires dont les questions portent essentiellement sur la qualité de l'animation

Il est à noter que l'évaluation à chaud ne permet pas de mesurer l'impact de la formation sur la performance des participants.

Le deuxième type de formation, l'évaluation à froid se situe entre trois et six mois après le déroulement de la formation. Elle peut s'effectuer à travers des questionnaires et des entretiens qui s'intéressent surtout à la qualité du suivi des responsables de formation et aux diverses retombées de la formation.¹³

3 MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

3.1 LE CHOIX DE L'APPROCHE DE RECHERCHE

Nous avons choisi d'adopter l'approche qualitative. Le choix est justifié par la nature de notre travail qui consiste à analyser l'existant en matière de gestion du processus d'ingénierie de la formation pour essayer de le développer.

3.2 LES OUTILS DE COLLECTE DE DONNEES

Dans le cadre de cette étude, deux techniques de collecte des données ont été utilisées. Il s'agit de l'entrevue semi structurée et de l'analyse documentaire.

a. Le guide d'entretien

L'étude pratique de notre problématique a été effectuée sur la base d'entrevues semi-directives ouvertes, laissant aux interlocuteurs plus de souplesse et de facilité dans l'interview. L'objectif était d'obtenir une dizaine d'interviews dans les

¹¹ Synthèse faite à partir des lectures de différents ouvrages sur l'évaluation

¹² Christopher Parmentier, *l'essentiel de la formation, édition organisation, 1990, P.71*

¹³ Marc Dennerly, *piloter un projet de formation, collection « formation permanente »1999, éditeur, paris, P.77*

quatre entités chargées de la formation des encaisseurs à l'ONEP. Nous avons finalement obtenu vingt témoignages dans les trois entités (DIF, DCM, DRH), ainsi que la Direction Provinciale de Khmiset et les centres de Khmiset et de Tifelt. L'objectif du recours aux entretiens était d'interroger les parties intervenantes dans le processus d'ingénierie de la formation en vue d'extraire leur perception quant au système existant.

Le guide d'entretien est une liste de questions préparées, qui couvre l'ensemble des questions posées aux personnes enquêtées. Dans le cadre d'une enquête qualitative, il demeure ouvert, c.-à-d. modifiable selon les propos de l'interviewé. Il a été réalisé dans un premier temps par la définition de deux groupes de questions :

- ❖ Les questions introductives d'ordre général, et qui touchent l'opinion des personnes interviewées sur la formation continue à l'ONEP (la politique de formation, la culture et le coût de la formation) ;
- ❖ Les questions décrivant les étapes du processus d'ingénierie de la formation des encaisseurs, ainsi que le rôle joué par les trois acteurs de la formation des encaisseurs à l'ONEP.

L'entretien semi-directif comporte de nombreux avantages. Tout d'abord, l'interaction directe avec la personne enquêtée offre des possibilités d'adaptation immédiate. IL permet ainsi de s'assurer que les questions posées ont été bien comprises par les personnes enquêtées, d'analyser plus finement le degré de profondeur de connaissances et de fournir des feed-back instantanés et précis.

Dans le choix des personnes ressources pour le présent travail, nous nous sommes basées sur le rôle joué par les acteurs intervenant dans le processus de la formation des encaisseurs.

b. Analyse documentaire

Les entretiens avec les personnes ressources ont été complétés par une étude documentaire portant sur les documents suivants :

- Le programme de formation de 2007/2008
- Le bilan d'activités
- Les fiches d'identification des modules de formation
- Les outils d'évaluation à chaud
- La synthèse d'évaluation

Ainsi, la technique de l'analyse documentaire nous a permis :

- D'analyser les données et de saisir les réalités relatives au fonctionnement de l'office national de l'eau potable ;
- De connaître la structure du Centre de Formation aux Techniques de L'eau, en sigle, CFTE qui s'occupe de la formation du personnel de l'office ;
- De comprendre la politique relative à la formation des agents de l'ONEP et en particulier celle des encaisseurs ;
- D'identifier les objectifs assignés à la formation des encaisseurs ;
- De déterminer le rôle joué par chaque acteur dans le processus de la formation des encaisseurs.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Avant de présenter l'analyse des résultats de notre étude, une présentation du contexte de notre étude est nécessaire.

4.1 LA PRÉSENTATION DE L'ONEP

Créé en 1972, l'Office National de l'Eau potable est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière.

1^{ER}, PRODUCTEUR D'EAU POTABLE : L'ONEP est l'acteur principal dans le domaine de la production de l'eau potable en assurant plus de 80% de la production nationale soit près de 700 millions dem³ par an.

1^{ER}, DISTRIBUTEUR DE L'EAU POTABLE : L'ONEP est également le premier distributeur en eau potable en desservant près de 900 000 abonnés en 2004 répartis sur plus de 350 communes.

NOUVEAU METIER : L'ASSAINISSEMENT : L'ONEP a, par ailleurs, été investi depuis 2000 par les pouvoirs publics d'une nouvelle mission, celle de l'assainissement pour les comptes des communes dans lesquelles il assure la distribution d'eau potable. A ce jour, l'ONEP intervient dans près de 20 communes totalisant plus de 155 000 abonnés.

Aujourd'hui, l'Office s'est fixé une nouvelle stratégie visant la généralisation de l'accès à l'eau potable, à l'ensemble des citoyens et l'intervention dans le secteur de l'assainissement liquide dans une vision globale et intégrée du cycle de l'eau. Cette nouvelle stratégie qui s'inspire des orientations de S.M. LE ROI MOHAMMED VI, confirmée dans son discours d'ouverture de la 9^{ème} session du Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat à Agadir le 21 juin 2001, s'articule autour des trois axes suivants :

1. LA GENERALISATION DE L'ACCES A L'EAU POTABLE :

Cet important axe est fondé sur le principe du droit à l'eau .Il a conduit l'ONEP à développer un programme ambitieux pour accélérer l'approvisionnement en eau potable dans le milieu rural en particulier.

2. L'ASSAINISSEMENT LIQUIDE :

L'ONEP intervient désormais dans ce domaine en vue d'assurer la protection des ressources humaines en eau et d'améliorer les conditions sanitaires des populations dans le cadre d'une vision de gestion intégrée du cycle de l'eau.

3. LE MAINTIEN DES ACQUIS :

Il s'agit de pérenniser et sécuriser les infrastructures existantes par la réalisation des programmes de maintenance et de réhabilitation.

Parallèlement à ses activités principales, l'ONEP exerce des activités particulières à savoir : la sensibilisation, la formation, les micro-entreprises.

LA SENSIBILISATION : L'ONEP mène des actions de sensibilisation de la population dans le but d'économiser l'eau potable et ce grâce aux médias écrits et audio-visuels et grâce à des actions spécifiques auprès des jeunes dans les écoles, auprès des colonies de vacances et lors des manifestations culturelles et sportives.

LA FORMATION : L'ONEP accorde un grand intérêt à l'activité formation. En effet, l'office mène chaque année 523 sessions de formation pour le compte de 3633 participants dans les domaines se référant aux métiers de l'eau. De plus, l'ONEP a pris conscience très tôt de l'importance de la formation dans le développement des compétences. Ainsi, elle s'est dotée d'un centre de formation aux techniques de l'eau qui constitue un centre collaborateur de l'Organisation Mondiale de la Santé (l'OMS) en matière de formation et de la recherche dans le domaine de l'eau potable et l'assainissement.

LES MICRO-ENTREPRISES : L'ONEP mène depuis 1996 une opération de promotion de la création des micros entreprises au niveau local. Il s'agit des petites structures qui sont en mesure, avec la célérité et l'efficacité requises, de mener divers petits travaux de maintenance, d'extension et de réparation de réseaux, qui seront entrepris par des jeunes lauréats des écoles de formation professionnelle. Ces travaux sont encadrés par l'Office.

4.2 EVALUATION DU PROCESSUS D'INGENIERIE DE FORMATION DES ENCAISSEURS AU SEIN DE L'ONEP

La partie pratique de notre travail de recherche présente notre investigation empirique portant sur l'évaluation du processus de la formation des encaisseurs au sein de l'ONEP. Ainsi, il a été question d'examiner le processus d'ingénierie de formation des encaisseurs au sein de l'ONEP afin de dégager ses points forts et faibles dans le but de proposer des voies de progrès du système de formation.

Cette partie a pour objectif de présenter et de donner un sens aux résultats obtenus suite à l'analyse de la banque des données qui a été élaborée à partir des données renseignées par les responsables de formation des encaisseurs. Notre travail d'analyse a consisté à déceler les différences dans les points de vues des personnes interrogées par rapport aux thèmes qui ont fait l'objet de notre entrevue avec les responsables de formation à savoir la politique, la culture, et la gestion du processus.

Cette analyse a été complétée par une description de chaque étape du processus d'ingénierie de formation des encaisseurs selon les données renseignées par les personnes ressources de l'analyse des besoins en formation jusqu'à l'évaluation de la formation, et passant par la conception du programme de formation et la réalisation de la formation.

Au cours de notre recherche, nous avons pu constater que le rôle des acteurs intervenant dans le processus d'ingénierie de formation des encaisseurs diffère d'une catégorie à l'autre. De ce fait, nous avons procédé à une étude comparative des rôles joués par les acteurs intervenant dans ce processus selon les données fournies par les responsables de formation des encaisseurs.

Suite à cette comparaison des rôles entre les différentes entités chargées de la formation des encaisseurs à l'ONEP (la DRH, la DCM et la DIF), nous avons pu constater les points suivants :

- La redondance et la confusion des rôles entre les entités chargées de la formation des encaisseurs (plusieurs intervenants dans le choix des encaisseurs) ;
- L'absence d'une procédure connue pour la gestion du processus d'ingénierie de la formation des encaisseurs définissant les rôles de chaque intervenant ;
- L'existence de problèmes de communication entre les acteurs intervenant dans le processus de formation des encaisseurs.

Enfin, nous avons procédé à une synthèse de l'évaluation du processus de la formation des encaisseurs qui a eu pour objectif de dégager les principaux points forts et faibles du système de formation.

Nous pouvons résumer les principaux points forts et les points faibles du système de formation des encaisseurs comme suit :

Les principaux points forts :

- ❖ La participation des formateurs dans l'opération de l'identification des besoins ;
- ❖ L'introduction de nouveaux modules de formation ;
- ❖ La division de la fonction d'encaisseur en deux sous fonctions distinctes ;
- ❖ L'animation de la formation par une équipe de longue expérience ;
- ❖ L'utilisation d'outils facilitant l'acquisition des connaissances ;
- ❖ La réalisation d'une évaluation à chaud après la formation ;
- ❖ L'évaluation de l'acquisition des connaissances à travers le test ;
- ❖ Le décernement d'une attestation de réussite à la fin de la formation.

Les principaux points faibles du processus :

- ❖ La redondance et la confusion des rôles entre les acteurs intervenant dans l'analyse des besoins ;
- ❖ L'insuffisance de la durée de la formation sur le terrain ;
- ❖ Le manque de certains critères nécessaires pour le choix des encaisseurs ;
- ❖ L'absence de certains thèmes dans le contenu de la formation ;
- ❖ L'absence d'une structure formelle des formateurs ;
- ❖ L'insuffisance de la durée de la formation pour assimiler le contenu de la formation des encaisseurs ;
- ❖ L'absence d'un cahier de charges pour les formateurs ;
- ❖ L'insuffisance de l'évaluation à chaud pour évaluer la formation ;
- ❖ Les questionnaires sont difficiles à comprendre ;
- ❖ L'inexistence de l'évaluation de l'impact de la formation des encaisseurs ;
- ❖ Une quasi absence du suivi de la formation des encaisseurs ;

Pour améliorer l'efficacité de la gestion de la formation à l'ONEP, nous proposons quelques recommandations visant la contribution à l'amélioration du processus de formation. Nous allons procéder pour présenter ces recommandations par volet pour des raisons purement pédagogique.

1. Volet politique de formation

Selon les propos recueillis auprès des personnes ressources, il est à noter que la politique de formation existe de manière tacite et non formelle. De ce fait, nous proposons certaines améliorations :

- Elaborer une politique de formation fixant les grandes orientations de la formation pour les années à venir, de façon à mieux gérer les évolutions futures en bâtissant des plans d'action concrets ;
- Communiquer la politique de formation à l'ensemble des acteurs chargés de la formation à l'Office.

2. Volet entités chargées de la formation

- Rattacher l'entité DRH/F relevant de la DRH à la DIF afin de créer une synergie au sein de la fonction formation à l'office et pour avoir un seul pilote de formation ;
- Mettre en place une base de données informatique commune à l'ensemble des entités chargées de la formation des encaisseurs pour faciliter la circulation de l'information entre les entités chargées de la formation à l'ONEP.

3. Volet développement de la formation des encaisseurs au niveau régional

Suite aux données fournies par les personnes ressources au niveau de régional, on a constaté que les directions régionales souffrent de quelques problèmes, ce qui a engendré la non satisfaction de ces derniers. Pour remédier à ces problèmes, il serait opportun de :

- Développer les sessions de formation sur site des encaisseurs ;
- Mettre en place un système informatisé, dans le but d'éviter les problèmes de communication ;

4. Volet communication et circulation d'information

Suite aux informations renseignées auprès des responsables de formation des encaisseurs, nous avons constaté un manque important de communication avec les entités chargées de la formation des encaisseurs. Sur ce, on propose la recommandation suivante :

- Instaurer un système d'information commun aux entités chargées de la formation pour faciliter la circulation d'information entre les entités chargées de la formation.

5. Volet profil des encaisseurs

Suite aux données recueillies auprès des personnes ressources, nous avons constaté l'absence de certains critères nécessaires pour le choix de l'encaisseur à savoir l'aptitude physique, le sérieux....De ce fait, nous proposons certaines améliorations :

- Faire appel à d'autres critères pour le choix des encaisseurs à savoir, son aptitude physique, car parfois la nature du centre est périlleuse et certains terrains sont accidentels etc., d'où la nécessité de prévoir un tel critère dans le choix de l'encaisseur ;
- Passer un entretien oral, une fois que le candidat ait réussi le test psychotechnique.

6. Volet processus d'ingénierie de formation des encaisseurs

Au regard des conclusions que nous venons de tirer, nous nous permettons de formuler les recommandations suivantes pour améliorer la gestion du processus de la formation

Phase 1 : Analyse des besoins en formation

L'étape de l'identification des besoins en formation constitue une étape cruciale dans le processus d'ingénierie de la formation. A cette fin, nous recommandons l'adoption des mesures suivantes :

- L'implication des participants à la formation dans l'identification des besoins en formation des encaisseurs ;
- La concertation régulière entre tous ceux qui sont impliqués dans la phase de l'identification des besoins en formation. (les services chargés de la formation) ;
- Désigner un interlocuteur au niveau de chaque entité pour pouvoir regrouper les informations adéquates surtout qu'au niveau des directions, il n'existe pas un interlocuteur formel.

Phase 2 : Conception de la formation

- Allonger la durée de formation.
- Prévoir des thèmes intégrant les caractéristiques du terrain pour répondre aux préoccupations des agents.
- Introduire de nouveaux thèmes pour améliorer la fonction des encaisseurs tels que l'outil informatique et la communication ;
- Allonger la durée de stage d'intégration, ce dernier ne doit pas être inférieur à six mois, pour que l'encaisseur puisse s'adapter aux conditions du travail, et connaître les outils nécessaires pour exercer cette fonction ;
- Actualiser les supports des cours de la formation des encaisseurs ;
- Allonger La durée de la formation sur le terrain ; une journée d'exercice au Centre Ain El Aouda n'est pas assez suffisante pour maîtriser les outils nécessaires pour le travail.

Phase 3 : Réalisation de la formation

- Rédiger un cahier de charges pour les formateurs internes à l'instar des formations qui sont réalisées à l'externe ;
- Développer d'autres méthodes pédagogiques qui doivent correspondre au type d'apprentissage visé et au niveau d'apprentissage, tel que la simulation à travers :
 - Les cas pratiques ;
 - Les quizz ;
 - Les jeux pédagogiques ;
- Il serait préférable de ne pas faire d'exposés didactiques de plus de 2 heures et d'alterner les exposés par des activités afin de maintenir l'attention des participants à la formation

Ainsi, l'utilisation d'une variété de techniques de communication et de présentation, même au cours d'une seule séance, permet d'attirer l'attention des participants, maintenir un haut niveau d'énergie et leur intérêt, et permet aussi d'éviter un style monotone de présentation ;

- Instaurer un système d'évaluation au cours de la réalisation de la formation du cours, pour maîtriser mieux le contenu de la formation à savoir :
 - Des pré-évaluations pour évaluer le niveau et les connaissances des participants à la formation ;
 - Des questionnaires au cours de chaque journée de formation, pour connaître la progression ;
 - Des post-évaluations à la fin de formation pour comparer les acquis des participants avant et après la formation s'assurer du bon déroulement de la formation.

Phase 4 : Evaluation de la formation

De même que pour l'analyse, la conception et la réalisation, l'évaluation est une opération aussi importante. De ce fait, il faudrait :

- Instaurer une culture d'évaluation afin d'éviter la résistance des personnes évaluées ;
- Assurer un suivi avec les différents acteurs de la formation en garantissant un prolongement de la formation par le biais du suivi qui a pour principaux objectifs : l'application, la généralisation et la capitalisation ;
- Adapter les fiches d'évaluation en fonction du niveau des candidats qui participent à la formation et préfèrent les questions fermées aux questions ouvertes ;
- Clarifier les rôles entre les entités intervenantes dans cette opération ;
- Il serait opportun de donner une évaluation des connaissances (test préliminaire) au début de la formation ainsi qu'une évaluation à la fin (post-test), et de procéder, enfin, à une comparaison des scores des participants à la formation ;
- Mettre à jour les fiches d'évaluation distribués à la fin de chaque session aux participants à la formation des encaisseurs ;
- Utiliser l'information provenant de l'évaluation pour déterminer quand il faut réviser la formation et afin d'améliorer la qualité de la formation ;
- Organiser une rencontre entre les responsables des quatre entités chargées de la formation des encaisseurs et qui interviennent dans le processus d'ingénierie de formation après la formation des encaisseurs pour rendre compte des principaux dysfonctionnements dans la gestion de chaque étape du processus d'ingénierie de formation des encaisseurs ;
- Introduire l'évaluation de l'impact de la formation des encaisseurs sur le terrain vu l'importance de l'investissement consacré à cette formation ;
- Utiliser les outils nécessaires dans la mesure de l'impact de la formation sur les encaisseurs tel que les entretiens d'évaluation avec les encaisseurs ou les questionnaires
- Assurer un suivi régulier de la formation des encaisseurs puisqu'il constitue le point faible de la formation des encaisseurs.

5 SYNTHÈSE, CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Tout au long de notre recherche, deux principaux objectifs ont été assignés, le premier portait sur le cadre théorique de l'ingénierie de la formation en milieu organisationnel. Le second résidait dans l'analyse de la gestion du processus d'ingénierie formation des encaisseurs au sein de l'ONEP qui forme notre terrain d'étude.

Pour réaliser ces objectifs, nous avons essayé sur le plan théorique de clarifier les concepts de l'ingénierie et la formation, l'évaluation et les ambiguïtés sur le sujet de l'évaluation de la formation. Nous avons, également, souligné les fondements théoriques de la démarche de l'ingénierie de la formation.

Sur le plan méthodologique, un effort d'analyse de l'existant a été engagé par le recours à deux instruments de recherches : l'entrevue semi-structurée et l'analyse complémentaire. L'utilisation de ces deux outils nous a fourni un gisement des données et des informations sur le sujet. Cette masse d'information a été analysée et interprétée selon les axes de base du guide d'entretien.

Ainsi, en se référant au développement de notre partie théorique, en puisant dans une littérature multi variée, tout en prenant en compte les résultats de notre évaluation du processus de formation des encaisseurs, nous avons pu constater que la question de l'évaluation de la formation des encaisseurs au sein de l'ONEP resterait un problème épineux dans la mesure où elle exigerait plusieurs avancées dans le but d'assurer l'amélioration de la gestion du processus de la formation des encaisseurs au sein de l'Office.

Au terme de notre travail au cours duquel, nous avons beaucoup appris, nous pouvons affirmer que cette étude a été pour nous l'occasion de comprendre plus en profondeur et d'appliquer en pratique les outils et techniques d'évaluation de la formation.

Dans la phase pratique de cette étude, nous avons eu l'occasion de faire la prise de connaissance de l'office et de la réalité de la conduite du processus de formation des encaisseurs. Ainsi, dans un premier temps, nous avons procédé d'abord à une description du processus de la formation des encaisseurs, puis à une étude comparative des rôles des acteurs intervenants dans le processus de formation des encaisseurs.

Dans un deuxième temps, nous avons procédé à une évaluation préliminaire du processus de formation des encaisseurs afin de dégager les points forts et les faiblesses du système de formation au sein de l'office. Enfin, nous avons procédé à une analyse des faiblesses du processus de formation dans le but de proposer des recommandations afin de garantir l'amélioration du processus de formation des encaisseurs au sein de l'ONEP.

Par ailleurs, plusieurs voies de recherches dérivent de notre étude. L'axe de recherche le plus important concerne les niveaux et les moments d'évaluation de la formation ; des recherches futures pourraient intégrer d'autres leviers d'évaluation et assurer une continuité du processus d'ingénierie de la formation. Cela permettrait de mieux appréhender les résultats de la formation.

REFERENCES

- [1] Abraham PAIN, Evaluer les actions de formation, édition organisation ;
- [2] Abraham PAIN, Ingénierie de la formation, état des lieux, collection défi-formation.
- [3] Alain MEIGNANT, Manager la formation, Editions liaisons ;
- [4] Benjamin CHAMINADE, Ressources Humaines et compétence dans une démarche qualité, Edition AFNOR, 2003 ;
- [5] Christiane BOSMAN, François-Marie Gérard, Xavier Rogiers, quel avenir pour les compétences ?, Edition de Boeck ;
- [6] Christopher PARMENTIER, l'essentiel de la formation, Edition organisation ;
- [7] Dimitri WEISS, la fonction ressources humaines, Edition organisation ;
- [8] Gérard SEGUIN, gestion opérationnelle des équipes, Edition d'organisation ;
- [9] Guy le BOTERF, ingénierie et évaluation des compétences, édition d'organisation ;
- [10] Jean Marie de PERETTI, Ressources humaines et gestion du personnel, édition d'organisation ;
- [11] Jean Marie de PERETTI, Gestion des ressources humaines, Edition d'organisation ;
- [12] Jacques SOYER, la fonction formation, édition d'organisation ;
- [13] Loïc CADIN, Francis Guérin, Frédérique PIGEYRE, Gestion des ressources humaines, pratique et éléments de théorie, Édition DUNOD ;
- [14] Marc Dennery, Piloter un projet de formation, collection « formation permanente », éditeur, Paris ;
- [15] Pierre MASSOT, Daniel FEISTHAMMEL, pilotage des compétences et de la formation, Edition AFNOR ;
- [16] Thierry ARDOUIN, Ingénierie de formation pour l'entreprise, Edition dunod ;
- [17] Thierry ARDOUIN, Sylvain LACAILLE, l'audit de formation, Édition d'organisation.
- [18] www.onep.ma
- [19] www.onep.intra

Pression de chasse sur *Petrodromus tetradactylus tordayi* (Thomas, 1910 : Mammalia) dans six villages des environnants de la Réserve Forestière de Yoko (Province de la Tshopo, RD Congo)

[Pressure of hunting on *Petrodromus tetradactylus tordayi* (Thomas, 1910: Mammalia) in six villages of surrounding of the Yoko Reserve Forest (Tshopo province, DR Congo)]

Consolate Kaswera Kyamakya¹, Dudu Akaibe¹, Jean-Léon K. Kambale², Erik Verheyen³, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua⁴

¹Laboratoire d'Ecologie et Gestion des Ressources Animales, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, B.P. 2012 Kisangani, RD Congo

²Centre de Surveillance de la Biodiversité, Université de Kisangani, B.P. 2012 Kisangani, RD Congo

³Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Belgium

⁴Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2016 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: Bush meat constitutes one of the available animal proteins source for many rural people. Pressure on big species is growing because of urban request consumption. Small mammals become topical resource interested for hunting to support family and for sale. This study proposes to estimate hunt fullness on sengis *Petrodromus tetradactylus tordayi*, one case among other small mammals appreciated at Yoko. We have initiated a follow-up of capture beside villagers during eighteen months. 278 specimens come from 107 trap makers divided up 73 young men, 30 adult and 4 old people. The young man input is majority and estimated about 68%. Prospecting habit, seasonality capture has been examined also.

KEYWORDS: Biodiversity, Small mammals, Conservation, Sustainable development, Democratic Republic of the Congo.

RESUME: La viande de brousse constitue la source protéinique la plus disponible et accessible du point de vue coût pour les ruraux. La tendance étant à la baisse pour le grand gibier qui se raréfie localement, le petit gibier est actuellement ciblé, non seulement pour la subsistance mais aussi pour la vente. Pour mesurer l'ampleur de la chasse sur *Petrodromus tetradactylus tordayi* (un cas parmi d'autres petits mammifères prisés), nous avons initié un suivi de capture auprès des villageois pendant 18 mois. Les 278 spécimens recensés proviennent de 107 piégeurs catégorisés en 73 jeunes gens, 30 adultes et 4 personnes âgées. L'apport des jeunes gens majoritaires a été estimé à 68%. Les habitats prospectés ainsi que les périodes saisonnières ont été bel et bien examinés.

MOTS-CLEFS: Biodiversité, Petits mammifères, Conservation, Développement durable, République Démocratique du Congo.

1 INTRODUCTION

La République démocratique du Congo (RDC) est un réservoir mondial de la biodiversité aussi bien floristique que faunique [1-13]. Cependant, bien que l'étude documentaire mette en évidence quelques inventaires qualitatifs des

Macroscélides à l'époque coloniale [14], beaucoup d'autres aspects n'ont jamais fait l'objet d'études approfondies en RDC [15, 16]. L'insuffisance des données sur l'exploitation des Macroscélides et d'autres petits gibiers dans la région de Kisangani est une réalité. Et pourtant, ces animaux se raréfient de plus en plus dans nos forêts car ils sont exploités pour la subsistance [17, 18]. De par sa taille et son poids, *Petrodromus* présente une biomasse mieux fournie que certains Muridés et autres petits mammifères comme les écureuils forts prisés en milieux villageois [19, 20].

L'insuffisance d'inventaires qualitatifs et quantitatifs, mais aussi la législation inadéquate risque d'entraîner la rareté et probablement la disparition locale de nombreuses espèces peu étudiées. Une menace supplémentaire qui guette ces populations s'avère être la disparition progressive des habitats. La Réserve Forestière de Yoko figure parmi les rares étendues forestières proches de la ville de Kisangani, où vivent encore des Macroscélides avec moins de perturbation humaine.

Les hypothèses de notre étude se formulent comme suit: A l'instar d'autres petits mammifères de la région, *Petrodromus tetradactylus tordayi* subit bel et bien une pression de chasse. L'exploitation se pratique de manière non durable, de sorte qu'elle serait susceptible d'entraîner la rareté et probablement la disparition locale de l'espèce. Tout le complexe forestier de la Yoko est fouillé pour traquer ces petits gibiers.

Le présent travail se propose donc d'évaluer l'influence anthropique sur la dynamique du stock faunique de *Petrodromus tetradactylus tordayi* au sein du complexe forestier de Yoko.

2 MATERIEL ET METHODES

Les investigations ont été organisées dans six villages autour de la R.F.Yoko pendant 18 mois du 1^{er} février 2009 au 22 août 2010. Il s'agit de Banango, Kisesa, Babogombe, Babusoke, Babogena et Biaro situés respectivement sur les points kilométriques 21,25, 32, 35, 37, 41 sur la route Kisangani-Ubundu (figure 1). Les informations régulièrement enregistrées par rapport aux spécimens capturés par les villageois étaient la date de capture, le sexe de l'animal, le poids, et le type de piège utilisé par les récolteurs. D'autres renseignements concernaient le profil des piégeurs (l'identité, la catégorie d'âge) et enfin l'habitat exploité.

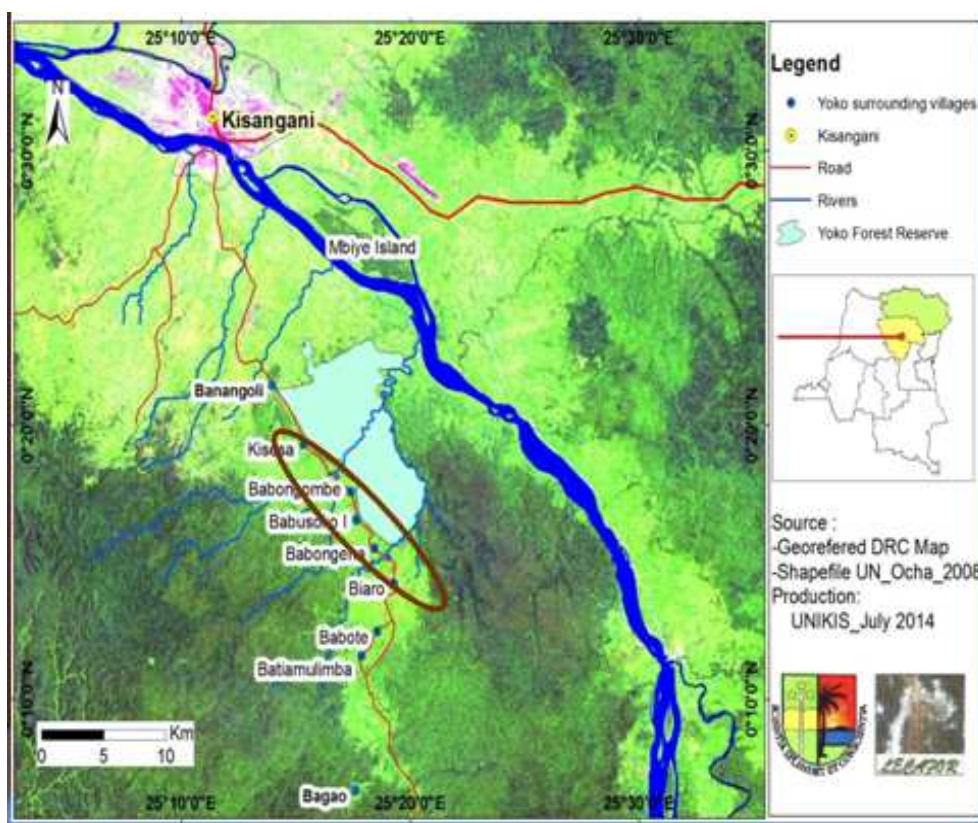


Figure 1. Localisation des villages prospectés (Source : LECAFOR/Université de Kisangani)

Les six villages abritent une population estimée à environ 8 079 individus. Les uns sont plus peuplés que les autres comme le montre le tableau 1.

Tableau (1). Effectifs de la population de six villages enquêtés aux environs la Réserve Forestière de Yoko

Villages	Hommes	Femmes	Garçons	Filles	Totaux
Banango	285	335	200	240	1060
Kisesa	616	716	675	589	2596
Babogombe	149	131	95	108	483
Babusoke 1	209	199	202	109	619
Babogena	61	51	40	94	246
Biaro	956	942	584	593	3.075
Total	-	-	-	-	8 079

(Source : Bureau de groupement Ubundu [7])

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Après dépouillement des données, 278 spécimens ont été enregistrés, soit une moyenne de 185 individus par an. Un total de 107 piègeurs a été inventorié et catégorisés en 73 jeunes gens, 30 adultes et 4 personnes âgées. Les principaux piègeurs étant jeunes, leur remarquable apport est estimé à 68% (figure 2).

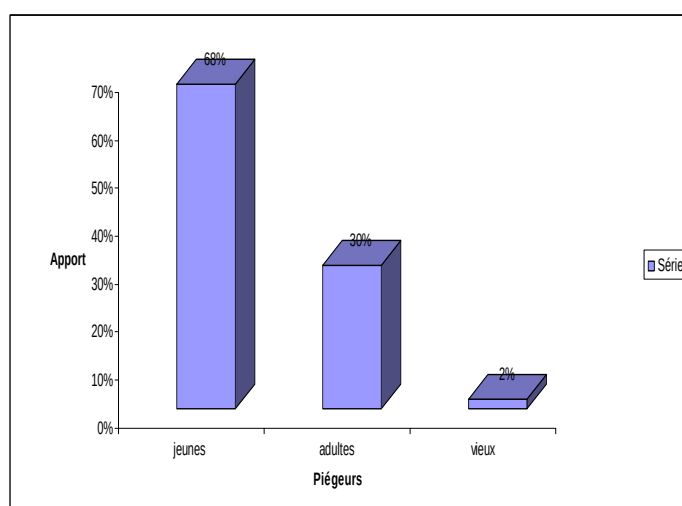


Figure 2. Score par catégorie de piégeurs

Vitekere [21], lors d'une étude sur la caractérisation des chasseurs sur l'axe routier Kisangani-Ituri a noté une majorité écrasante au sein de l'intervalle d'âge 20 à 49 ans. Ces adultes qualifiés de professionnelles de chasse visent les gros gibiers qui sont financièrement plus rentables. La plupart d'entre eux vont jusqu'à camper en forêt durant plusieurs jours pour la chasse dans un rayon de 30 km autour du village. Les jeunes gens de la Yoko exploitent plus les jachères qui sont accessibles et pas très loin de leurs domiciles. Le recul des forêts expliquerait en partie cet état de chose pour ces novices sous équipés et vulnérables. En plus, les parents n'autorisent jamais les jeunes d'aller camper en forêt pour chasser.

Le devoir parental les oblige à veiller sur la sécurité de la jeunesse face aux intempéries en forêts, aux bêtes sauvages, aux accidents, aux maladies et à leur scolarité.

Les travaux de Nathalie Van Vliet et ses collaborateurs [22] portant sur la consommation de la viande de brousse par les écoliers ruraux et urbains en Province Orientale, R.D. Congo, a fait ressortir qu'en ville, les enfants consomment plus la viande de brousse issue de gros gibiers que les enfants villageois. Vous noterez que les grosses carcasses de gibier sont destinées à la vente en ville pour plus de revenus.

Quant aux habitats prospectés, Les jachères sont plus exploitées par les jeunes gens pour des raisons de proximité alors que les adultes et les personnes âgées exploitent les forêts primaires et secondaires lointaines à la recherche de grosses proies (fig. 3). Toutefois, petits et gros butins sont amassés pour la consommation et la vente.

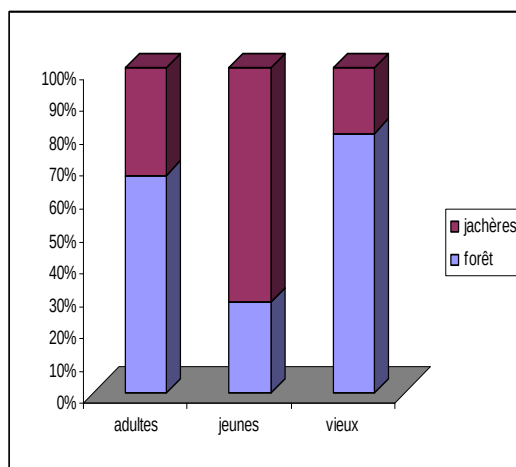


Figure 3. Habitats exploités par les piégeurs

En considérant, les trois catégories de piégeurs, nous avons vérifié si la différence était significative par rapport au choix de l'habitat. Le test de chi-carré révèle une différence significative pour les deux habitats. La jachère est plus exploitée que la forêt ($N_1 : 167$, $N_2 : 111$, $ddl : 2$; $\chi^2 : 150,91$; $valeur\ p : 0,0001 < 0,05$). Les jachères attirent les petits mammifères comme les Macroscélides notamment par l'abondance de ressources alimentaires, les habitats doux facilitant l'installation des coulées et la protection contre les prédateurs. L'anthropisation de l'habitat, le recul des forêts primaires et la forte participation des piégeurs jeunes expliquent en partie cette situation.

La rareté des gros gibiers favorise la valorisation de petits gibiers et la perte de tabous alimentaires. Actuellement, on note moins de résignation par rapport à cette protéine animale.

La chasse s'opère toute l'année, le pic de capture s'observe pendant la période pluvieuse (figure 4). Néanmoins trop de pluie ne facilite pas les captures vu que les animaux circuleraient moins pendant les moments humides.

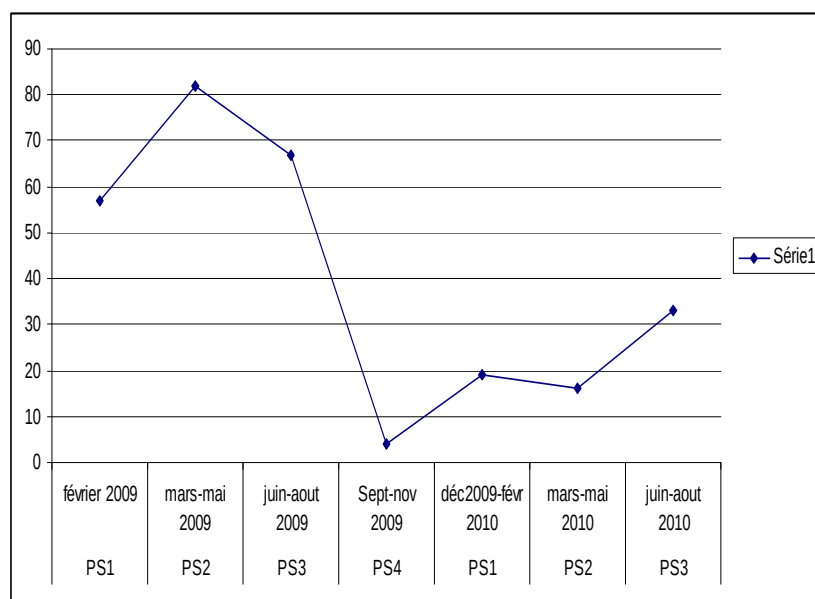


Figure 4. Evolution saisonnière de captures

Le pic de capture s'observe en période pluvieuse (PS2 mai 2009) suivi d'une chute des effectifs. Les scores marqués pendant les quatre périodes saisonnières la première année ne sont pas comparables à ceux de la deuxième année.

La tendance est à la baisse, il faudra avoir de données sur un temps plus long pour faire un bon suivi. Néanmoins, quelques arguments peuvent être avancés, entre autres la diminution des effectifs après une année de pression cynégétique, une baisse du nombre de chasseurs au cours de la deuxième année. L'apparition des jobs, lors du lancement des travaux de réhabilitation de la route Kisangani-Ubundu avec le financement de l'UNOPS, qui aurait recruté une main d'œuvre importante pour ce programme dont certains piégeurs. La figure 4 révèle que la chasse s'opère de manière continue durant l'année. La période de fermeture telle que promulguée n'est pas respectée. Et pourtant, la loi n° 82-002 du 28 mai 1982, portant réglementation de la chasse fixe comme disposition par rapport à la fermeture de la chasse en R. D. Congo, les périodes allant d'août à novembre.

Chaque village a fourni en moyenne 46 bêtes. Certes, ce chiffre ne représente pas la totalité de spécimens consommés à cette période, il doit être considéré comme un minimum qu'il faut revoir à la hausse vu que nous étions butées à quelques résistances liées aux conflits de terre entre les clans, les divorces, les jugements mal prononcés, le changement des Chefs ou Notables à la tête des villages. Deux villages (Kisesa et Babusoke), les plus peuplés de six émergent en nombre de chasseurs et en scores. La pression de chasse croît avec la demande en protéine animale. Le calcul de corrélation entre le nombre de population et les spécimens de *Petrodromus* recensés dans les villages, a montré un coefficient de corrélation faible 14,9%. Les habitudes alimentaires diversifiées expliqueraient cette situation. La pression demeure toujours croissante de la part des consommateurs suite à la croissance démographique et la pauvreté qui s'amplifie. Parmi les petits gibiers prisés, la taille, l'abondance et l'appréciation de la viande par les consommateurs sont pris en compte [23].

L'absence de normes concernant les techniques de piégeage fait que les pièges non sélectifs conçus localement tuent des femelles gestantes et des jeunes. En effet, Le mode de capture (figure 5) varie d'un chasseur à un autre selon la créativité, l'expérience, l'appartenance tribale. Le principe de base pour cette gamme de pièges utilisés localement est un nœud coulant avec déclencheur, érigé à l'entrée du terrier ou au niveau des pistes (figure 6).

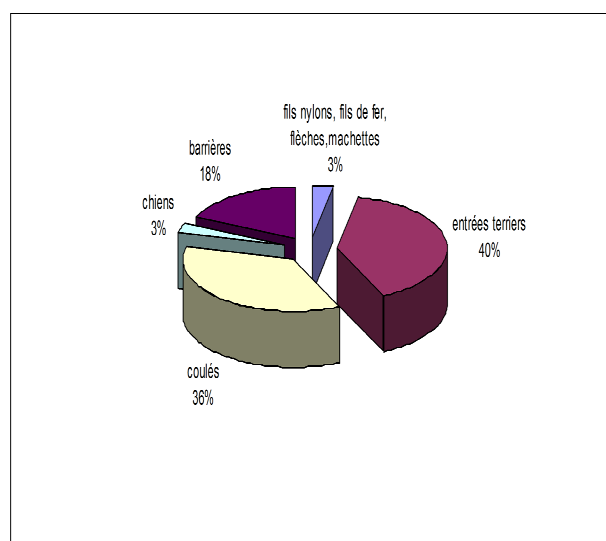


Figure 5. Proportion de différents modes de capture aux villages



Figure 6. Piège à nœud utilisé localement au niveau des pistes de petits mammifères

En plus de pièges appâtés aux noix montés au niveau des coulés et des entrées de terriers, les barrières et autres techniques, les paysans recourent aux captures actives pour traquer les petits mammifères comme *Petrodromus*, notamment l'usage de chiens, des machettes et des lances. Les jeunes gens et les adultes sont tous capturés par ces techniques non sélectives et très efficaces pour la capture, mais susceptibles d'exterminer toute une progéniture. Elles ne peuvent être recommandées dans le contexte de la gestion durable de la biodiversité.



Figure 7. *Petrodromus tetradactylus tordayi* (Elephant-shrews en anglais, sengis en swahili, atoko en lingala, litramba en topoke)

4 CONCLUSION

A l'issue des investigations réalisées au sein de six villages environnants la R.F.Yoko pendant 18 mois; 278 spécimens ont été enregistrés. *P.t. tordayi* est chassé pour la subsistance dans les villages. Les jeunes gens semblent plus intéressés et engagés que les adultes et personnes âgées dans la traque de ces petits mammifères, leur apport est estimé à 68%.

Les villages à forte démographie comptent un nombre élevé de piégeurs. Cette situation se justifie par une demande de plus en plus forte en protéines animales.

Concernant les habitats exploités, le complexe forestier de Yoko est fouillé dès le bas âge pour capturer les petits gibiers qui fréquentent ces lieux. Les techniques de capture utilisées sont non sélectives et tuent tout ce qui tombe dans le piège: jeunes, femelles gestantes. L'activité cynégétique se pratique toute l'année, aucun respect sur la réglementation en la matière. Le pic de capture s'observe en période pluvieuse. La jachère devient l'habitat le plus sollicité par les villageois suite au recul très significatif de la forêt.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur profonde gratitude à l'Union Européenne à travers « CIFOR /REAFOR » pour la bourse doctorale octroyée à Consolate Kaswera Kyamakya et remercient sincèrement la population de six villages enquêtés pour leur franche collaboration.

REFERENCES

- [1] J.A. Asimonyio, K. Kambale, E. Shutsha, G.N. Bongo, D.S.T. Tshibangu, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Phytoecological Study of Uma Forest (Kisangani City, Democratic Republic Of The Congo). J. of Advanced Botany and Zoology, V3I2. DOI: 10.15297/JABZ.V3I2.01, 2015.
- [2] J.A. Asimonyio, J.C. Ngabu, C.B. Lomba, C.M. Falanga, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Structure et diversité d'un peuplement forestier hétérogène dans le bloc sud de la réserve forestière de Yoko (Ubundu, République Démocratique du Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 18, no. 2, pp. 241-251, 2015.
- [3] J.M. Tsongo , P. Sabongo , J.K. Kambale , B.T. Malombo , E.W. Katembo , P.K. Kavira , J.A. Asimonyio , P.M. Konga , K.N. Ngbolua. Régénération naturelle de *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard (Leguminosae) dans la réserve forestière de Masako à Kisangani, République Démocratique du Congo. International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 21, no. 1, pp. 61-68, 2016.
- [4] J. Omatoko, H. Nshimba, J. Bogaert, J. Lejoly, R. Shutsha, J.P. Shaumba, J. Asimonyio, K.N. Ngbolua. Etudes floristique et structurale des peuplements sur sols argileux à *Pericopsis elata* et sableux à *Julbernardia seretii* dans la forêt de plaine de UMA en République Démocratique du Congo. International Journal of Innovation and Applied Studies Vol. 13, no. 2, pp. 452-463, 2015.
- [5] F.M. Masudi, A. Dudu, G. Katuala, J.A. Asimonyio, P.K. Museu, B.Z. Gbolo, K.N. Ngbolua, 2016. Biodiversité des rongeurs et Soricomorphes de champs de cultures mixtes de la région de Kisangani, République Démocratique du Congo. International Journal of Innovation and Applied Studies Vol. 14, no. 2, pp. 327-339, 2016.
- [6] K.N. Ngbolua, B.G. Badjedjea, B.J. Akuboy, M.F. Masudi, J.A. Asimonyio, G.N. Bongo, A.D. Siasia. Contribution to the Knowledge of Amphibians of Kponyo village (DR Congo). J. of Advanced Botany and Zoology, V4I1 DOI: 10.15297/JABZ.V4I1.04, 2016.
- [7] K.N. Ngbolua., A. Mafoto, M. Molongo, G.M. Ngemale, C.A Masengo, Z.B. Gbolo, P.T. Mpiana, G.N. Bongo. Contribution to the Inventory of "Protected Animals" Sold As Bush Meats in Some Markets of Nord Ubangi Province, Democratic Republic Of The Congo. J. of Advanced Botany and Zoology, V3I2. DOI: 10.15297/JABZ.V3I2.02, 2015.
- [8] K.N. Ngbolua, A. Mafoto, M. Molongo, J.P. Magbukudua, G.M. Ngemale, C.A. Masengo, K. Patrick, H. Yabuda, J. Zama, F. Veke. Evidence of new geographic localization of *Okapia johnstoni* (Giraffidae) in Democratic Republic of the Congo: The rainforest of "Nord Ubangi" district. Journal of Advanced Botany & Zoology. V2I1. DOI: 10.15297/JABZ.V2I1.02, 2014.
- [9] K.N. Ngbolua, G.M. Ngemale., N.F. Konzi, C.A. Masengo, Z.B. Gbolo, B.M. Bangata., T.S. Yangba, N. Gbiangbada. Utilisation de produits forestiers non ligneux à Gbadolite (District du Nord-Ubangi, Province de l'Equateur, R.D. Congo): Cas de *Cola acuminata* (P.Beauv.) Schott & Endl. (Malvaceae) et de *Piper guineense* Schumach. & Thonn. (Piperaceae). Congo Sciences Vol. 2, no. 2, pp. 61-66, 2014.
- [10] J.K. Kambale, F.M. Feza , J.M. Tsongo , J.A. Asimonyio , S. Mapeta , H. Nshimba , B.Z. Gbolo , P.T. Mpiana , K.N. Ngbolua. La filière bois-énergie et dégradation des écosystèmes forestiers en milieu périurbain: Enjeux et incidence sur les riverains de l'île Mbiye à Kisangani (République Démocratique du Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 21, no. 1, pp. 51-60, 2016.
- [11] J.U. Thumitho, T.B. Mambo, C.C. Urom, J.C. Ngab'u, A.B. Kankonda, A.P. Ulyel, M.G. Ngemale, K.N. Ngbolua. Ecologie alimentaire de *Ichthyoborus besse congolensis* (Giltay, 1930 ;Teleostei: Distichodontidae) de rivière Biaro et son affluent Yoko dans la Réserve forestière de Yoko (RD Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 21, no. 2, pp. 330-341.
- [12] T.B. Mambo, J.U. Thumitho, E.L. Tambwe, C.M. Danadu, J.A. Asimonyio, A.B. Kankonda, J.A. Ulyel, C.M. Falanga, K.N. Ngbolua. Etude qualitative du régime alimentaire de *Hippopotamys psittacus* (Boulenger, 1897: Osteiglossiformes, Mormyridae) du fleuve Congo à Kisangani (RD Congo). International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 21, no. 2, pp. 321-329, 2016.
- [13] B.G. Badjedjea, B.J. Akuboy, M.F. Masudi, J.A. Asimonyio, K.P. Museu, K.N. Ngbolua. A preliminary survey of the amphibian fauna of Kisangani eco-region, Democratic Republic of the Congo. J. of Advanced Botany and Zoology, V3I4.DOI: 10.15297/JABZ.V3I4.01, 2015.
- [14] H. Schouteden. Faune du Congo Belge et du Ruanda-Urundi. I Mammifères. Annales du Musée du Congo Belge Sciences zoologiques / Tervuren, Belgique, Vol 1, pp. 96-100, 1948.
- [15] K. Kaswera. Aperçu sur l'écologie et la structure des populations des Macroscélides dans la Région de Kisangani (R. D. Congo). Mémoire de DES, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 2007.
- [16] K. Kaswera. Impact des activités anthropiques sur la densité et la distribution de *Petrodromus tetradactylus tordayi* thomas, 1910 (Macroscelididae, Mammalia) dans la région de Kisangani (Province Orientale, R.D. Congo). Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 2013.

- [17] M. Colyn, A. Dudu, M. Mankoto. Exploitation du petit et moyen gibier des forêts ombrophiles du Zaïre. *Nature et Faune*, Vol. 3, no. 4, pp. 22-39, 1987.
- [18] A. Dudu, M. Mate, M. Gambalemoke, M. Danadu, T. Gembu, K. Kaswera. Précarité de l'exploitation des ressources naturelles renouvelables (Flore, Faune) de la Province Orientale en cette période des guerres et de la recherche de la paix. Communication présentée au séminaire de formation civique sur la « prévention des crises et l'instauration d'une paix durable en R. D. C » Fondation Konrad Adenauer, Kinshasa, pp. 65-85, 2002.
- [19] M.O. Adeola, E. Decker. Utilisation de la faune sauvage en milieu rural au Nigéria. *Nature et faune*, Vol. 3, no. 4, pp. 15-21, 1987.
- [20] B. Masheka. Etude socio-économique des communautés riveraines de la Réserve Forestière de Yoko (Province Orientale, R.D.C). Mémoire de DES, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 2009.
- [21] K. Vitekere. Caractérisation du circuit commercial de la viande de brousse à Kisangani: premier et deuxième niveaux de la filière sur la route Ituri (Bafwaboli et Baegofoma, Province de la Tshopo, RD Congo). Mémoire de DEA, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 2015.
- [22] N. Van Vliet, C. Nebesse, S. Gambalemoke, D. Akaibe, R. Nasi. Bushmeat consumption among rural and urban children from Province Orientale, Democratic Republic of Congo. *Fauna & Flora International, Oryx*, Vol. 49, no. 1, pp. 165-174, 2014. DOI: 10.1017/S0030605313000549.
- [23] MECNT. Quatrième rapport sur la mise en œuvre de la convention sur la diversité Biologique, Kinshasa, 74p, 2009.

Contribution à la connaissance des produits forestiers non ligneux de la Municipalité d'Ambuila (Uíge, Angola): Les plantes sauvages comestibles

[Contribution to the knowledge of no-timber forest products of Ambuila Municipality (Uíge, Angola): The wild edible plants]

Monizi Mawunu¹, Kola Bongo², Afonso Eduardo³, Makonzo M. Za Vua³, Luyindula Ndiku⁴, Pius T. Mpiana⁵, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua⁵

¹Departamento de Agronomia, Escola Superior Politécnica do Uíge, Universidade Kimpa Vita, CP.77. Uíge, Angola

²Departamento de Enfermagem, Escola Superior Politécnica do Uíge, Universidade Kimpa Vita, CP.77. Uíge, Angola

³Departamento da Saúde e Gestão. Instituto Superior de Angola, Angola

⁴Division des Sciences de la vie, Département de Microbiologie, Centre Régional d'Etudes Nucléaires- CREN-K, B.P. 868, Kinshasa XI, RD Congo

⁵Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2016 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: Preliminary inventory of wild edible no-timber forest products (NTFP) used for their tubers, fruits, seeds, roots, leaves buds, barks, by the Ambuila population, in the north-east of Angola, revealed the existence of 59 species of plants distributed in 43 genera and 31 botanical families among them *Apocynaceae*, *Zingiberaceae* and *Arecaceae* are the most represented, respectively with 5, 5 and 4 species. The inventoried edible wild plants are found in both forest and savanna but with predominance in the forest. Furthermore, the analysis of biological type performed on all harvested plant revealed the presence of trees, shrubs, herbaceous and lianas (66.09%), but we noticed that woody species predominate on *herbaceous* with 33, 30%. According to their importance, the most demanded organs of plants are: fruits, almonds and seeds (45.00%), leaves (32.50%), stems, bark and buds (16.25%) and roots and tubers with 6.25%. By descending the classification, the wild NTFP consumed by the Ambuila rural population are: fruits, almonds and seeds (34.67%), vegetables-leaves (22.7%), stimulants (21.33%), spices (10.67%), beverages (6.67%) and tubers represent 4.00%. Most of wild edible forest products at Ambuila are destined to self-consumption, only seven species of the 59 are sold locally, the average unit price is estimated at US\$ 0.713. Most of the products are consumed after processed (cooked, grids or boiled), the rest are consumed raw.

KEYWORDS: Wild edible plants, Biological types, Habitats, Uige province, Republic of Angola.

RÉSUMÉ: Un inventaire préliminaire des produits forestiers non ligneux (PFNL) comestibles sauvages utilisés pour leurs tubercules, fruits, graines, racines, feuilles, bourgeons, écorces par la population d'Ambuila, au Nord-Est de l'Angola, révèle l'existence de 59 espèces des plantes distribuées en 43 genres et 31 familles botaniques dont, les *Apocynaceae* et *Zingiberaceae* et les *Arecaceae* constituent les familles les mieux représentées, respectivement avec 5, 5 et 4 espèces. Les plantes sauvages comestibles inventoriées se retrouvent tant en forêt qu'en savane, mais avec une prédominance dans le milieu forestier. Par ailleurs, l'analyse de type biologique effectuée sur l'ensemble des plantes récoltées met en évidence la présence des arbustes, arbres, herbacées et lianes. Mais on constate que les espèces ligneuses (66,09%) prédominent sur les herbacées (33,90%). Les organes des plantes les plus prisés sont, par ordre d'importance, les fruits, amandes et graines

(45,00 %), les feuilles (32,50%), les tiges, les écorces et les bourgeons (16,25%), et les racines et tubercules avec 6,25%. Par ordre décroissant, les PFNL sauvages consommés par la population rurale d'Ambuila sont: les fruits, amandes et graines (34,67%), les légumes-feuilles (22,67%), stimulants (21,33%), épices (10,67%), boissons (6,67%) et les tubercules représentent 4,00%. Les PFNL sauvages comestibles exploités à Ambuila sont plus destinés à l'autoconsommation, seulement sept espèces sur les 59 sont commercialisées localement, dont le prix unitaire moyen est évalué à 0,713 U\$. L'essentiel des produits consommés sont transformés (cuits, grillés ou bouillis), et le reste sont consommés crus.

MOTS-CLEFS: Plantes alimentaires sauvages, Types biologiques, Habitats, Province de Uíge, République d'Angola

1 INTRODUCTION

Depuis la nuit des temps, la nature a toujours été hospitalière à l'homme; celui-ci y a vécu, subvenant à ses besoins par les activités de cueillette et de chasse. Les produits forestiers non-ligneux (PFNL) étaient la source principale de son alimentation, de sa santé et de son abri. Les peuples riverains des forêts ont perpétué cette relation avec ces produits tissant même avec la forêt des liens culturels et mystiques [1, 2]. Selon la FAO [3], plus de 25% de la population mondiale -soit environ 1,6 milliard d'êtres humains, dépendent des ressources forestières pour vivre. 75% de la population pauvres mondiale vit dans des zones rurales et dépend des PFNL pour sa survie et son bien-être; et enfin 80% des pays en voie de développement utilisent les PFNL au quotidien [2, 4].

En Afrique sub-saharienne, plus des deux tiers de la population dépendent directement ou indirectement des forêts pour leurs moyens d'existence [5]. En rapport avec l'Angola, le contexte n'est pas trop différent de celui qui caractérise en général les pays en développement et en particulier ceux de l'Afrique sub-saharienne. Selon la FAO [6], les forêts tropicales d'Angola couvrent plus de 58 millions d'hectares, sont les plus grands massifs forestiers tropicaux de l'Afrique Australe devant respectivement ceux de la Zambie (48.635.000 ha), de la Tanzanie (46.060.000 ha) et du Mozambique (37.940.000 ha), etc.

Pendant les 27 années (1975-2002) de guerres fratricides [7] qui ont ensanglanté l'Angola, les forêts étaient pourtant un lieu sûr de ravitaillement mais aussi de refuge pour les populations riveraines à Uíge, en particulier celles de la municipalité d'Ambuila. À la fin de la guerre, les populations tant civiles que militaires qui avaient trouvé refuge dans les forêts présentaient une bonne mine. Aujourd'hui elles abritent encore une énorme richesse d'espèces végétales et animales, et fournissent les moyens de subsistance à plusieurs milliers de personnes qui comptent sur les ressources naturelles locales pour leurs besoins alimentaires, de santé et autres.

Malgré l'intérêt croissant des scientifiques tant étrangers qu'angolais ces dernières années sur la biodiversité végétale et animale du pays, il y a très peu d'informations sur le potentiel, le mode d'exploitation et de commercialisation des PFNL de la province d'Uíge et en particulier ceux d'Ambuila. Ces produits sont pourtant utiles dans la sécurité alimentaire et nutritionnelle tant pour les populations locales que régionales. Plusieurs auteurs confirment que la consommation et le commerce des PFNL tels que les plantes comestibles, les poissons et le gibier sont susceptibles de contribuer à la sécurité alimentaire ainsi qu'à la génération des revenus de la population [8-11].

En outre, la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement tenue à Rio en 1992 repris par [12] a aussi reconnu l'intérêt écologique et socioéconomique des PFNL dans l'aménagement durable des écosystèmes forestiers. Il a également été reconnu que la dégradation des écosystèmes actuels est la conséquence des activités anthropiques, elle risque de mettre en péril l'avenir des populations qui dépendent de ces forêts [13].

La forêt de la municipalité d'Ambuila, est un *paradis* méconnu qui abonde en aliments traditionnels constitués des produits forestiers non ligneux alimentaires, des plantes médicinales et d'une biodiversité animale non négligeable, et pourtant, elle est parmi les municipalités les moins étudiées de l'Angola, notamment, en ce qui concerne la valeur socioéconomique de sa forêt. En outre, les PFNL d'Ambuila n'ont jamais fait l'objet d'études scientifiques. La valorisation de ces ressources naturelles permettrait pourtant d'atténuer la pauvreté, la faim et l'insécurité alimentaire en vue d'améliorer le bien-être social dans cette partie du pays. La présente étude se propose d'inventorier les différents PFNL sauvages comestibles végétaux utilisés par la population d'Ambuila et évaluer la commercialisation de ces produits au niveau local. Cette étude va contribuer à l'élaboration d'une base de données sur les PFNL comestibles végétaux de la province de Uíge en général et en particulier ceux de la municipalité d'Ambuila, afin d'améliorer le bien-être socioéconomique de cette population locale. Cette base de données servira ultérieurement pour les études de valeurs nutritionnelles, phytochimiques et des propriétés pharmaco-biologiques et au développement des stratégies d'organisation des marchés de ces produits au profit de la population locale dans un contexte de développement durable.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 DESCRIPTION DU MILIEU

La Municipalité d'Ambuila fait partie de 163 municipalités que comptent l'Angola et se localise dans la province de Uíge située au Nord-est de l'Angola (Figure 1). Ambuila s'étend sur une superficie de 4799 Km². Du point de vue géographique, elle se situe entre 7°26'38"S 14°38'52"E. Elle se limite à l'Ouest par les municipalités de Bembe et de Songo, à l'Est par la municipalité d'Uíge, au Sud par les municipalités de Quitexe et de Nambuangongo (province de Bengo) et en fin, au Nord par les municipalités de Nzeto (province de Zaïre) et de Nambuangongo (province de Bengo).

Avec un indice de masculinité de 102,1 (102 hommes pour 100 femmes), une population de 16.654 habitants et une densité démographique de 3,4 habitants par km², représentant ainsi 1,2% de la population de Uíge. Elle est la municipalité la moins peuplée de cette province [14, 15].

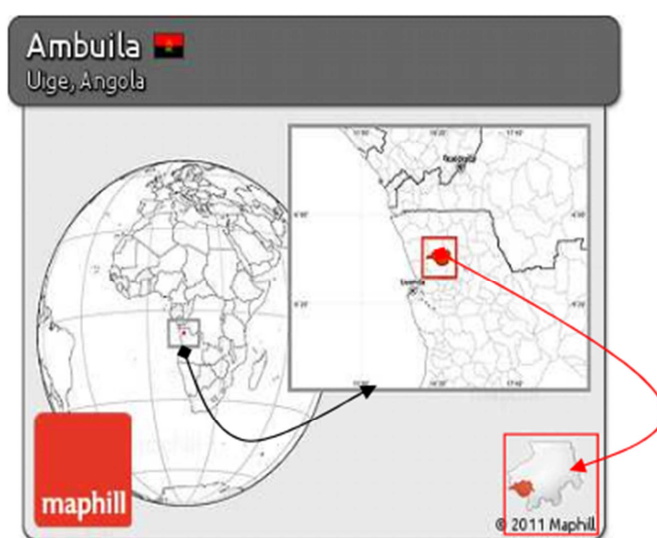


Figure 1. Localisation du site d'étude, Municipalité d'Ambuila en République d'Angola

Ambuila [Nova Caipemba] fait partie de la zone écologique angolaise 3, dénommée en portugais Zona Agrícola 3 Cafeícola Dembos-Uíge. Selon la classification de Köppen, Ambuila fait partie de climat tropical pluvieux avec deux saisons (Aw4). Une saison de pluie longue de 7 à 8 mois (Septembre/Octobre à Avril/Mai), avec une pluviométrie de 900 mm à 1500 mm et la saison sèche correspond au reste de la période.

Les températures plus basses sont observées en Juillet et Août, descendent en dessous de 13 °C. Par ailleurs, l'humidité relative annuelle moyenne est supérieure à 80%. Sa végétation est caractérisée par la forêt tropicale chaude et humide. Signalons que, la zone écologique agricole 3 fait partie de la grande région phytogéographique guinéenne avec deux grands groupements végétaux : la forêt dense humide à feuilles semi-caduques et la savane arbustive [5, 14, 16]. Mais sous l'action anthropique la forêt d'Ambuila est en train d'être remplacée sur des étendues non négligeables par des savanes à *Chromolaena odorata* (Asteraceae), *Inga edulis* (Leguminosae), *Trema orientalis* (Cannabaceae), *Triumfetta cordifolia* (Malvaceae), *Imperata cylindrica*, ainsi que par d'autres graminées. Le relief est composé des montagnes, vallées, collines et savanes boisées. Le sol est du type argilosablonneux. Plusieurs rivières arrosent la municipalité d'Ambuila notamment : Loge, Luezi et Vamba. Historiquement, cette municipalité, est connue grâce à la bataille qui porte son nom qui s'est déroulée le 29 octobre 1665 entre les colons portugais et l'armée du Roi Kongo, culminant la mort de son roi D. António et quelques 5 mille de ces combattants [14], cette bataille est beaucoup plus étudiée dans les grands temples du savoir à travers le monde qu'en Angola. Par ailleurs, c'est à Ambuila que l'on trouve l'une des sept merveilles naturelles de l'Angola, la fameuse grotte, dénommée *Tadi dia Nzenzo ou grutas de nzenzo* en portugais [17].

2.2 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Le matériel biologique est constitué de plantes alimentaires sauvages (arbres, arbustes, lianes et herbes) dont les organes sont consommés. Ces organes sont : les feuilles ou les bourgeons, les fruits, les graines ou les amandes, les écorces, les racines, les tubercules, les tiges, etc.

2.3 MÉTHODE D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans la Municipalité d'Ambuila de Juillet 2015 à Avril 2016. Son choix a été dicté par deux raisons majeures, l'existence d'une forêt dense d'une part et d'autre part la quasi-inexistence des études scientifiques sur les PFNL comestibles d'origine végétale existants dans cette partie de l'Angola. La connaissance, l'utilisation et/ou la vente de ces PFNL ont été utilisées comme critères de sélection des répondants. Le choix des personnes à enquêter a été fait en fonction de leur disponibilité.

Les interviews semi-structurées [18, 19] ont été effectuées par une équipe du Jardin Botanique de l'Université de Kimpa Vita (Angola), soumises auprès des 50 ménages de dix villages riveraines de forêts d'Ambuila et complétées par la suite à des observations directes de terrain. Dans la première partie du questionnaire on a cherché à caractériser le profil des utilisateurs et/ou vendeurs des PFNL comestibles d'origine végétale, quant à leur âge, genre, niveau d'études, acquisition de connaissance et l'apport de la vente de ces PFNL à leurs besoins quotidiens.

La seconde partie a consisté à la récolte de données sur la connaissance et l'utilisation de plantes comestibles, quant à l'habitat, aux organes utilisés dans l'alimentation humaine, le mode de consommation et les techniques de cueillette. Pour l'identification des plantes, nous nous sommes servis des documents spécialisés sur les plantes (livres, périodiques, monographies, thèses de doctorats etc.). Le dépouillement des données récoltées a consisté à relever les fréquences relatives en pourcentage aux différentes questions administrées aux enquêtés et à les présenter sous forme des tableaux ou graphiques, dont la saisie et l'analyse statistique de données ont été faites sur le logiciel SPSS version 19.

3 RESULTATS

3.1 PROFIL SOCIO-ECONOMIQUE DES EXPLOITANTS DES PFNL VEGETAUX SAUVAGES COMESTIBLES D'AMBUILA

L'enquête ethnobotanique a révélé qu'en moyenne le ménage comptait 5,4 habitants. Sur les 50 ménages enquêtés, habitent actuellement 187 personnes, soit numéro maximum de 11 et un minimum de 1 personne. Parmi les enquêtés 67% sont du sexe masculin et 23% sont du sexe féminin. Quant à source principale de revenu, 4% sont des chasseurs et anciens combattants, 95% agriculteurs, 1% sont des commerçants ambulants et autres. Par ailleurs, l'âge des enquêtés variait de 8 à 89 ans, avec une moyenne de 55 ans.

3.2 DIVERSITE DES ESPECES VEGETALES SAUVAGES CONSOMMEES PAR LES MENAGES RURAUX D'AMBUILA

Au total, 59 espèces des plantes sauvages comestibles réparties en 43 genres et 31 familles botaniques ont été inventoriées. Pour chaque espèce, les informations relatives à la famille botanique, au nom scientifique et au nom vernaculaire ont été notées, les organes, les modes de consommation, l'habitat, les types biologiques et usages ont également été relevés (tableau 1). Les familles les mieux représentées sont: *Zingiberaceae*, *Apocynaceae* et *Arecaceae*, respectivement avec 5, 5 et 4 espèces. Les *Malvaceae*, *Solanaceae*, *Burseraceae*, *Dioscoreaceae*, *Euphorbiaceae* et les *Urticaceae* sont également bien représentées (avec 3 espèces chacune). Par ailleurs, la grande majorité (96,61%) des plantes sauvages comestibles exploitées appartient à la division des Angiospermes (dont 70,18% des dicotylédones et 29,82% des monocotylédones) et la division des gymnospermes est la moins représentée, occupant seulement 3,39%. Le tableau 1 donne la liste des espèces spontanées comestibles inventoriées.

Tableau 1. Liste des espèces spontanées comestibles inventoriées dans la Municipalité d'Ambuila

Nom vernaculaire (Kikongo)	Nom Scientifique	Famille botanique	Parties utilisées	Usages	Mode de consommation	Habitat	Type biologique
Bowa	<i>Amaranthus sp</i>	Amaranthaceae	Feuilles	légumes-feuilles	Préparé	Forêt	Herbacées
Bulukutu	<i>Lippia multiflora</i>	Verbenaceae	Feuille, tige	Stimulant	Bouilli	Savane	Herbacées
Gunze	<i>Alchornea cordifolia</i>	Euphorbiaceae	Feuilles	Stimulant	Bouilli	Savane, forêt	arbres
Kavialata (Ianga)	<i>Não identificada ainda</i>	Araceae	Feuilles	Légumes-feuilles	Préparé	Forêt	Herbacées
Kikalakasa	<i>Psophocarpus scandens</i>	Leguminosae	Feuilles	Légumes-feuilles	Préparé	Forêt	Lianes
Kumpidi	<i>Piper nigrum</i>	Piperaceae	Graines	Epice	Préparé	Forêt	Lianes
Lembe kia mfinda	<i>Piper umbellatum</i>	Piperaceae	Feuilles	Légumes-feuilles	Préparé	Forêt	Herbacées
Lolo	<i>Sarcocephalus latifolius</i>	Rubiaceae	Fruits	Fruits	Crus	Savane	Arbres
Lolua lolua	<i>Annona sp</i>	Annonaceae	Feuilles	Stimulant	Bouilli	Savane	Arbrusseau
Lombolokia	<i>Annona senegalensis</i>	Annonaceae	Fruits	Fruits	Crus	Savane	Arbustes
Lumantu selvagem	<i>Lycopersicum sp</i>	Solanaceae	Fruits	Epice	Préparé	Forêt	Herbacées
Mabuba	<i>Myrianthus arboreus</i>	Urticaceae	Fruits	Fruits	Crus	Forêt	Arbres
Mabumi	<i>Strychnos cocculoides</i>	Loganiaceae	Fruits	Fruits	Crus	Savane	Arbres
Mabugununu	<i>Caprisicum sp</i>	Solanaceae	Fruits	Epices	Préparé	Forêt	Herbacées
Madiangulu	<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae	feuilles	Légumes-feuilles	Préparé	Forêt	Herbacées
Kazu dia zombo	<i>Cola sp</i>	Malvaceae	amandes	Fortifiant	Crus	Forêt	Arbres
Kazu dia kongo	<i>Cola acuminata</i>	Malvaceae	amandes	Fortifiant	Crus	Forêt	Arbres
Mansansa	<i>Afromomum sp</i>	Zingiberaceae	Fruits	Fruit	Crus	Forêt	Herbacées
Mpodia	<i>Afromomum sp</i>	Zingiberaceae	Fruits	Fruit	Crus	Forêt	Herbacées
Ntundulu	<i>Afromomum sp</i>	Zingiberaceae	Fruits	Fruit	Crus	Forêt	Herbacées
Mabokela nkayi	<i>Afromomum sp</i>	Zingiberaceae	Fruits	Fruit	Crus	Forêt	Herbacées
Manzunzia	<i>Afromomum albobolaceum</i>	Zingiberaceae	Fruits	Fruit	Crus	Forêt	Herbacées
Mbidi (mpiwa)	<i>Canarium schweinfurthii</i>	Burseraceae	Fruits	Fruit	Grillé	Forêt	Arbres
Sala nsafu	<i>Dacryodes sp</i>	Burseraceae	Fruits	Fruit	Grillé	Forêt	Arbres
Mfilu a M'finda	<i>Vitex ferruginea</i>	Lamiaceae	Fruits	Fruit	Bouilli	Forêt	Arbres
Mfilu	<i>Vitex mandiansis</i>	Lamiaceae	Fruit, écorces, racines.	Stimulant	Crus, bouilli	Savane	Arbustes
Mfumbwa	<i>Gnetum africanum</i>	Gnetaceae	feuilles	Légumes-feuilles	Préparé	Forêt	Lianes
Mitekua tekua	<i>Pteridium aquilinum</i>	Dennstaedtiaceae	Frondes	Légumes-feuilles	Préparé	Savane	Herbacées
Mungela	<i>Ricinodendron heudelotii</i>	Euphorbiaceae	Graines	Épices	Grillé, préparé	Forêt	Arbres
Mviwa	<i>Pseudospondias microcarpa</i>	Anacardiaceae	Fruits	Fruit	Crus	Forêt	Arbres
Mwindu	<i>Bridelia ferruginea</i>	Phyllanthaceae	Fruits	Fruit	Crus	Savane	Arbustes
Ndiadia	<i>Pennisetum purpureum</i>	Poaceae	Bourgeons	Légumes-feuilles	Préparé	Savane	Herbacées
Ndulu n'si	<i>Tiliacora funifera</i>	Menispermaceae	Feuilles	Épices/Arôme	Préparé	Forêt	Lianes
Nkasu	<i>Tetracarpidium conophorum</i>	Euphorbiaceae	Graines	Arômes/épices	Grillé	Forêt	Lianes
Nkia biembie	<i>Arbus precatorius</i>	Fabaceae	Feuilles	Légumes-feuilles	Crus	Forêt	Lianes
Nkizu	<i>Syzygium guineense</i>	Myrtaceae	Fruits	Fruit	Crus	Savane	Arbustes
Nkondo	<i>Adansonia digitata</i>	Malvaceae	Fruits/Pulpes	Jus	Crus & bouilli	Forêt	Arbres

<i>Nkutakani akanda</i>	<i>Não identificada ainda</i>	<i>Malvaceae</i>	<i>Feuilles, tige</i>	<i>Stimulant</i>	<i>Préparé</i>	<i>Savane</i>	<i>Herbacées</i>
<i>Nlondo londo</i>	<i>Mondia whitei</i>	<i>Apocynaceae</i>	<i>Feuilles, racines</i>	<i>Légumes;stimulant</i>	<i>Préparé</i>	<i>Forêt</i>	<i>Lianes</i>
<i>Nsafu</i>	<i>Dacryodes edulis</i>	<i>Burseraceae</i>	<i>Fruits</i>	<i>Fruit/condiment</i>	<i>Bouilli</i>	<i>Savane, forêt</i>	<i>Arbres</i>
<i>Nsangelavu mfinda</i>	<i>Costus sp</i>	<i>Costaceae</i>	<i>Tiges</i>	<i>Boissons</i>	<i>Crus</i>	<i>Forêt</i>	<i>Herbacées</i>
<i>Nsangelavu mongo</i>	<i>Costus sp</i>	<i>Costaceae</i>	<i>Feuilles</i>	<i>Légumes-feuilles</i>	<i>Préparé</i>	<i>Forêt</i>	<i>Herbacées</i>
<i>Nsoko</i>	<i>Dioscorea bulbifera</i>	<i>Dioscoreaceae</i>	<i>Tubercules</i>	<i>Tubercules</i>	<i>Bouilli</i>	<i>Forêt</i>	<i>lianes</i>
<i>Nzolele ngienda</i>	<i>Eriosema sp</i>	<i>Papilionaceae</i>	<i>Feuilles, tige</i>	<i>Stimulant</i>	<i>Préparé</i>	<i>Savane</i>	<i>Herbacées</i>
<i>Sadi kia nsamba</i>	<i>Dioscorea sp</i>	<i>Dioscoreaceae</i>	<i>Tubercule, bourgeon</i>	<i>Légumes-feuilles, tubercules</i>	<i>Préparé</i>	<i>Forêt</i>	<i>Lianes</i>
<i>Sadi kia kongo</i>	<i>Dioscorea sp</i>	<i>Dioscoreaceae</i>	<i>Tubercule</i>	<i>Tubercules</i>	<i>préparé</i>	<i>Forêt</i>	<i>Lianes</i>
<i>Sangu sangu</i>	<i>Cymbopogon densiflorus</i>	<i>Poaceae</i>	<i>Feuilles, tige</i>	<i>Stimulant</i>	<i>préparé</i>	<i>Savane</i>	<i>Herbacées</i>
<i>Tumasa-masa</i>	<i>Landolphia sp</i>	<i>Apocynaceae</i>	<i>Fruits</i>	<i>Fruit</i>	<i>Crus</i>	<i>Forêt</i>	<i>Lianes</i>
<i>Tumenga-menga</i>	<i>Landolphian sp</i>	<i>Apocynaceae</i>	<i>Fruits</i>	<i>Fruit</i>	<i>Crus</i>	<i>Forêt</i>	<i>Lianes</i>
<i>Makonge</i>	<i>Landolphia sp</i>	<i>Apocynaceae</i>	<i>Fruits</i>	<i>Fruit</i>	<i>Crus</i>	<i>Forêt</i>	<i>Lianes</i>
<i>Mabunda</i>	<i>Landolphia sp</i>	<i>Apocynaceae</i>	<i>Fruits</i>	<i>Fruit</i>	<i>Crus</i>	<i>Forêt</i>	<i>Lianes</i>
<i>Vidi</i>	<i>Laportea aestuans</i>	<i>Urticaceae</i>	<i>Feuilles</i>	<i>Stimulant</i>	<i>Bouilli</i>	<i>Forêt</i>	<i>Herbacées</i>
<i>Vilua</i>	<i>Raphia sp</i>	<i>Arecaceae</i>	<i>Fruits /tige</i>	<i>Boissons</i>	<i>Crus</i>	<i>Forêt</i>	<i>Arbres</i>
<i>Vusu</i>	<i>Raphia sp</i>	<i>Arecaceae</i>	<i>fruits/tige</i>	<i>Boissons</i>	<i>Crus</i>	<i>Forêt</i>	<i>Arbres</i>
<i>Tombe</i>	<i>Raphia sp</i>	<i>Arecaceae</i>	<i>Fruits/tige</i>	<i>Boissons</i>	<i>Crus</i>	<i>Forêt</i>	<i>Arbres</i>
<i>Wayi</i>	<i>Scorodophoeus zenkeri</i>	<i>Caesalpiniaceae</i>	<i>Ecorces e Graines</i>	<i>Arômes /épices</i>	<i>Préparé</i>	<i>Forêt</i>	<i>Arbres</i>
<i>Wuluwulu</i>	<i>Cissus dinklagel</i>	<i>Vitaceae</i>	<i>Tiges</i>	<i>Eau/boissons</i>	<i>Crus</i>	<i>forêt</i>	<i>Lianes</i>
<i>Nsenga nsenga</i>	<i>Musanga ceropioides</i>	<i>Urticaceae</i>	<i>Racines</i>	<i>Eau/boissons</i>	<i>Crus</i>	<i>Forêt</i>	<i>Arbres</i>
<i>Ba dia ngazi</i>	<i>Elaeis guineensis</i>	<i>Arecaceae</i>	<i>Noix, tige</i>	<i>Boissons, huile rouge</i>	<i>Crus, préparé, grillé</i>	<i>Forêt</i>	<i>Arbres</i>

3.3 HABITATS DES ESPECES VEGETALES EXPLOITEES PAR LES MENAGES RURAUX D'AMBUILA

La figure 2 donne les différents milieux écologiques qui abritent les espèces végétales sauvages alimentaires inventoriées à Ambuila (Angola).

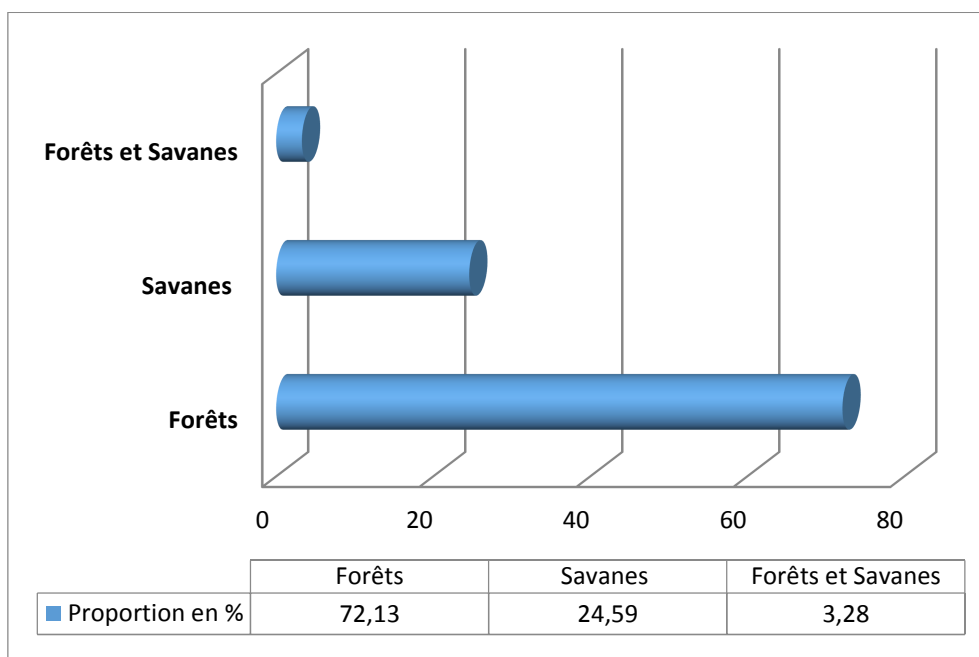


Figure 2. Habitats/biotopes des espèces végétales exploitées à Ambuila

Il ressort de la figure 2 que 59 espèces végétales ont été recensées en forêt, soit 72,13% des taxons ; 24,59% des espèces de savanes ont été recensées. Par ailleurs, seulement 3,28% des espèces sont rencontrées à la fois en forêt dans les savanes, soit ubiquistes.

3.4 PROPORTION D'ORGANES VEGETAUX CONSOMMES PAR LES MENAGES RURAUX D'AMBUILA

La figure 3 donne les proportions de différents organes des végétaux sauvages consommés par les ménages d'Ambuila.

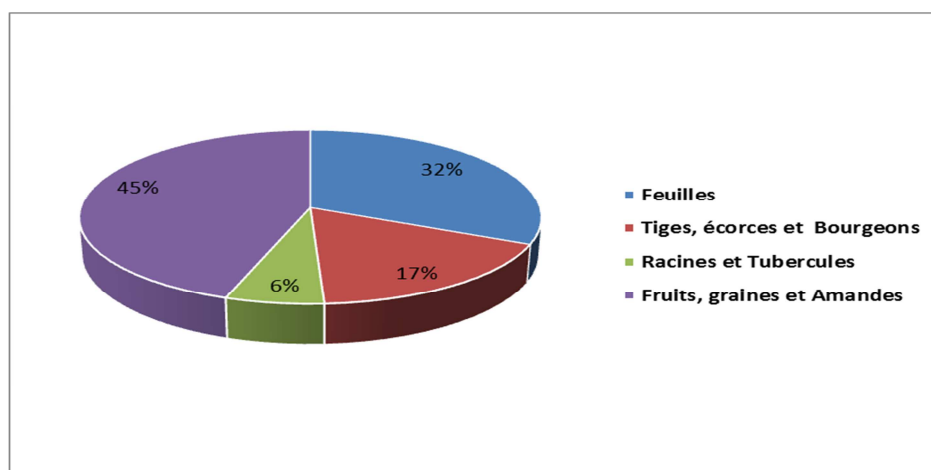


Figure 3. Proportions des organes des PFNL sauvages comestibles

Au regard de la figure 3, il sied de signaler qu'il y a prévalence des fruits et graines (45%), suivie respectivement des feuilles (32,50%), les tiges, écorces et jeunes pousses (17,50%), enfin les racines et tubercules représentent 6,25%. Les fruits et graines et les feuilles sauvages comestibles se révèlent donc des organes végétatifs les plus abondants de la forêt de Ambuila.

3.5 PROPORTION DES PFNL VEGETAUX SAUVAGES COMESTIBLES DE LA FORET D'AMBUILA

La figure 4 donne les proportions des différents PFNL végétaux sauvages consommés par la population d'Ambuila.

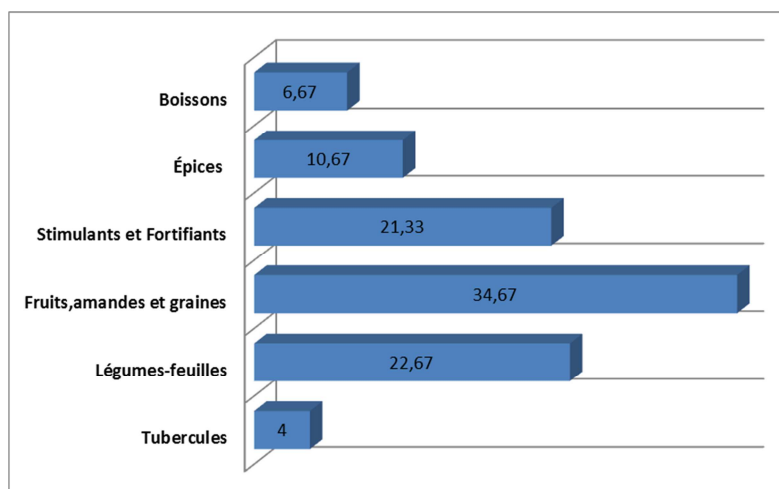


Figure 4. Proportion des différents PFNL végétaux sauvages comestibles

Il ressort de la figure 4 que les fruits et légumes-feuilles occupent les PFNL les plus consommés par les ménages ruraux d'Ambuila avec respectivement 34,67% et 22,67%. Ils sont suivis respectivement par les stimulants («thé traditionnel») et fortifiants (21,33%), les épices (10,67%), les boissons (sève de *Raphia* et d'*Elaeis guineensis*) avec 6,67%. Par contre, les tubercules sont très peu représentés avec seulement 4,00%.

3.6 PRINCIPAUX PFNL SAUVAGES VEGETAUX COMESTIBLES COMMERCIALISES A AMBUILA

Le tableau 2 donne les prix moyens en dollars américains des sept produits forestiers non ligneux sauvages comestibles vendus au niveau du marché local d'Ambuila.

Tableau 2. Prix moyens des sept produits forestiers non ligneux sauvages comestibles vendus à Ambuila

Nom en Kikongo	Nom scientifique	Usage principal	Prix unitaire moyen (U\$)
Mfumbwa	<i>Gnetum africanum</i>	Légumes-feuilles	1,065
Makazu	<i>Cola ssp</i>	Noix	0,692
Bulukutu	<i>Lippia multiflora</i>	Stimulants	0,545
Matombe	<i>Raphia ssp</i>	Boissons	0,471
Sala nsafu	<i>Dacryodes sp</i>	Fruits	0,595
Bá dia ngazi (Mbulu)	<i>Elaies guineensis</i>	Boissons	0,471
Kumpidi	<i>Piper guineense</i>	Graines	1,145
Prix unitaire moyen de tous les PFNL			0,713

Il ressort du tableau 2 que très peu des PFNL exploités par les ménages ruraux d'Ambuila sont commercialisés au niveau local, soit presque une espèce sur dix.

Piper guineense (Kumpidi en kikongo) est le PFNL le plus cher de tous avec 1,145 U\$ en moyenne le kilo, suivi respectivement par *Gnetum africanum* (Mfumbwa en Kikongo), *Cola ssp* (Makazu en Kikongo), *Lippia multiflora* (Bulukutu en Kikongo), *Dacryodes sp* (Sala nsafu en Kikongo). Les vins de *Raphia ssp* (Matombe en Kikongo) et de *Elaeis guineensis* (Bá dia ngazi), sont les moins coûteux avec 0,471 U\$ le litre.

La plupart (88,14%) de ces produits sont destinés à l'alimentation humaine et servent à l'autoconsommation. Par ailleurs, seulement 11,86 % près qu'une espèce sur dix est encore coulée au niveau local, à peine quatre des Cinquante et neuf espèces sont commercialisées au marché régional.

3.7 TECHNIQUES DE RÉCOLTE DES PFNL

La figure 5 donne les différentes techniques utilisées par la population locale d'Ambuila pour la récolte des PFNL végétaux comestibles.

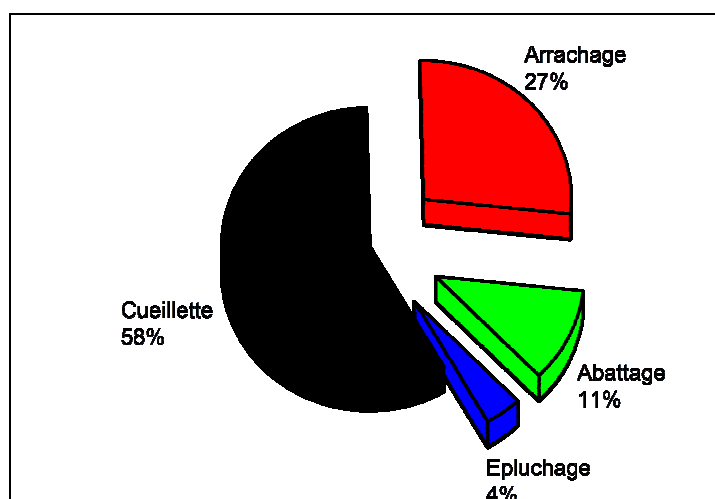


Figure 5. Techniques de récolte des PFNL

A partir de la figure 5, on remarque que la population d'Ambuila fait recours à plusieurs techniques pour récolter les PFNL. La cueillette (58,00%) est la technique la plus utilisée et que l'épluchage (4,00%) est la moins utilisée. Par contre, l'arrachage vient en seconde position (27,00%) suivie par l'abattage avec 11,00%. Ces deux dernières techniques peuvent entraîner l'érosion génétique et ne sont pas écologiquement durables.

3.8 TYPES BIOLOGIQUES

La figure 6 donne les espèces végétales sauvages recensées selon leur type biologique.

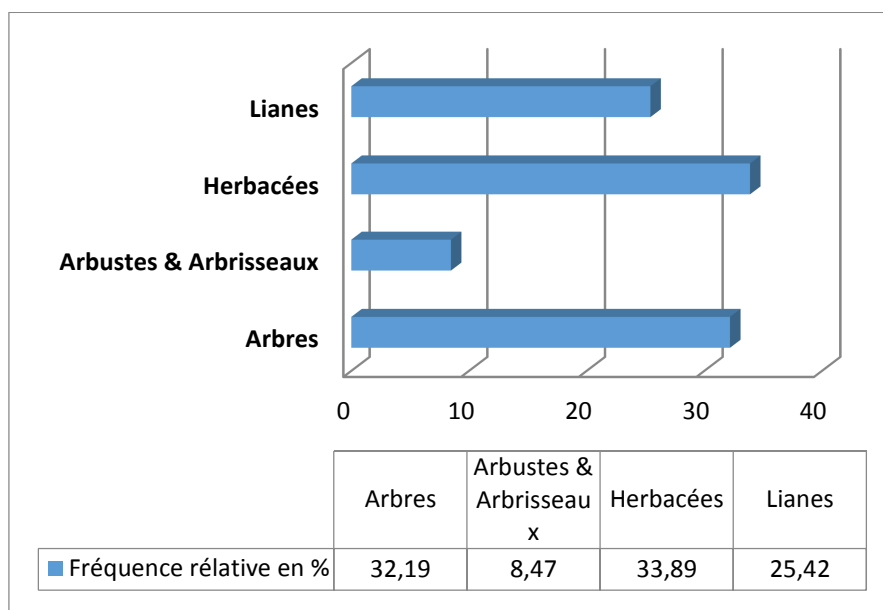


Figure 6. Types biologiques

La figure 6 montre qu'il existe une grande diversité des types biologiques des PFNL dans les forêts et savanes d'Ambuila. Les espèces végétales sauvages comestibles inventoriées montrent que les herbacées sont les plus représentées avec 33,89%, suivies respectivement des arbres (32,20%) et des lianes avec 25,42%. Par ailleurs, les arbustes occupent moins de ¼, soit 8,47%.

3.9 MODES DE CONSOMMATION DES PFNL VEGETAUX SAUVAGES A AMBUILA

La figure 7 donne les différents modes de consommation des PFNL par les ménages d'Ambuila.

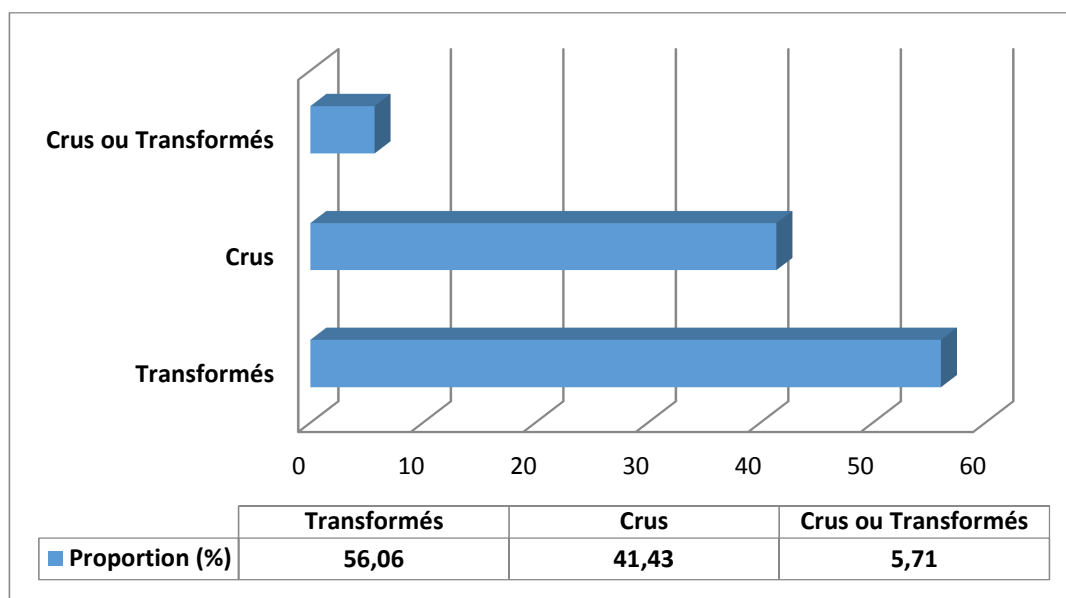


Figure 7. Modes de consommation des PFNL à Ambuila

L'analyse de la figure 7 montre que trois principaux modes de consommation des PFNL comestibles sont utilisés par les exploitants d'Ambuila. L'essentiel (56,06%) des produits sont consommés transformés soit préparé, bouilli ou grillé. Par

contre, 41,43% de produits sont consommés crus, et moins de 10%, soit 5,71% peuvent être consommés crus ou transformés.

4 DISCUSSION

La flore sauvage d'Ambuila héberge une diversité phytogénétique (espèces sauvages comestibles) d'intérêt aussi bien local que régional. L'exploitation et la gestion durable de cette forêt est un atout non négligeable pour atténuer la faim, le manque d'emplois et l'insécurité alimentaire en milieu rural surtout en cette période de crise financière qui secoue l'Angola suite à la baisse du coût de pétrole sur le marché international.

L'enquête ethnobotanique a révélé qu'un ménage comptait en moyenne 5,4 habitants. Soit un maximum de 11 et un minimum d'une personne, la moyenne d'âge est de 55 ans. Parmi les enquêtés la majorité étaient des hommes (67%) et 23% étaient des femmes. Cela peut s'expliquer par le fait que les hommes fréquentent plus les forêts que les femmes. L'agriculture constitue la principale source de revenu (95,0%) des enquêtés. Par contre les autres sources comme la chasse, le commerce fournissent respectivement 4% et 1%. Comparé aux données actuelles de [20], au niveau national la taille moyenne de ménage est de 4,5 individus, le taux d'analphabétisme est de 20% et 47% respectivement chez les hommes et les femmes; l'âge moyen est de 21 ans. Par ailleurs, l'agriculture est pratiquée par 46% de la population angolaise.

Les enquêtes ethnobotaniques ont permis d'inventorier 59 espèces des plantes comestibles sauvages dans les forêts d'Ambuila (Angola) faisant partie de la zone écologique Zona Agrícola 3 Cafeícola Dembos-Uíge [21]. Parmi ces espèces, on trouve cinq (5) arbustes, 19 arbres, 20 des herbes et 15 sont des lianes. Par ailleurs, l'étude réalisée par [22] dans le Bas-Congo (actuel Congo Central en République Démocratique du Congo) a montré qu'il existe 13 arbres, 13 arbustes, deux (2) sous-arbustes, sept (7) lianes, sept (7) herbes annuelles et neuf (9) herbes vivaces.

Les espèces comestibles sauvages inventoriées à Ambuila poussent à l'état sauvage soit en forêts ou en savanes et n'ont pas besoin d'entretien particulier. Pour ces raisons, les activités anthropiques sont une menace pour la survie de ces habitats naturels. [23-25] en Afrique centrale ont fait les mêmes observations. Quant à l'habitat, la majeure partie des espèces recensées se rencontrent en forêt 71,37% des taxons mais les savanes abritent $\frac{1}{4}$ soit, 24,56% des espèces et en fin 3,51% de ces espèces sont ubiquistes.

Au cours des enquêtes, nous avons constaté que presque toutes les parties des plantes sont consommées. Les fruits et graines sont les organes les plus consommés, suivis respectivement par les feuilles, les tiges, écorces, et jeunes pousses et les racines et tubercules et les racines sont les moins représentées. Certains auteurs comme [22, 26] ont fait les mêmes constats respectivement sur les organes végétaux consommés dans la province du Bas-Congo et sur toute la RDC en général. Bien que les feuilles-légumes viennent en deuxième position, elles sont pourtant, les organes qui rentrent les plus dans la préparation de mets familiaux [24, 27].

La plupart des organes de PFNL végétaux (écorces, bourgeons, feuilles, graines et tubercules) sont transformés avant d'être consommés et rentrent dans la préparation de mets [24], mais les fruits sont consommés crus immédiatement sur les lieux de cueillette et une partie est acheminée au foyer, souvent par les enfants et parfois par les adultes [28]. La transformation de certains produits peut être justifiée par le fait que certaines substances nutritives qui y sont présentes doivent être cuites pour bien les digérer. Sur les 59 espèces alimentaires sauvages inventoriées, très peu d'entre elles sont commercialisées au niveau local, soit une espèce sur dix. *Piper guineense* est le PFNL le plus cher, suivi respectivement par *Gnetum africanum*, *Cola ssp*, *Lippia multiflora*, *Dacryodes sp*. Les vins de *Raphia ssp* et de *Elaeis guineensis*, sont les moins coûteux mais plus abondants. Selon [1], l'offre de ces PFNL comestibles est généralement fonction de la saisonnalité des produits. La fixation des prix se fait suivant la loi de l'offre et de la demande mais également du coût de revient, de la qualité du produit (état de périssabilité), de la dimension du produit ainsi que du coût de transport.

Les exploitants des PFNL à Ambuila font recours à plusieurs techniques pour la récolte des organes végétaux sauvages destinées à l'alimentation. La cueillette est la technique la plus utilisée, suivie respectivement par et que l'épluchage la moins utilisée. Par contre, l'arrachage vient en seconde position suivie par l'abattage. L'avidité commerciale et l'ignorance font que certains utilisent des techniques de récolte non durable. Plusieurs des plantes répertoriées sont aussi connues pour leurs propriétés médicinales [29]. Le recours aux plantes médicinales pour la prise en charge des maladies courantes en Afrique n'est plus à démontrer [30-51].

Ainsi, les plantes comestibles sauvages peuvent servir de sources d'aliments pour la prise en charge de la drépanocytose (*Adansonia digitata*, *Afromomum alboviolaceum*, *Alchornea cordifolia*, *Annona senegalensis*, *Bridelia ferruginea*, *Canarium schweinfurthii*, *Dacryodes edulis*, *Gnetum africanum*, *Sarcocephalus latifolius*, *Syzygium guineense*) [52-

58] ou du diabète (*Dioscorea bulbifera*) [59]. L'une de ces plantes (*Scorodophleous zenkeri*) est douée des propriétés larvicides *in vitro* vis-à-vis de *Culex quinquefasciatus* [60].

5 CONCLUSION

La présente étude a permis d'inventorier les espèces sauvages comestibles rencontrées dans la municipalité de Ambuila et d'évaluer leur importance relative tant comme plantes fruitières, stimulantes, épicières, que légumières. La même étude a révélé que divers organes végétaux de nombreuses plantes servent à l'alimentation des ménages ruraux. Notre étude a révélé que la population rurale de Ambuila entretient des relations étroites avec la forêt et connaît bien les espèces végétales sauvages, en particulier celles destinées à l'alimentaire grâce à la tradition orale transmise des parents à leurs enfants, malgré la diversité parfois de noms vernaculaires des certaines espèces au sein de la même région.

La grande diversité des espèces sauvages comestibles rencontrées dans cette partie de l'Angola représente un atout non négligeable pour la diversification tant alimentaire que nutritionnelle. Par ailleurs, les préservations et la domestication de ces espèces aux propriétés importantes permettraient aux générations futures de lutter contre l'insécurité alimentaire, la faim et la pauvreté en milieu rural. L'identification de différentes espèces de plantes alimentaires constitue un préliminaire important dans la gestion durable des ressources phytogénétiques locales.

Cette étude qui ne s'est limitée qu'à la Municipalité de Ambuila devra se poursuivre en vue d'aboutir à un inventaire complet des plantes sauvages utilisées dans l'alimentation de la population de la province d'Uíge, en République d'Angola.

REFERENCES

- [1] G.M. Vila Verde, J.R. Paula, D.M. Carneiro. Levantamento etnobotânico das plantas medicinais do cerrado utilizadas pela população de Mossamedes (GO). Revista Brasileira de Farmacognosia Vol. 13 (supl.), pp. 64-66, 2003.
- [2] N. Elise, J. Chupezi, O. Ndoeye. Analyse des aspects socio-économiques des produits forestiers non-ligneux (PFNL) en Afrique centrale. Renforcement de la sécurité alimentaire en Afrique Centrale à travers la gestion et l'utilisation durable des produits forestiers non ligneux. CP/RAF/398/GER, 2008.
- [3] FAO. Améliorer la foresterie pour réduire la pauvreté : Manuel du Praticien. Rome, 2007.
- [4] IUCN. Guide des bonnes pratiques : Gestion durable des forêts, diversité biologique et moyens d'existence, 2009.C. Wasseige, P. de Marcken, N. Bayol, F. HiolHiol, Ph. Mayaux, B. Desclée, R. Nasi, A. Billand, P. Defourny, R. Eba'a Atyi. Les Forêts du Bassin du Congo – état des Forêts 2010, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2012. doi: 10.2788/48830.
- [5] CIFOR. Forêts pour les populations et l'environnement. Rapport annuel, 2004.
- [6] FAO. Évaluation des ressources forestières mondiales. Répertoire de données de FRA 2015. Rome, 2015.
- [7] C.M. Lopes, C.U. Rodrigues, G. Simas. A Caminho da cidade: Migração interna, urbanização e saúde em Angola. Research Report.ACPOBS/2013/PUB05. Organização Internacional para as Migrações, 2013.
- [8] FAO. Rôle de la diversité biologique dans l'alimentation de l'humanité. Sécurité alimentaire. Rome, 2001.
- [9] WWF & FRM. Guide opérationnel, Normes d'inventaire d'aménagement forestier RD. Congo, pp. 1-35, 2005.
- [10] M.A. Biloso, J. Lejoly. Étude de l'exploitation et du marché des produits forestiers non ligneux à Kinshasa. Tropicultura Vol. 24, no. 3, pp. 183-188, 2006.
- [11] J.M. Kahindo. Inventaire des produits forestiers végétaux non ligneux et leur commercialisation dans la ville de Kisangani (R.D. Congo), DEA, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 2007.
- [12] K.N. Ngbolua, G.M. Ngemale, N.F. Konzi, C.A. Masengo, B.Z. Gbolo, B.M. Bangata, T.S. Yangba, N. Gbiangbada. Utilisation de produits forestiers non ligneux à Gbadolite (R.D. Congo): cas de *Cola acuminata* (P. Beauv.). Schott & Endl. (*Malvaceae*) et de *Piper guineense* Schumach. & Thonn. (*Piperaceae*). Congo Sciences, Vol. 2, no. 2, pp. 60-66, 2014.
- [13] FAO. Situation des forêts du monde. Rome, 2005.
- [14] Perfil da Provincia do Uíge. Governo Provincial do Uíge, Angola. 2012.
- [15] RGPH (Recenseamento Geral da População e Habitação), Instituto Nacional de Estatística (INE), Luanda, Angola, 2014.
- [16] D.A. Castanheira. Características mesológicas de Angola. Descrição e correlação dos aspectos fisiográficos, dos solos e da vegetação das zonas agrícolas angolanas. 2006. Lisboa. 2ª edição, 2006.
- [17] Jornal de Angola. As Sete maravilhas naturais de Angola. Journal d'Angola de dia 2 de Maio de 2014.
- [18] U.P. Albuquerque, R.F. Lucera. Métodos e técnicas na pesquisa etnotânica. 2ª Ed. Recife: Livro Rápido NUPPEA; 2004.
- [19] G.J. Martin. Ethnobotany: a method manual. Chapman & Hall, London, U.K., 1995.
- [20] INE. Resultados definitivos do Recenseamento geral da População e Habitação de Angola 2014. Luanda, Angola, 2016.

- [21] V. Clausnitzer, K.D. Dijkstra, B. Ditsch, R. Ernest, A. Gärtner, M. Hölting, J. Kipping, T. Lautenschläger, J.L. Mandombe, F. Müller, C. Neinhuis, M. Nuss, M. Päckert. Riquezas naturais de Uíge-Uma breve introdução sobre o estado atual, a utilização, a ameaça e a preservação da biodiversidade, Dresden, Germany, 2014.
- [22] A. Lubini, M. Mossala, P.M.L. Onyembe, N.B. Lutaladio. Inventaire des fruits et légumes autochtones consommés par les populations du Bas-Zaïre. Tropicultura Vol. 12, no. 3, pp. 118-123, 1994.
- [23] F. Busson. Plantes alimentaires de l'Ouest Africain. Etude botanique, biologique et chimique. Ministère de la Recherche Scientifique et des Armées, Paris, 1965.
- [24] M.T. N'Dri, G. Kouamé, M. Gnahoua, K.E. Kouassi, D. Traoré. Plantes alimentaires spontanées de la région du Fromager (Centre Ouest de la Côte d'Ivoire) : flore, habitats et organes consommés. Sciences & Nature Vol. 5, no. 1, pp.: 61-70, 2008.
- [25] E. Noumi. Les plantes à épices, à condiments et à aromates du Cameroun. Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université de Yaoundé, Cameroun, 1984.
- [26] S. Mutambwe. Revue nationale sur les produits forestiers non ligneux (PFNL). Cas de la République Démocratique du Congo. Establishment of Forestry Research Network for ACP Countries (FORENET), 2010.
- [27] Y.M. Amani, S. H. Shalukoma, B. Nteranya, F.K. Minzangi, O.K. Cimanuka, G.C. Tabaro. Inventory of wild food plants in Irhambi-Katana, Bugorhe and Miti Districts, South-Kivu, DR Congo. International Journal of Innovation and Scientific Research Vol. 20, no. 1, pp. 163-170, 2016.
- [28] A. Atato, K. Wala, M. Dourma, R. Bellefontaine, Y.A. Woegan, K. Batawila, K. Akpagana: Espèces lianescentes à fruits comestibles du Togo. Fruits, Vol. 67, pp.353-368, 2012.
- [29] H.D. Neuwinger. African Traditional Medicine. Mepharm Scientific Publisher, Stuttgart, 2000.
- [30] K.N. Ngbolua, H. Rakotoarimanana, H. Rafatro, S.R. Urverg, V. Mudogo, P.T. Mpiana, D.S.T. Tshibangu. Comparative antimalarial and cytotoxic activities of two Vernonia species: *V. amygdalina* from the Democratic Republic of Congo and *V. cinerea subsp vialis* endemic to Madagascar. Int. J. Biol. Chem. Sci., Vol. 5, no. 1, pp. 345-353, 2011b.
- [31] K.N. Ngbolua, N.R. Mubindukila, P.T. Mpiana, C.A. Masengo, R. Baholy, P.R. Fatiany, E.G. Ekutsu, Z.B. Gbolo. *In vitro* Assessment of Antibacterial and Antioxidant activities of a Congolese medicinal plant species *Anthocleista schweinfurthii* Gilg (Gentianaceae). J. of Modern Drug Discovery and Drug Delivery Research. V1I3, 20014a. DOI: 10.15297/JMDDR.V1I3.03.
- [32] K.N. Ngbolua, N.R. Mubindukila, P.T. Mpiana, D.S.T. Tshibangu, C.A. Masengo, K.W. Nzongola, R. Baholy, P.R. Fatiany. Phytochemical screening, Antibacterial and Antioxidant activities of *Anthocleista liebrechtsiana* Wild & T. Durand (Gentianaceae) originated from Democratic Republic of the Congo. Journal of Advancement in Medical and Life Sciences V1I3, 2014b. DOI: 10.15297/JALS.V1I3.04.
- [33] K.N. Ngbolua. Evaluation de l'activité anti-drépanocytaire et antipaludique de quelques taxons végétaux de la République Démocratique du Congo et de Madagascar, Thèse de Doctorat: Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo, 2012. DOI: [10.13140/RG.2.1.3513.3606](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3513.3606).
- [34] K.N. Ngbolua, T.T. Bishola, P.T. Mpiana, V. Mudogo, D.S.T. Tshibangu, K.N. Ngombe, E.G. Ekutsu, D.D. Tshilanda, Z.B. Gbolo, T.D. Mwanangombo, P.R. Fatiany, R. Baholy. Ethno-botanical survey, *in vitro* antisickling and free radical scavenging activities of *Garcinia punctata* Oliv. (Clusiaceae). Journal of Advanced Botany & Zoology V1I2, 2014e. DOI: 10.15297/JABZ.V1I2.04.
- [35] J.K. Kambale, K.N. Ngbolua, P.T. Mpiana, V. Mudogo, D.S.T. Tshibangu, R. Wumba, L.G. Mvumbi, L.R. Kalala, K.G. Mesia, E. Ekutsu. Evaluation *in vitro* de l'activité antifalcémiant et effet antioxydatif des extraits d'*Uapaca heudelotii* Baill. (Euphorbiaceae). Int. J. Biol. Chem. Sci. Vol. 7, no. 2, pp. 523-534, 2013.
- [36] K.N. Ngbolua, B.M. Bolaa, P.T. Mpiana, E.G. Ekutsu, A.C. Masengo, D.S.T. Tshibangu, V. Mudogo, D.D. Tshilanda, K.R. Kowozogono. Great Apes Plant Foods as Valuable Alternative of Traditional Medicine in Congo Basin: The Case of Non-Human Primate Bonobos (*Pan paniscus*) Diet at Lomako Fauna Reserve, Democratic Republic of the Congo. J. of Advanced Botany and Zoology, V3I1, 2015. DOI: 10.15297/JABZ.V3I1.01.
- [37] K.N. Ngbolua, D.S.T. Tshibangu, P.T. Mpiana, O.S. Mihigo, B.K. Mavakala, C.A. Masengo, L.C. Muanyishay. Anti-sickling and antibacterial activities of Some Extracts from *Gardenia ternifolia* subsp. *jovis-tonantis* (Welw.) Verdc. (Rubiaceae) and *Uapaca heudelotii* Baill. (Phyllanthaceae). Journal of Advances in Medical and Pharmaceutical Sciences Vol. 2, no. 1, pp. 10-19, 2015.
- [38] G.E. Ekutsu, K.N. Ngbolua, B.M. Bolaa, P.T. Mpiana, B.P. Ngoy, C.A. Masengo, G.N. Bongo. Enquête sur la pharmacopée des bonobos (*Pan paniscus*, Primates) dans un foyer endémique et Mise en évidence de l'activité anti-drépanocytaire chez un taxon végétal (*Treulia africana* Decne ex Trécul, Moraceae) testé *in vitro*. International Journal of Innovation and Applied Studies Vol. 14, no. 2, pp. 315-326, 2016.

- [39] K.N. Ngbolua, T.T. Bishola, P.T. Mpiana, V. Mudogo, D.S.T. Tshibangu, K.N. Ngombe, E.G. Ekutsu, B.Z. Gbolo, N.O. Kabena. Ethno-pharmacological survey, in vitro antisickling and free radical scavenging activities of *Carapa procera* DC. stem bark (Meliaceae). *Nova Journal of Medical and Biological Sciences* Vol. 2, no. 2, pp. 01-14, 2014.
- [40] K.N. Ngbolua, T.T. Bishola, P.T. Mpiana, V. Mudogo, D.S.T. Tshibangu, K.N. Ngombe, E.G. Ekutsu, D.D. Tshilanda, B.Z. Gbolo, T.D. Mwanangombo, P.R. Fatiany, R. Baholy. Ethno-botanical survey, in vitro antisickling and free radical scavenging activities of *Garcinia punctata* Oliv. (Clusiaceae). *Journal of Advanced Botany & Zoology* V1I2, 2014. DOI: 10.15297/JABZ.V1I2.04
- [41] P.T. Mpiana, F.M. Misakabu, J.M. Kitadi, K.N. Ngbolua, D.S.T. Tshibangu, B.K. Lombe, P.V. Tsalu, E.K. Atibu, B.Z. Gbolo, C.L. Muanishay. Antisickling activity and physico-chemical stability of anthocyanin extracts from *Hypoxis angustifolia* Lam. (Hypoxidaceae) bulbs. M. Noboru (Ed.), in: *Anthocyanins: Occurrence, Structure, Biosynthesis and Health benefits Based on their Evidences of Phytochemicals in Vegetables and Fruits*, NOVA Science Publishers, Inc., New York, USA, 2014; Vol. 2, pp: 97-113.
- [42] P.T. Mpiana, V. Mudogo, D.S.T. Tshibangu, K.N. Ngbolua, E.K. Atibu, E.K. Kitwa, A.B. Kanangila, L.K. Makelele. Activité antifalcémiant et thermodégradation d'une fraction d'anthocyanes extraits de *Zizyphus mucronata*, *Ann. Afr. Med.* Vol. 2, no. 2, pp. 91-97, 2009.
- [43] P.T. Mpiana, V. Mudogo, D.S.T. Tshibangu, O.M. Shetonde, K.N. Ngbolua, M.B. Mbala. Antisickling activity of some Congolese plants, in: *Drug discovery from African flora, The 12th Symposium of the Natural Product Research Network for Eastern and Central Africa*, July 22-26, 2007; University of Makerere, Kampala, Uganda, p.45 (PS-6).
- [44] P.T. Mpiana, V. Mudogo, D.S.T. Tshibangu, K.N. Ngbolua, P.K. Mangwala, E.K. Atibu, M.K. Kakule, L.K. Makelele, M.T. Bokota. Antisickling Activity and Thermodegradation of an Anthocyanin fraction from *Ocimum basilicum* L. (LAMIACEAE). *Comp. Bio. Nat. Products*. 2010; Vol. 3. Effects, Safety & Clinical (Pt II), pp. 278-287.
- [45] K.N. Ngbolua, V. Mudogo, P.T. Mpiana, M.J. Malekani, H. Rafatro, R.S. Urverg, L. Takoy, H. Rakotoarimana, D.S.T. Tshibangu. Evaluation de l'activité anti-drépanocytaire et antipaludique de quelques taxons végétaux de la République démocratique du Congo et de Madagascar. *Ethnopharmacologia* Vol. 50, pp. 19-24, 2013.
- [46] K.N. Ngbolua, P.T. Mpiana, B.F. Mwanza, D.S.T. Tshibangu, D.D. Tshilanda, A.C. Masengo, V. Mudogo, R. Baholy, P.R. Fatiany. Antisickling and antibacterial activities of *Garcinia punctata* Oliv. (Clusiaceae) and *Tetradenia riparia* (Hochst.) Codd (Lamiaceae) from Democratic Republic of the Congo. *J. of Advancement in Medical and Life Sciences*. V4I1. DOI: 10.15297/JALS.V4I1.01, 2016.
- [47] P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua, V. Mudogo, D.S.T. Tshibangu, E.K. Atibu, D.D. Tshilanda, N.M. Misengabu. Antisickle erythrocytes haemolysis properties and inhibitory effect of anthocyanins extracts of *Trema orientalis* (ULMACEAE) on the aggregation of human deoxyhemoglobin S *in vitro*. *Journal of Medical Sciences* Vol. 11, no. 3, pp. 129-137, 2011.
- [48] P.T. Mpiana, B.L. Kimbadi, A.M. Ombeni, K.N. Ngbolua, D.S.T. Tshibangu, D.D. Tshilanda, N.M. Misengabu, C.L. Muanyishay, S.K. Muyisa. *In vitro* inhibitory effects and anti-sickle erythrocytes haemolysis of *Dicliptera colorata* C.B. Clarke, *Euphorbia hirta* L. and *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Open Journal of Blood Diseases* Vol. 3, pp. 43-48, 2013.
- [49] D.D. Tshilanda, D.V.N. Onyamboko, P.B. Babady, P.K. Mutwale, P.V. Tsalu, D.S.T. Tshibangu, N.K. Ngombe, K.N. Ngbolua, P.T. Mpiana. Chemical fingerprint and anti-sickling activity of Rosmarinic acid and Methanolic extracts from three Species of *Ocimum* from DR Congo. *Journal of Biosciences and Medicines* Vol. 4, pp. 59-68, 2016.
- [50] K.N. Ngbolua, H. Rafatro, H. Rakotoarimanana, V. Mudogo, P.T. Mpiana, D.S.T. Tshibangu, D.D. Tshilanda. *In vitro* anti-erythrocyte sickling effect of lunularic acid of natural origin. *International Blood Research & Reviews* Vol. 4, no. 3, pp. 1-6, 2015.
- [51] D.D. Tshilanda, D.N.V. Onyamboko, P.B. Babady, K.N. Ngbolua, D.S.T. Tshibangu, E.F. Dibwe, P.T. Mpiana. Anti-sickling Activity of Ursolic Acid Isolated from the Leaves of *Ocimum gratissimum* L. (Lamiaceae). *Nat. Prod. Bioprospect* Vol. 5, pp. 215-221, 2015.
- [52] D.S.T. Tshibangu, F.O. Shode, N. Koorbanally, V. Mudogo, P.T. Mpiana, K.N. Ngbolua. Antisickling triterpenoids from *Callistemon viminalis*, *Meulaleuca bracteata* var. *Revolution Gold* *Syzygium guineense* and *Syzygium cordatum*. The 14th NAPRECA Symposium and AAMPS Ethnoverteinary Medicine Symposium 8th-12th August 2011. International Centre For Insect Physiology and Ecology (ICIPE): Kasarani, Nairobi, Kenya, pp.296-300 (YS 27).
- [53] K.N. Ngbolua, P.T. Mpiana, J.B. Akoundze, F.B. Mwanza, D.S.T. Tshibangu, C.A. Masengo, L. Liesse, K. Takaisi. Anti-sickling and bacterial inhibitory effects of two medicinal foods from the Congo River basin: *Gnetum africanum* Welw. (Gnetaceae) and *Grewia coriacea* Mast. (Malvaceae). *Current Traditional Medicine* (Accepted for publication).
- [54] P.T. Mpiana, V. Mudogo, L. Nyamangombe, M.K. Kakule, K.N. Ngbolua, E.K. Atibu, M.B. Mbala, A.K. Mbongo, J.N. Ntumba. Antisickling Activity and Photodegradation Effect of Anthocyanins Extracts from *Alchornea cordifolia* (SCHUMACH & Thonn.) and *Crotalaria retusa* L. *Ann. Afr. Med.* Vol. 2, no. 4, pp. 240-245, 2009.

- [55] K.N. Ngbolua, E.M. Lengbiye, J.K. Lumande, P.T. Mpiana. *Canarium schweinfurthii* Engl. (Burseraceae): An Updated Review and Future Direction for Sickle Cell Disease. J. of Advancement in Medical and Life Sciences, 2015. V3I3 DOI: 10.15297/JALS.V3I3.05.
- [56] P.T. Mpiana, F.M. Misakabu, D.S.T. Tshibangu, K.N. Ngbolua, D.T. Mwanangombo. Antisickling activity and membrane stabilization effect of anthocyanins extracts from *Adansonia digitata* L. bark on sickle blood cells. International Blood Research and Reviews Vol. , no. 5, pp. 198-212, 2014,
- [57] P.T. Mpiana, D.S.T. Tshibangu, O.M. Shetonde, K.N. Ngbolua. *In vitro* antidrepanocytary activity (anti-sickle cell anaemia) of some Congolese plants. Phytomedicine Vol. 14, pp. 192-195, 2007.
- [58] P.T. Mpiana, V. Mudogo, D.S.T. Tshibangu, K.N. Ngbolua, O.M. Shetonde, P.K. Mangwala, B.K. Mavakala. *In vitro* Antisickling Activity of Anthocyanins Extracts of a Congolese Plant: *Alchornea cordifolia* M.Arg. J. Med. Sci. Vol. 7, no. 7, pp. 1182-1186, 2007.
- [59] F.C. Bukatuka, K.N. Ngombe, K.P. Mutwale, B.M. Moni, K.G. Makengo, L.A. Pambu, N.G. Bongo, M.P. Mbombo, M.D. Musuyu, U. Maloueki, K.N. Ngbolua, F.T. Mbemba. Bioactivity and nutritional values of some *Dioscorea* species traditionally used as medicinal foods in Bandundu, DR Congo. European Journal of Medicinal Plants Vol. 14, no. 1, pp. 1-11, 2016.
- [60] K.N. Ngbolua, K.L. Karume, G.N. Bongo, F.B. Mwanza, D.D. Tshilanda, D.S.T. Tshibangu, V. Mudogo, P.T. Mpiana. Larvicidal activity validation of *Scorodophleous zenkeri* Harms and *Garcinia mangostana* L. from Democratic Republic of the Congo using *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) as model system. J. of Advancement in Medical and Life Sciences. V4I1, 2016. DOI: 10.15297/JALS.V4I1.03

Etude anthracologique et élucidation de l'origine de perturbations des forêts de la réserve forestière de Yoko et ses environs (Province de la Tshopo, RD Congo)

[Anthracological study and elucidation of the origin of disturbances of the forests of the Yoko reserve forest and his surroundings (Tshopo province, Congo DR)]

Faustin M. Mbayu¹, M.J. Tshibamba², W. Hubau³, T.V. Bbidjo⁴, L.E. Tambwe⁵, N.G. Mpanda⁶, M.N. Nazangani¹, H. Beeckman³, S.H. Nshimba⁷, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua⁸

¹Université Shalom de Bunia, RD Congo

²Université officiel de Mbuji-Mayi, RD Congo

³Musée Royal de l'Afrique Centrale, Belgium

⁴Institut Supérieur Pédagogique de Bunia, RD Congo

⁵Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques de Bengamisa, RD Congo

⁶Institut Supérieur Pédagogique de Kabinda, RD Congo

⁷Faculté des Sciences, Université de Kisangani, RD Congo

⁸Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2016 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 Marantaceae family constitutes a bio-indicator of natural forest perturbation. The present study was undertaken with the aim of elucidating the origin of these inhabited herb kinds in the mature Yoko forest stack. The pedoanthracological approach was used to search for the under soil Marantaceae perturbation indicators, to determine their age by the 14C dating and lastly, evaluate the perturbations, incidences on the vegetation of the current forest of the region. Four soil pit excavation established in the Marantaceae forests permitted to identify two indicators: the Charcoals and pieces of the ceramic. The analysis of these indicators coupled to the story of the region of the last centuries: (i) the fossil charcoals result either from the burn itinerant agriculture or from the household fire; (ii) the pottery comes from the kitchen utensils that the human kind used for his survival needs. The Charcoals from the pits which have 14C dating indicate the ancient fire dated 1125 ± 30 years BP and the contemporary fire of 350 ± 30 to 145 ± 30 years BP. These perturbations have got an impact on the actual floristic riches. For some identified taxa like *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard, *Monodora* sp, *Tetraberlinia bifoliata* J. Léonard, *Pouteria* sp, *Homalium longistylum* Mast, *Turraeanthus africanus* Welw ex C.DC.) Pellegrin, their fossil charcoals were not found in the actual Marantaceae forests.

KEYWORDS: Radiocarbon datation, Maranthaceae forest, bio-indicator, paleo-indicator.

RESUME: La famille des Marantaceae constitue un bio-indicateur de la perturbation des forêts naturelles. La présente étude a été réalisée dans le but d'élucider l'origine de ces peuplements herbacés dans les forêts matures de la réserve forestière de Yoko. L'approche pédo-anthracologique a été utilisée pour chercher les indicateurs des perturbations dans les sous-sols des

forêts à Marantaceae, déterminer leur âge par la datation au ^{14}C et enfin, évaluer l'incidence de ces perturbations sur la végétation des forêts actuelles de la région. La fouille des sols des quatre fosses établies dans les forêts à Marantaceae a permis d'identifier deux indicateurs : les charbons de bois et les morceaux de la céramique. L'analyse de ces indicateurs, couplée à l'histoire de la région atteste l'hypothèse d'anthropisation de la région dans les siècles passés: (i) les charbons de bois fossiles proviennent soit de l'assèchement, soit du feu ménager, (ii) la poterie provient des ustensiles des cuisines dont l'homme se servait pour ses besoins vitaux. La datation au ^{14}C des charbons des bois fossiles indique le feu ancien daté de 1125 ± 30 ans BP et le feu contemporain daté de 350 ± 30 à 145 ± 30 ans BP. Ces perturbations ont eu un impact sur le cortège floristique des forêts actuelles. Pour certains taxons identifiés tels que *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard, *Monodora* sp, *Tetraberlinia bifoliata* J. Léonard, *Pouteria* sp, *Homalium longistylum* Mast, *Turraeanthus africanus* Welw. ex C.DC.) Pellegr) leurs charbons de bois fossiles n'ont pas été retrouvés dans les forêts à Marantaceae actuelles.

MOTS-CLEFS: Charbon actif fossile, Datation au radiocarbène, forêt à Maranthaceae, bio-indicateur, paléo-indicateur.

1 INTRODUCTION

Depuis bien longtemps l'on pense que les forêts tropicales humides constituent des écosystèmes stables, peu affectés par les changements climatiques et par les actions anthropiques que les forêts tempérées [1].

Les recherches plus ou moins récentes remettent déjà en question cette image. Elles approuvent que les facteurs paléo-environnementaux et anthropiques aient affecté les peuplements forestiers africains et sont même à la base de leurs profondes perturbations [2]. La composition, la physionomie, la faune et la flore actuelle de ces forêts sont l'aboutissement d'une très longue histoire rythmée par des événements géologiques majeurs qui ont même failli tout effacer. Mais, après chaque cataclysme, la vie a repris le dessus et est repartie sur une nouvelle voie [2], [3], [4].

Les Marantaceae sont des indicateurs biologiques qui présagent les perturbations du milieu forestier naturel [5], [6]. Plus de 11 % de la superficie globale de la réserve forestière de Yoko est tapissée de ces herbacées. Cette étude cherche à connaître l'origine des Marantaceae par la mise en évidence des indicateurs de perturbation dans lesdites, l'impact de ces perturbations sur le cortège floristique des forêts actuelles ainsi que la période probable des perturbations des forêts anciennes de cette région.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 DESCRIPTION DU MILIEU

Cette recherche se réalise dans réserve forestière de Yoko et dans le dispositif de Biaro dans la Province de la Tshopo (figure 1). La réserve forestière de Yoko a été créée depuis 1959, elle se situe à la rive gauche du fleuve Congo sur $\text{N}00^{\circ}17'59''$ et $\text{E}025^{\circ}17'4''$ entre 400 à 500 m d'altitude au Sud de la ville de Kisangani. Le dispositif de Biaro a été créé en 2008, il est un de dispositif de recherche de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani, malheureusement en abandon depuis un certain temps déjà. Il se situe à ± 10 km au sud de la réserve forestière de Yoko sur $\text{N}00^{\circ}12', 27, 1''$ et $\text{E}025^{\circ}20'0, 4''$ entre 420 à 530 m[7].

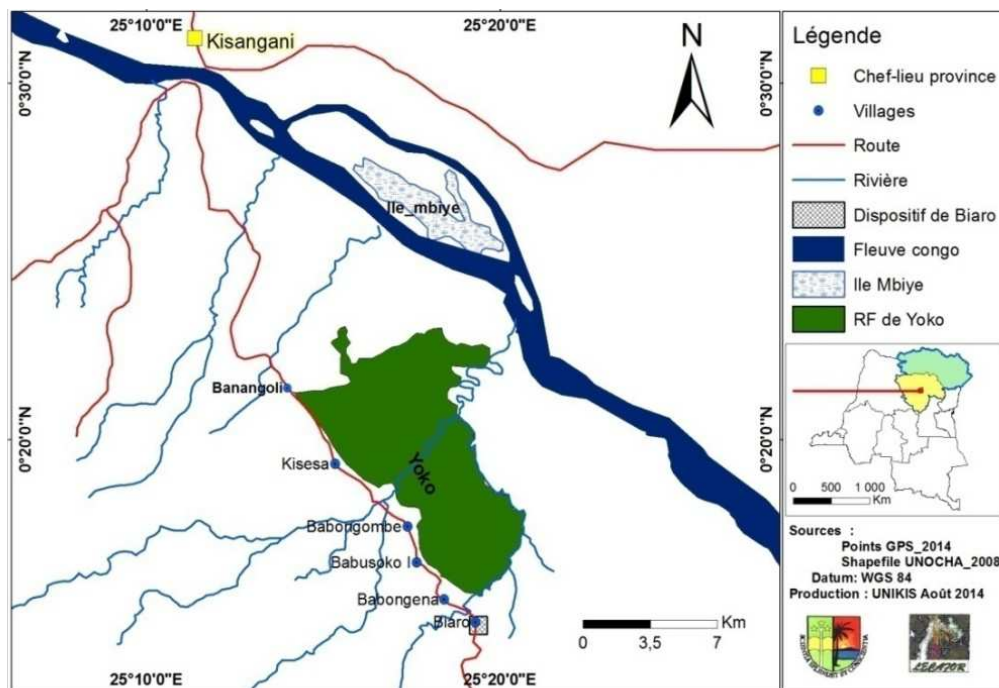


Figure 1. Localisation de la réserve forestière de Yoko et du dispositif de biaro

La température moyenne dans cette région est de 25°C alors que les précipitations moyennes sont égales à 1750 mm. La végétation y est caractérisée par les forêts à *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard, les forêts mixtes clairsemées parfois des Marantaceae et des rotangs et des forêts secondaires [7].

2.2 MATÉRIEL ET LOGICIEL INFORMATIQUE UTILISÉS

Le matériel utilisé était constitué principalement de (d') : une tarière pédologique pour sonder le sol avant de placer la fosse; une bêche pour creuser les fosses; un GPS; un microscope optique à réflexion pour la description anatomique des charbons de bois fossiles; logiciels Cell^be, Olympus Stream image analysis software pour la prise d'images des échantillons microscopiques des charbons de bois. Un site Inside wood Data Base informatisé a servi pour l'identification botanique des charbons des bois après introduction des caractères anatomiques sur la feuille informatisée; la collection botanique du xylothèque du Musée Royal de l'Afrique Centrale, a aussi servi pour comparer anatomiquement les espèces identifiées à partir des charbons de bois fossiles.

2.3 MÉTHODE D'ÉTUDE

L'approche pédo-anthracologique (Figure 2a) a été utilisée pour rechercher les indicateurs de perturbation dans les sous-sols des forêts à Marantaceae. Quatre hectares des forêts à Maranthaceae ont été délimités: à l'Est, au Nord, au Sud de la de la réserve forestière de Yoko et à Biaro. Dans chaque parcelle, une fosse de 1 m x 1 m x 1 m a été établie (Figure 2b). La récolte des indicateurs (Figure 2c) était effectuée à chaque 10 cm de profondeur de la fosse. Un inventaire de tous les ligneux à diamètre ≥ 10 cm a été réalisé à l'issue duquel le cortège floristique était comparé à celui identifié des charbons de bois fossiles. La datation au ^{14}C de quelques charbons des bois fossiles a été réalisée au laboratoire de Poznan (Pologne).

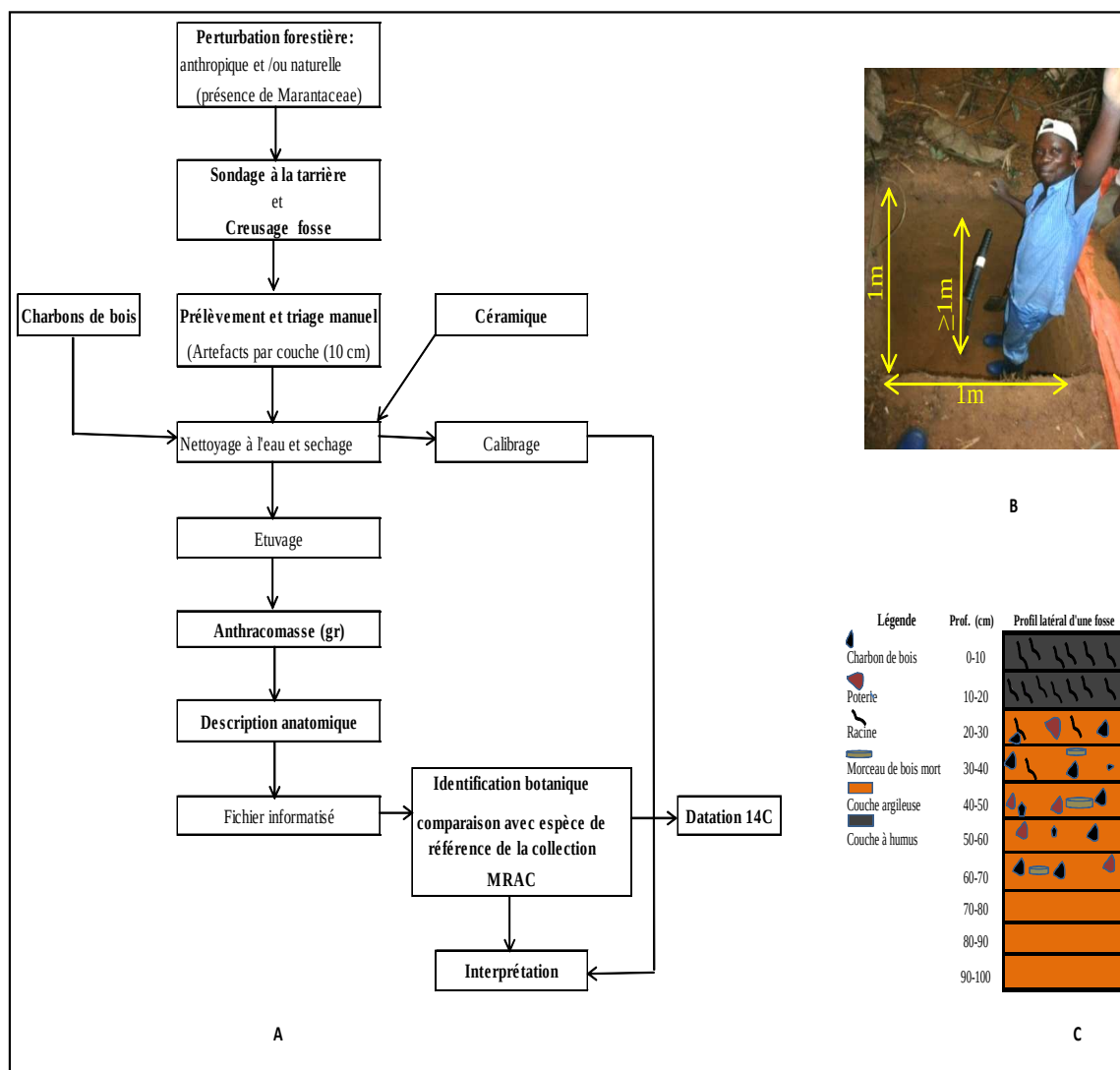


Figure 2. (a). Schéma de la méthode anthracologique. (b). Fosse pédoanthracologique. (c). Profil latéral illustrant la succession de la récolte des indicateurs de perturbation dans une fosse.

3 RESULTATS

3.1 INDICATEURS DE PERTURBATION RECUEILLIS DANS LES SOUS-SOLS DES FORETS A MARANTACEAE

Deux indicateurs ont été récoltés ; ce sont les charbons de bois et les morceaux de la céramique (Figure 3a). La présence des charbons de bois témoigne du passage d'un feu. Les morceaux de la céramique proviennent des ustensiles utilisés par l'homme pour ses besoins vitaux pendant le temps passé dans la région.



Figure 3. Indicateurs de perturbations recueillis dans les forêts à *Marantaceae*. (a). Charbons de bois. (b). Morceaux de la céramique. (c). Céramique décorée. (d). Céramique non décorée.

Les charbons de bois de dimension supérieure à 1 mm ont été recueillis jusqu'à 70 cm de profondeur. Les morceaux de la céramique de dimension qui varie de > 1 mm à 6 mm de diamètre ont été récoltés jusqu'à 20 cm de profondeur. Deux types de poterie ont été identifiés, la céramique décorée (Figure 3c) et la céramique non décorée très érodées (Figure 3d). Les deux indicateurs ont parfois été retrouvés dans les mêmes couches notamment : les couches 0-10 cm et 10-20 cm de la fosse RE-I et la couche 0-10 cm de la fosse BIA-I.

3.2 ANTHRACOMASSE, RECONSTITUTION DE LA VEGETATION PERTURBEE ET TRAITS ECOLOGIQUES DES TAXA IDENTIFIES

L'anthracomasse (exprimée en gr), mesurée à l'aide d'une balance de précision (0, 00 rangs) après étuvage à 50 °C pendant quatre heures est donnée dans le tableau 1. On peut ainsi noter qu'elle varie de 0 à 112, 8 gr. 16/40 couches contiennent au moins un charbon de bois. Les anthracomasses sont plus importantes dans les premières couches alors qu'elles diminuent graduellement avec la profondeur dans la plus part de cas.

Tableau 1. Anthracomasse (gr) par couche de 10 cm et taxa identifiés à partir des charbons des bois fossiles dans les différents sites.

RE-I N00°17'33,3" E025°19'56,2"				Fragment par type		RN-I N00°19'44,5" E025°17'13,1				RS-I N00°15'25,5" E025°18'9,33"				BIA-I N00°11'6,7 E025°20'5,7"				Tot. Fragment
Couche (cm)	Anthracomasse (gr)		ANN MON SPP BOIS JUV FAB GIL DEW MEL TRI SPP MEL TUR AFR	Anthracomasse (gr)		MEL TRI SPP MYR PIC ANG SAP POU SPP SAL HOM SPP	Anthracomasse (gr)		ANN MON SPP FAB GIL DEW MEL TRI SPP	Anthracomasse (gr)		EBE DIOS CRA FAB GIL DEW FAB TET BIF MEL TUR AFR						
0-10	16,2		10 21	7,77		3 22 1 3	0,81		9 6	35,54		19 3	44					
10-20	0			2,06		22 6 4	0,35		15 17 5	112,8		18 11	44					
20-30	0,27		13 6 20 1	0,78		15 2	0,75		1 1	3,58		6 8 5 1						
30-40	0,05		1 3 1 9	0			0			2,35		12 2 5	1					
40-50	0,05		2 1 1	0			0			1,65		4 2	2					
50-60	0			0			0			0,02		2 2	2					
60-70	0			0			0			0								
70-80	0			0			0			0								
80-90	0			0			0			0								
90-100	0		11	0			0			0								
Tot frag	13 12 32 22 11			40 30 1 7			24 24 6			61 17 16 98			414					

ANN MON SPP: Annoceae *Monodora* spp
 EBE DIO CRA: Ebenaceae *Diospyros crassiflora*
 FAB GIL DEW: Fabaceae *Gilbertiodendron dewevrei*
 FAB TET BIF: Fabaceae *Tetraberlinia bifoliata*
 MEL TRI SPP: Meliaceae *Trichilia* spp
 MEL TUR AFR: Meliaceae *Turraeanthus africanus*
 MYR PYC ANG: Myristicaceae *Pycnanthus angolensis*
 SAL HOM SPP: Salicaceae *Homalium longistylum*
 SAP POU SPP: Sapotaceae *Pouteria* spp
 BOIS JUV: Bois juvénile

Légende : RE-I = fosse 1, réserve forestière de Yoko site Est ; RN-I = fosse 1, réserve forestière de Yoko, site Nord ; RS-I = fosse 1, réserve forestière de Yoko, site Sud; BIA-I = fosse 1 de Biaro. Tot frag = nombre total des fragments des charbons des bois étudiés anatomiquement.

La végétation perturbée est reconstituée par les taxons identifiés à partir des charbons de bois fossiles après leur étude anatomique. Au total, 414 fragments des charbons des bois ont été étudiés, 90 fragments dans la fosse RE-I, 78 fragments dans la fosse RN-I, 54 fragments dans la fosse RS-I dans la fosse et 192 fragments dans la fosse BIA-I. A l'issue de l'étude anatomique et de l'identification botanique de chaque fragment, neuf types anthracologiques ont été identifiés. Le type anthracologique porte trois lettres initiales de la famille, trois lettres initiales du genre et trois lettres initiales de l'espèce.

Quelques traits écologiques après analyses montrent que huit taxons, *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard, *Monodora* sp, *Diospyros crassiflora* Hiern, *Tetraberlinia bifoliata* J. Léonard, *Pouteria* sp, *Homalium longistylum* Mast, *Trichilia* sp et *Turraeanthus africanus* (Welw. ex C. DC.) Pellegr) sont des tolérants à l'ombre (TO) et caractéristiques des forêts denses primaires. *Pycnanthus angolensis* (Welw.) Exell. est la seule espèce héliophile modérée des forêts secondaires. Ces taxons appartiennent à la région Guinéo-congolaises (GC). A l'exception de *Tetraberlinia bifoliata* J. Léonard, les autres taxons sont répertoriés dans la flore de la Tshopo. Un échantillon illustratif de l'anatomie du charbon de bois identifié et comparé à une espèce de référence du Xylothèque du Musée Royal de l'Afrique Centrale (Belgique) est donné à la figure 4.

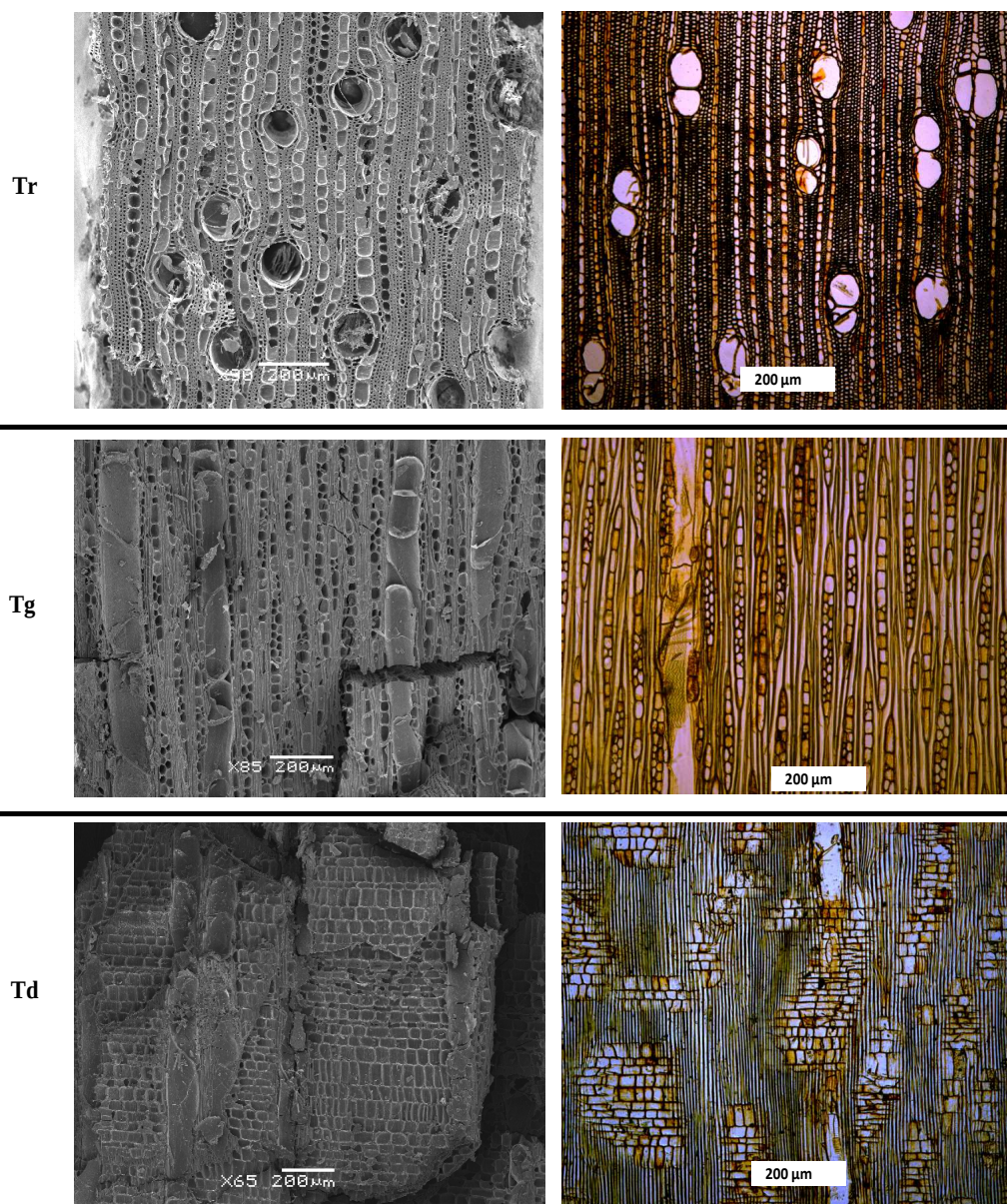


Figure 4. A gauche : Anatomie du type anthracologie *Pychnanthus angolensis* : Image Olympus Stream image analysis software. A droite : Image Cell^be du taxon de référence (Tw 1227) de la collection du Xylarium de MRAC disponible sur <http://www.metafro.be/xylarium>. Tr, Tg, Td : coupe transversale, coupe longitudinale tangentielle, coupe longitudinale radiale.

3.3 INFERENCE SUR LA PERIODE DE PERTURBATION DES FORETS DE LA REGION DE YOKO ET SES ENVIRONS

La datation au ^{14}C de quelques fragments des charbons de bois fossiles (Tableau 2) permet de déduire la période approximative des perturbations des forêts dans la région.

Tableau 2. Datation au ^{14}C des charbons des bois fossiles récoltés dans les Marantaceae de Yoko et de Biaro

Fragments charbon de bois	N° Laboratoire	Antrachomasse couche (cm)	Taxon identifié	Age Cal.(2 σ BP)
RE-I 0-10-1	Poz-68374	16,2	<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	1 120 $\pm$ 30
RE-I 30-40-3	Poz-68375	0,05	<i>Turraeanthus africanus</i>	145 $\pm$ 30
RN-I 20-30-5	Poz-68376	2,06	<i>Trichilia sp</i>	175 $\pm$ 30
RS-I 20-30-2	Poz-68377	0,75	<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	350 $\pm$ 30
BIA-I 50-60-19	Poz-68378	0,02	<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	195 $\pm$ 30

Légende : RE-I 0-10-1 : fosse 1, RF .Yoko Est, couche 0-10 cm, charbon de bois n° 1 ; RE-I 30-40-3 : fosse 1, RF. Yoko Est, couche 30-40 cm, charbon de bois n° 3 ; RN-I 20-30-5 : fosse 1, RF. Yoko Nord, couche 20-30 cm, charbon n° 5 ; RS-I 20-30-2 : fosse 1, RF. Yoko Sud, couche 20-30 cm, charbon de bois n° 2 ; BIA-I 50-60-19 : fosse 1, Biaro, couche 50-60 cm, charbon de bois n° 19. La colonne N° Laboratoire indique le numéro attribué au fragment de charbon de bois par le Laboratoire de Poznan lors de la datation au ^{14}C .

Les feux de plus de 11 siècles BP (RE-I-10-1) ont été datés, c'est le cas du charbon fossile n°1 (*Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard récolté dans le site Est de la réserve forestière de Yoko et les feux plus ou moins récents de moins de 4 siècles BP ont été datés dans la réserve forestière de Yoko (Est, Nord et Sud) et à Biaro.

Tableau 3. Espèce de la flore à Marantaceae de la réserve forestière de Yoko et ses environs. Fr = fréquence (%), (Taxons identifiés à partir de charbons de bois fossiles et en même temps présents dans les forêts à Marantaceae).**

Espèce	Famille	Fr	Espèce	Famille	Fr
<i>Azela bipendensis</i> Harms	Fabaceae	12,50	<i>Nauclea diderrichii</i> (De Wild. & T.Durand) Merr.	Rubiaceae	12,50
<i>Aidia micrantha</i> (K. Schum.) F. White	Rubiaceae	68,75	<i>Nesogordonia leplaei</i> (Verm.) Capuron	Malvaceae	50,00
<i>Albizia gummifera</i> (J.F.Gmel.) C.A.Sm.	Fabaceae	50,00	<i>Ochthocarpus africanus</i> Hooker f.	Linaceae	6,25
<i>Albizia zygia</i> (DC.) J.F.Macbr.	Fabaceae	6,25	<i>Oncoba crepiniana</i> De Wild. & Th. Dur.	Flacourtiaceae	25,00
<i>Allanblackia floribunda</i> Oliv.	Clusiaceae	25,00	<i>Oncoba welwitschii</i> Oliver	Flacourtiaceae	31,25
<i>Alstonia boonei</i> De Wild.	Apocynaceae	25,00	<i>Pachyelasma tessmannii</i> (Harms) Harms	Fabaceae	6,25
<i>Amphimas pterocarpoides</i> Harms	Fabaceae	25,00	<i>Pachystela excelsa</i> Louis	Sapotaceae	31,25
<i>Aningeria altissima</i> (A.Chev.) Aubr. v. & Pellegr.	Clusiaceae	6,25	<i>Pancovia laurentii</i> (De Wild.) Gilg ex De Wild.	Sapindaceae	6,25
<i>Anomidium mamii</i> (Oliv.) Engl. & Diels	Annonaceae	68,75	<i>Panda oleosa</i> Pierre	Pandaceae	43,75
<i>Anthonotha fragrans</i> (Baker f.) Exell & Hillcoat	Fabaceae	18,75	<i>Pentaclethra macrophylla</i> Benth.	Rubiaceae	37,50
<i>Anthonotha macrophylla</i> P.Beauv.	Fabaceae	56,25	<i>Pericopsis elata</i> (Harms) Meeuwen	Fabaceae	12,50
<i>Antiaris toxicaria</i> Lesch.	Moraceae	43,75	<i>Petersianthus macrocarpus</i> (P.Beauv.) Liben	Lecythidaceae	93,75
<i>Barteria nigritana</i> Hooker	Salicaceae	56,25	<i>Piptadeniastrum africanum</i> Hook.f.	Fabaceae	6,25
<i>Blighia welwitschii</i> (Thiery) Radlk.	Sapindaceae	37,50	<i>Polyalthia suaveolens</i> Engl. & Diels	Annonaceae	25,00
<i>Canarium schweinfurthii</i> Engl.	Burseraceae	25,00	<i>Prioria balsamifera</i> (Vermoesen) Breteler	Fabaceae	25,00
<i>Carapa procera</i> DC.	Meliaceae	18,75	<i>Pseudospondias microcarpa</i> (A.Rich.) Engl.	Fabaceae	62,50
<i>Celtis mildbraedii</i> Engl.	Cannabaceae	50,00	<i>Pteleopsis lythodendron</i> Mildb.	Combretaceae	6,25
<i>Celtis tessmannii</i> Rendle	Cannabaceae	62,50	<i>Pterocarpus soyauxii</i> Taub.	Fabaceae	62,50
<i>Chrysophyllum lacourianum</i> De Wild	Sapotaceae	50,00	<i>Pterygota bequaertii</i> De Wild	Malvaceae	18,75
<i>Chytranthus carneus</i> Radlk. ex Mildbr.	Sapindaceae	12,50	<i>Pycnanthus angolensis</i> (Welw.) Warb. **	Myristicaceae	87,50
<i>Cleistanthus mildbraedii</i> Jabl	Phyllanthaceae	31,25	<i>Rauwolfia vomitoria</i> Afzel	Apocynaceae	12,50
<i>Cleistanthus glauca</i> Pierre ex Engl. & Diels	Annonaceae	6,25	<i>Ricinodendron heudelotii</i> (Baill.) Pierre ex Heckel	Euphorbiaceae	31,25
<i>Cleistanthus patens</i> (Benth.) Engl. & Diels	Annonaceae	12,50	<i>Rinorea oblongifolia</i> (C.H.Wright) Marquand ex Chipp	Violaceae	62,50
<i>Coelocaryon preussii</i> Warb.	Myristicaceae	25,00	<i>Rothmannia libisa</i> Hallé	Rubiaceae	6,25
<i>Cola acuminata</i> (P.Beauv.) Schott & Endl.	Malvaceae	6,25	<i>Scorodophloeus zenkeri</i> Harms	Fabaceae	25,00
<i>Cola altissima</i> Engler	Malvaceae	6,25	<i>Staudia kamerunensis</i> Warb. Warb.	Myristicaceae	56,25
<i>Cola gigantea</i> A.Chev.	Malvaceae	50,00	<i>Sterculia tragacantha</i> Lindley	Malvaceae	56,25
<i>Cola griseiflora</i> De Wild	Malvaceae	25,00	<i>Strombosia grandifolia</i> Hook.f.	Strombosiaceae	25,00
<i>Cola marsupium</i> K. Schum.	Malvaceae	6,25	<i>Strombosia nigropunctata</i> Louis & J. Léonard	Strombosiaceae	6,25
<i>Cuviera nigrescens</i> Wernham	Rubiaceae	6,25	<i>Strombosia pustulata</i> Oliv.	Strombosiaceae	12,50
<i>Cynometra hankei</i> Harms	Fabaceae	18,75	<i>Strombosiaopsis tetrandra</i> Engler Engl.	Strombosiaceae	31,25
<i>Cynometra sessiliflora</i> Harms	Fabaceae	6,25	<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	Clusiaceae	6,25
<i>Dacryodes edulis</i> (G.Don) H.J.Lam	Burseraceae	25,00	<i>Synsepalum subcordatum</i> De Wild.	Sapotaceae	6,25
<i>Desplatsia dewevrei</i> (De Wild. & Th. Dur.) Burret	Malvaceae	25,00	<i>Tessmannia anomala</i> (Micheli) Harms	Fabaceae	12,50
<i>Dialium corbisieri</i> Staner	Fabaceae	37,50	<i>Tetrapleura tetraptera</i> (Schumacher & Thonn.) Taub.	Fabaceae	25,00
<i>Dialium excelsum</i> Louis ex Steyaert	Fabaceae	18,75	<i>Treculia africana</i> Deene.	Moraceae	56,25
<i>Dialium pachyphyllum</i> Harms	Fabaceae	6,25	<i>Trema orientalis</i> (L.) Blume	Cannabaceae	12,50
<i>Diogo zenkeri</i> (Engler) Exell & Men	Strombosiaceae	6,25	<i>Trichilia gilgiana</i> Harms	Meliaceae	18,75
<i>Diospyros crassiflora</i> Hiern **	Ebenaceae	18,75	<i>Trichilia prieureana</i> Harms	Meliaceae	18,75
<i>Diospyros deltoidea</i> F. White	Ebenaceae	6,25	<i>Trichilia rubescens</i> Oliver	Meliaceae	37,50
<i>Discoglypema caloneura</i> (Pax) Prain	Euphorbiaceae	37,50	<i>Trichilia sp</i> **	Meliaceae	56,25
<i>Donella pruniformis</i> (Pierre ex Engler) Aubr. & Pellegr.	Sapotaceae	6,25	<i>Trichilia welwitschii</i> C. DC.	Meliaceae	6,25
<i>Dracaena arborea</i> (Willd.) Link	Asparagaceae	12,50	<i>Tridesmostemon omphalocarpoides</i> Engler	Sapotaceae	18,75
<i>Drypetes cinnabarina</i> Pax & Hoffm	Puntranjivaceae	6,25	<i>Trilepisium madagascariense</i> DC	Moraceae	75,00
<i>Drypetes gossweileri</i> S. Moore	Puntranjivaceae	6,25	<i>Turraeanthus africanus</i> (Welw. ex C.DC.) Pellegr.	Meliaceae	31,25
<i>Drypetes likwa</i> J. Léonard in herb. Br	Puntranjivaceae	43,75	<i>Uapaca guineensis</i> Muell.Arg.	Phyllanthaceae	43,75
<i>Drypetes lisololi</i> J. Léonard in herb. BR	Puntranjivaceae	6,25	<i>Xylocarpus ghesquieri</i> Robyns	Fabaceae	31,25
<i>Drypetes sp</i>	Puntranjivaceae	6,25	<i>Zanthoxylum gillettii</i> (De Wild.) P.G.Waterman	Rutaceae	62,50
<i>Entandrophragma angolense</i> (Welw.) C.DC.	Meliaceae	6,25			
<i>Fernandoo adolfi-friderici</i> (Gilg & Mildbr.) Heine	Bignoniaceae	6,25			
<i>Ficus mucosa</i> Vicalho	Moraceae	31,25			
<i>Fillacopsis discophora</i> Harms	Moraceae	6,25			
<i>Funtumia africana</i> (Benth.) Stapf	Apocynaceae	43,75			
<i>Funtumia elastica</i> (Preuss) Stapf	Apocynaceae	62,50			
<i>Garcinia epunctata</i> Stapf	Clusiaceae	12,50			
<i>Garcinia punctata</i> Oliver	Clusiaceae	6,25			
<i>Gilletiodendron kisanuense</i> (Vermoesen ex De Wild.) J. Léonard	Fabaceae	25,00			
<i>Grewia oligoneura</i> Sprague	Malvaceae	6,25			
<i>Grewia pinnatifida</i> Mast	Malvaceae	12,50			
<i>Grewia trinervis</i> F. Mey	Malvaceae	37,50			
<i>Grossera multinervis</i> J. Léonard	Euphorbiaceae	68,75			
<i>Guarea thompsonii</i> Sprague & Hutch.	Meliaceae	50,00			
<i>Hamma klaineana</i> Pierre & Engl.	Erythraliaceae	75,00			
<i>Heisteria parvifolia</i> Sm.	Erythraliaceae	37,50			
<i>Irvingia grandifolia</i> (Engler) Engler	Irvingiaceae	18,75			
<i>Julbernardia seretii</i> (De Wild.) Troupin	Fabaceae	37,50			
<i>Klainedoxa gabonensis</i> Pierre ex Engl.	Irvingiaceae	31,25			
<i>Lamella welwitschii</i> (Hiern) Engl.	Anacardiaceae	25,00			
<i>Macaranga monandra</i> Mull. Arg	Anacardiaceae	31,25			
<i>Maesopsis eminii</i> Engl.	Rhamnaceae	6,25			
<i>Margaritaria discoidea</i> (Baill.) Webster	Anacardiaceae	68,75			
<i>Massularia acuminata</i> (G. Don) Bull. ex Hoyle	Rubiaceae	6,25			
<i>Microdesmis yafungana</i> J. Léonard J. Léonard	Pandaceae	12,50			
<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) C.C.Berg	Moraceae	18,75			
<i>Milletia drastica</i> Welw. ex Baker	Fabaceae	25,00			
<i>Monodora angolensis</i> Welw	Annonaceae	25,00			
<i>Morinda lucida</i> Benth.	Rubiaceae	12,50			
<i>Musanga cecropioides</i> R.Br.	Urticaceae	25,00			
<i>Myrianthus arboreus</i> P.Beauv.	Urticaceae	56,25			
<i>Napoleonaea septentrionalis</i> Liben	Lecythidaceae	6,25			

4 DISCUSSION

- **Inférence sur les perturbations des peuplements forestiers dans la région de Yoko et ses environs et origine des forêts à Marantaceae**

Les peuplements forestiers de la région de Yoko et ses environs auraient connue des perturbations. La présence des charbons des bois et les morceaux de la céramique recueillis dans les sous-sols des forêts à Marantaceae présumant l'anthropisation dans les siècles passés. Une analyse de ces charbons des bois fossiles peut révéler la manière dont l'homme a pu gérer son environnement dans les temps reculés. De plus, l'étude détaillée de ces charbons des bois fossiles, couche par couche, peut démontrer l'évolution de la végétation au cours des siècles passés [8], [3].

Les charbons de bois fossiles indiquent le passage d'un feu. Ce feu pourrait être soit d'origine anthropique, soit d'origine naturelle. La piste d'anthropisation semble pragmatique dans la région de Yoko et ses environs. En effet, les populations Kumu, Mituku et Lengola autochtones de la région, sont tributaires de la forêt. L'agriculture itinérante sur brûlis constitue leur principale activité traditionnelle qui leur procure des revenus pour la survie [9], [10]. Comme partout en Afrique, le feu est une vieille tradition ancestrale de plus de 400 000 ans. Le feu a été utilisé par les asserteurs aux alentours 3 500 ans dans les zones forestières pour pratiquer l'agriculture itinérantes sur brûlis [11], [12].

Pour certains auteurs, les trouées observées dans les forêts africaines sont l'œuvre de l'homme, elles sont causées par les défrichements, les feux de brousse, le surpâturage, les campements ou les anciens villages. Ces actions ont contribué aux perturbations à l'origine de répartition des savanes préforestières [13], [14], [15], [8]. Les savanes préforestières du centre de la Côte-d'Ivoire sont tributaires des populations Baoulé, installées depuis plusieurs millénaires [16].

D'autres auteurs par contre, pensent que les charbons des bois dans les sous-sols des forêts africaines seraient fortement liés aux facteurs paléo-environnementaux [8] ; [17], c'est les cas des paléoincendies lors de longues périodes de sécheresse [18]; [19]; [2] ; [3]. En Afrique de l'Ouest de grands incendies auraient affecté de millions d'hectares des forêts denses suite à la sécheresse des années 80 [20]; [21].

L'hypothèse liée aux facteurs paléo-environnementaux ne semble pas unanime dans les cas des peuplements tropicaux. Pour [22], les feux naturels (foudre) dans les forêts tropicales à feuilles persistantes et sempervirentes sont généralement assez rares car l'humidité de l'air y est très élevée réduisant sensiblement leur inflammabilité. Il en est de même pour la région ici étudiée. Depuis plus de cinq siècles, il n'y a pas de période climatique drastique qui se serait manifestée et ayant une incidence sur les forêts à notre connaissance.

La céramique est un indicateur très probant de la sédentarisation de la civilisation Bantoue. Au cours de cette étude, deux catégories de poterie ont été observées : (i) La poterie non décorée et très érodée. Cet état ne facilite pas l'estimation de leur âge [23]; (ii) la poterie décorée à la roulette. La technique de décoration à la roulette en fibre végétale serait apparue dans les régions il y a moins de 1000 ans [23], [24].

- **Inférence sur la période de perturbations des forêts de la réserve forestière de Yoko et ses environs**

La datation au radiocarbone de quelques fragments de charbons de bois fossiles révèlent deux lectures des événements, les feux de plus de 11 siècles BP et le feu contemporaine de moins de 4 siècles BP. Ces feux se sont produits pendant une période proche de ceux observés dans les forêts denses semi-caducifoliées, dans les peuplements à *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen et dans les forêts à *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard (508 - 295 ans cal. BP) [25] dans la région de Yoko. Cette tranche d'âge paraît probablement celui des peuplements actuels dans le bassin du Congo [26]

Les perturbations dans la région de Yoko paraissent très récentes quand on les compare à celles datées dans d'autres sites dans le bassin du Congo. Dans les forêts d'Ituri, les feux de $18\,800 \pm 100$ ans à 715 ± 45 ans y ont été observés [27]. Dans le Mayumbe les feux de 3000 ans à 2000 ans cal. BP [3]. Dans les forêts à Marantaceae du Nord de la République du Congo, les feux de $12\,620 \pm 55$ ans à 200 ± 25 ans BP [2] et dans les forêts camerounaises ; les feux de 2300 ans à 1300 ans Cal. BP [28]. Toutefois, les feux récents ont été observés (229 ans à 140 ans cal. BP) et ont été datés dans les forêts clairsemées à *Megaphrynium macrostachyum* (Benth) Milne-Redh au Nord du Congo Brazzaville [2].

- **Reconstitution de la végétation perturbée de la région de Yoko et ses environs**

Les charbons des bois fossiles préservés dans les sols ont une valeur archéologique importante, leur structure anatomique est conservée pendant la carbonisation [29]. L'anthracologue exploite cette caractéristique pour reconstituer les taxons botaniques qui ont été brûlés [30], [31] depuis des siècles. Les charbons des bois fossiles récoltés dans les

Marantaceae de la réserve forestière de Yoko et ses environs proviennent des activités qui se seraient réalisées dans les endroits où ils ont été récoltés, étant donné qu'ils proviennent de fosses établies sur des topographies non déclives. Sur une topographie non accidentée, les charbons enfouis dans le sol sont issus apparemment des communautés végétales brûlées dans la station, sur un rayon de quelques dizaines de mètres autour de leur point de récolte [32].

Au cours de cette recherche, 414 fragments des charbons des bois fossiles ont été étudiés. D'après l'ordre de leur abondance nous avons noté : *Turraeanthus africanus* (Welw. ex C.DC.) Pellegr (26, 46 %), *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard (17,63 %), *Trichilia spp* (16,43 %), *Diospyros crassiflora* Hiern (14,73 %), *Monodora spp* (8,94 %), *Pycnanthus angolensis* (Welw.) Exell. (7,25 %), *Homalium longistylum* Mast (1,69 %) et *Pouteria sp* (0,02 %).

De la superposition des taxons identifiés de ces charbons fossiles aux taxons identifiés dans les forêts à Marantaceae de la réserve forestière de Yoko et à Biaro (tableau 3), il ressort que, 3/8 taxons, *Diospyros crassiflora* Hiern, *Trichilia sp*, *Pycnanthus angolensis* (Welw.) Exell., sont en même temps présents dans les peuplements des Marantaceae actuelles. L'autre observation importante est que tous les taxons identifiés des charbons fossiles, à l'exception de *Pycnanthus angolensis* (Welw.) Exell., héliophile des forêts secondaires, sont des tolérants à l'ombre (TO) des forêts matures. En conséquence, comme l'a attesté [33], les nombreuses données issues des charbons de bois permettent de connaître les différents groupements végétaux dans les zones où ils ont été recueillis. Pour [29], les charbons de bois issus de feux naturels ou anthropiques, outre leur utilisation comme combustible, sont des véritables indicateurs de la végétation au moment de l'incidence et permettent de savoir dans quel environnement vivait l'homme d'autre fois.

Parmi les cinq feux datés, quatre se situent dans la tranche d'âge à 350 ± 30 ans à 145 ± 30 ans BP. Cet intervalle d'âge semble proche de l'âge des forêts à Marantaceae de la région d'Oueso au Nord du Congo.

Ces peuplements se seraient développés suite à la recrudescence des activités humaines qui auraient entraîné les perturbations profondes depuis 500 ans [28]. L'omniprésence de l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard dont les charbons fossiles est plus ancien ($1\ 120 \pm 30$ ans BP) et les écarts d'âges que l'espèce présente dans les différents sites semble complexe. Evidemment, l'espèce se maintient dans la région depuis bien de temps. Elle est particulièrement remarquable dans toute la cuvette congolaise où elle forme des peuplements parfois sur plusieurs dizaines d'hectares avec les individus de tous âges, des plantules au très vieil arbre [29]. En outre, l'espèce fait partie du refuge forestier de la région de l'Ituri où elle forme des peuplements purs [30]. Cependant, ces peuplements sont signalés plus loin de leur point de départ après la dernière glaciation [31].

5 CONCLUSION

L'analyse de la composition floristique issue de charbons fossiles rappelle l'occupation dans la région de Yoko et ses environs des forêts mixtes et des forêts à *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard dans les siècles passés. Ces peuplements auraient subi des perturbations dues aux feux datés de $1\ 120 \pm 30$ ans BP et plus récemment il y a 145 ± 30 ans BP. Ces feux sont vraisemblablement d'origine anthropique et proviendraient, soit de l'agriculture itinérante sur brûlis, soit de feu domestique. La présence de la céramique dans les sous-sols confirme la sédentarisation de l'homme dans la région.

L'agriculture itinérante sur brûlis récurrente et la sédentarisation de l'homme dans la région sont les principaux facteurs qui ont décalé la dynamique de recolonisation des forêts à certains endroits pour favoriser l'installation des Marantaceae. Ces perturbations ont eu des répercussions sur la composition des peuplements actuels. Mais à ce stade d'étude, nous ne sommes pas en mesure de dire si ces perturbations ont complètement altéré toute la végétation. Les données des charbons fossiles récoltés de manière très ponctuelle ne permettent pas de dégager les inférences significativement concluantes sur la composition de la végétation passée permettant de comparer celle-ci à la composition des peuplements actuels.

Toutefois, il y a lieu de prédire que les peuplements anciens seraient constitués des forêts climaciques hétérogènes et des forêts à *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard. Sous l'effet de ces perturbations, certains taxons n'ont pas pu se maintenir, c'est le cas de *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard, *Monodora sp*, *Tetraberlinia bifoliata* J. Léonard, *Pouteria sp*, *Homalium longistylum* Mast, *Turraeanthus africanus* (Welw. ex C.DC.) Pellegr. En conséquence, ils n'ont pas été retrouvés dans les forêts à Marantaceae actuelles.

REFERENCES

- [1] H. Puig. Forêt tropicale dense humide, Belin 8^e rue Ferou-75278, Paris, Cedex 6, 444p, 2001.
- [2] J.F. Gillet. Les forêts à Marantaceae au sein de la mosaïque forestière du Nord de la République du Congo : Origine et modalités de la gestion, (Thèse doctorat), Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech, 194 p, 2013.
- [3] J.P. Vande weghe. Forêts d'Afrique Centrale, la nature et l'homme. Tiel Belgium Ecofac Lannoo SA (éd.). 367p, 2004.
- [4] W. Hubau. Exploring charcoal as a natural archive for palaeofire and vegetation history of the Mayumbe, Democratic Republic of the Congo. PhD Dissertation, Ghent University, 224 p, 2013.
- [5] M.M. Dhetchuvi et A. Diafouka. Les *Marantaceae* du Congo. *Fragm. Flore. Geobot.* 38 (2 : 401-450, 1993.
- [6] J.M. Fay. The ecology, social organization, population, habitat and history of the western lowland gorilla (*Gorilla gorilla* Savage and Wyman 1847). Unpublished PhD thesis. University of Washington. pp 1-17, 1997.
- [7] B.L. Lomba. Systèmes d'agrégation et structures diamétriques en fonction des tempéraments de quelques essences dans les dispositifs permanents de Yoko et Biaro (Ubundu, Province Orientale, RD. Congo), Thèse F. Sc, Unikis +239 p, 2012.
- [8] D. Marguerie, J.Y. Hunot. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. *Journal of Archaeological Science* 34, 1417-1433, 2007.
- [9] M. Nyakabwa. Ilots forestiers de Kisangani (RD. Congo): observations floristiques et sauvegarde, 12e Congrès forestier mondial. Quebec City, 0935-B3, 2003.
- [10] F.B. Boyemba. Ecologie de *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Belgique, 181 p, 2011.
- [11] R. Oslily & B. Peyrot B. Un gisement du paléolithique inférieur: la haute terrasse de l'Elarmek-Moyenne vallée de l'Ogooué (Gabon). Problème chronologique et paléogéographiques. *Comptes rendus de l'académie des Sciences des Paris, Séries II* 414, 309-312, 1992.
- [12] K.H. Belesika. Etude floristique, phytogéographique et Phytosociologique de la végétation du Bas-Kasai en République Démocratique du Congo. Thèse de Doctorat, F. Sc / UNIKIN, 565 p, 2009.
- [13] I. Youta Happi. Arbres contre graminées : la lente invasion de la savane par la forêt au Centre-Cameroun, Thèse, Université de Paris-Sorbonne (Paris IV), 241p, 1989.
- [14] J. Maley. Fluctuations majeures de la forêt dense humide africaine au cours des vingt derniers millénaires in l'Alimentation en forêt tropicale interactions bioculturelles et perspectives de développement. Volume 1, les ressources alimentaires: Production et consommation, MAB, Editions UNESCO, 56-69 p, 1996.
- [15] AC. Scott., JA. Cripps, JE. Collins. & GJ. Nichols. The taphonomy of charcoal following a recent heathland fire and some implication for the interpretation of fossil charcoal deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164-1-13, 2000.
- [16] J. Maley, A. Catastrophic Destruction of African Forests about 2,500 years Ago still exerts a Major Influence on Present vegetation Formations. *IDS Bulletin*, 33, 13-3, 2002.
- [17] Y. Monnier. La poussière et le cendre. Paysages, dynamiques des formations végétales et stratégies des sociétés en Afrique de l'Ouest. Paris, France, Ministère des Coopérations, 1990.
- [18] C. Tardy. Indicateurs paléo écologiques/marqueurs d'anciennes perturbations liées au feu. Les charbons de bois fossiles de la région de Nouragues-Guyane française. In *Dynamique au long des Ecosystèmes forestiers intertropicaux*, Actes symposium Ecofit, Orstom-CNR, Body, France, 265-267, 1996.
- [19] I. Chave. Dynamique spatio-temporelle de la forêt tropicale, *Ann. Phys. Fr.* 25. No6. 157 p, 2000.
- [20] T. Brncic. Ecology and patch dynamics of *Megaphrynium macrostachyum* (Beth) M. Read (Marantaceae) in the south-west Central African Republic. Thèse de Doctorat Oxford forestry Institute and Linacre college, Oxford, U-K, 138 p, 2002.
- [21] D. McKey, F. Olga, Linares, R.C. Clement & C.M. Hladik. Ressources alimentaires des forêts tropicales: Une mise en perspective des tendances évolutives et de l'impact du peuplement humain. In : *Alimentation en forêt tropicale interactions bioculturelles et perspectives de développement*. Volume 1, les ressources alimentaires Production et consommation, MAB, Editions UNESCO, 43-54 p, 1996.
- [22] B. Dupuy. Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide Africaine. Série Forafri, 1998, document CIRAD-Forêt, Montpellier. pp 1-10, 1998.
- [23] A. Livingstone Smith, E. Cornelissen, W. Hubau. & O. Eboosso. Prospections et Fouilles Archéologiques de la Mission « Boyekoli Ebale Congo 2010 » (RDC), Nyame Akuna 75 :11-16, 2010.
- [24] M. Demanet. Origine des peuplements d'arbres héliophiles des forêts du sud-est Cameroun – un test des effets anthropiques et édaphiques, DEA/ ULB. 70 p, 2013

- [25] MJ. Tshibamba, W. Hubau, J. Morin-Rivat, H. Ntahobavuka, B. Boyemba, C. De Canniere H. Beeckman. Charcoal records reveal past occurrences of perturbations in the forests of the Kisangani region (RDC): vegetation history of the semi-deciduous rainforest, Vienne (Autriche), April 2014. International conference, Poster presentation, 2014
- [26] S. Gourlet-Fleury, A. Fayolle, CIRAD, ULg. Mieux intégrer les connaissances dans les décisions de gestion : des apports du projet COFORChange in Les Forêts du bassin du Congo- Etat des forêts 2013. Belgique pp 35-47, 2013
- [27] J. Morin-Rivat, W. Hubau, J-F. Gillet, R. Oslisly, S. Gourlet-Fleury, J-L. Doucet & H. Beeckman. Recent disturbances in the Congo basin: ananthracological contribution to vegetation reconstructions. Colloque de l'Académie des Sciences: The impact of a major environmental crisis on species, populations and communities: the fragmentation of African forests at the end of the Holocene. International conference, 1-2 march 2012, Paris, France. Poster presentation, 2012.
- [28] A.C Scott, JA. Cripps, JE. Collins. & GJ. Nichols. The taphonomy of charcoal following a recent heathland fire and some implication for the interpretation of fossil charcoal deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 164-1-13, 2000.
- [29] A. Ausset. Le charbon de bois et les paléo-environnements. pp 110, 2010. [online] <http://www.a-ausset.suite101.fr/les-charbons-de-bois-et-les-paleo-environnements-a10921#ixzz1aa8PGKoP>
- [30] M. Thinon. Description codifiée des caractères anatomiques des bois carbonisés des dicotylédones et des Gnétales. *Bull. Soc. Linn. Prov.*, 45: 119-164. UNESCO. Man and the Biosphere series. 6: 67-86. Université Claude Bernard, Lyon1, Villeurbanne <http://carbone14.univ.Lyon.fr> Ann. Fac. Sci. (2013): 96-111, 1994 b
- [31] J-K. Stein J. Earthworm activity: a source of potential disturbance of archaeological sediments. *American Antiquity*, 48 (2) : 277-289, 1983.
- [32] S. Thiébault. L'apport du fourrage d'arbre dans l'élevage depuis le Néolithique, *Anthropozoologica* 40 (1): 95-108, 2005
- [33] E. Asouti. Charcoal analysis: A short history. [En ligne] University of Liverpool, 2006. [consulté le 25 avril 2015.] <http://www.pcwww.liv.ac.uk>

MIGRATION THE APPLICATIONS TO CLOUD COMPUTING

Hassan K. Ibrahim Al-Mahdawi¹ and Ghassan Khazal Ali²

¹Computer and Internet Center, University of Diyala,
Diyala, Iraq

²Computer and software department, Engineer Collage,
University of Diyala, Diyala, Iraq

Copyright © 2016 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: Cloud computing is defined as a type of computing that depends on sharing computing resources rather than using local computer resources. What makes this technology different than traditional client-server architecture is that the resources are shared through virtualized machines. This technology is becoming popular as number advantages such as high scalability and reduced IT costs attract potential users. On the other hand, some challenges, such as legacy applications to be moved to cloud computing environment, are to be discussed. In this work, possible stages to manage and undertake such a migration are attempted to be explored and described. The stages are proposed not only to describe the necessary steps but also to itemize related constraints for each level of migration. Main limitations include plans for migration hence a comprehensive/complete work-flow targeting organization specific requirements such as financial, cultural and legislative parameters remains as a future research avenue. Nevertheless, main benefit of this work is to assist organizations who need to migrate legacy applications onto cloud environment is supported as the work-flow is argued be used as a base to determine the constraints/issues that may arise at the stages.

KEYWORDS: Cloud Computing, Migration to Cloud Environment, Virtual Machine, Work-flow.

1 INTRODUCTION

Cloud computing is an abstraction idea established on the thought of pooling physical resources and offer these resources as virtual resources [2]. It is a modern model for supplying resources, for platform-independent and applications platform for customers can access services [2]. There are many types of clouds and the services and applications that execute on clouds may or may not be delivered by a cloud provider [2].

2 CLOUD COMPUTING SERVICES MODELS

As cloud computing has advanced, various salesman offered clouds with various services related to them [2]. The set services presented adds else set of definitions known as the service model [2].

Three service types have been universally passable:

- **Infrastructure as a Service:** IaaS supply virtual machines, virtual storage machines, virtual infrastructure resources and else hardware holdings as resources that clients can provision [1-2-3].
- **Platform as a Service:** PaaS provides development frameworks, transactions, and control tools to manage applications that are hosted on the cloud [1-2-3].
- **Software as a Service:** SaaS is an environment that completes operating with applications services and the user interface [1-2-3].

The three different models taken with each other have come to be recognized as the SPI model of cloud computing. Many other models are also established, such as Storage as a Service (SaaS); Identity as a Service (IdaaS); and Compliance as a Service (CaaS). However, the SPI services cover all else possibilities [2]. It is beneficial to view cloud models in terms of a hardware and software stack. One such representation, named the Cloud Reference Model, is shown in **Figure 1** [2]. The hardware and network are involved in the infrastructure at the lower stack [2]. When moved up on the stack, the remaining models will inherit the capabilities of the model under it. IaaS has the undermost model level on the stack and the SaaS has the upmost level on the stack models [2].

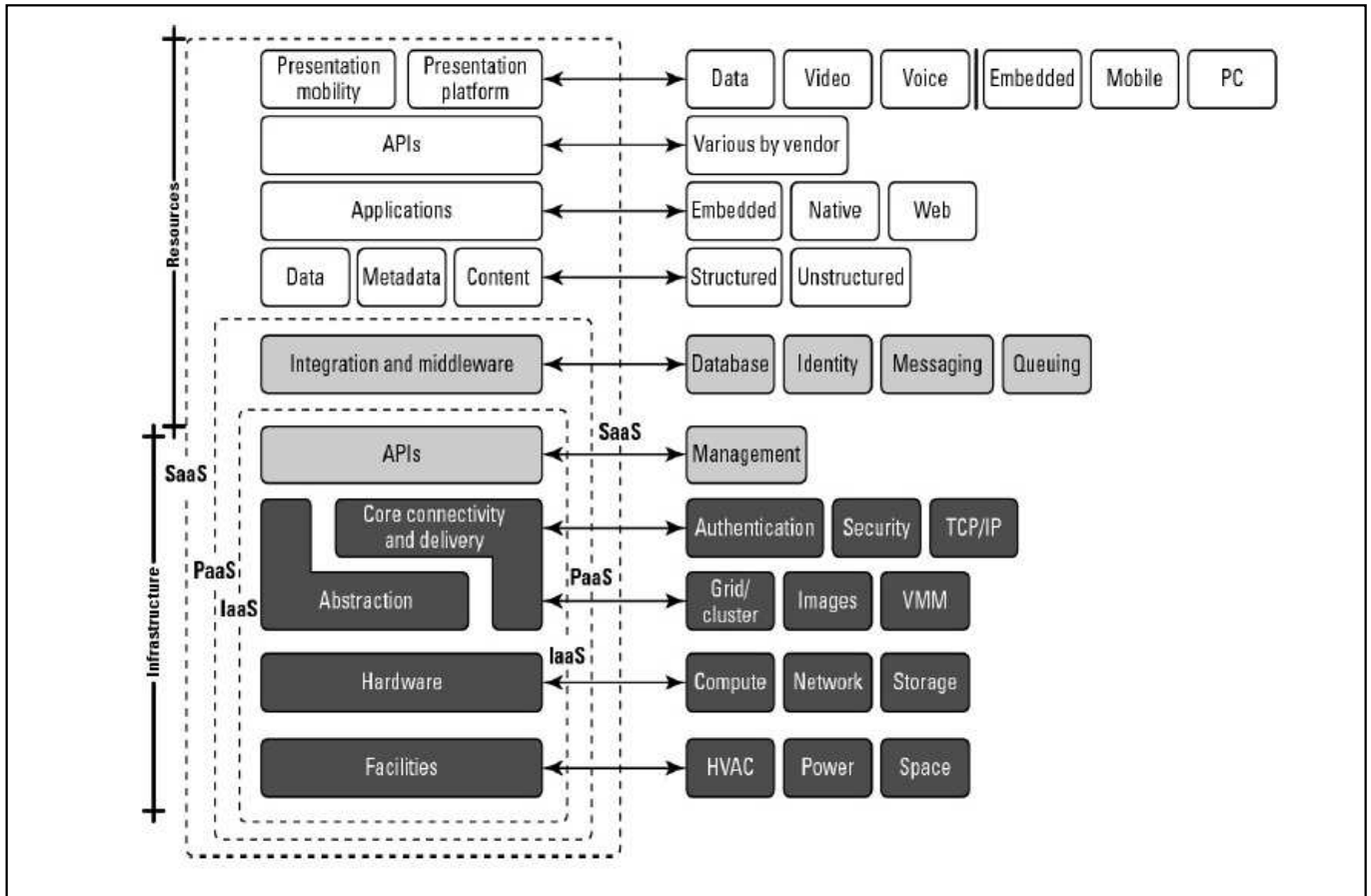


Figure 1. Cloud reference model [2]

3 BENEFITS OF CLOUD COMPUTING

- 1- **On-demand self-service:** Without the need for interaction with cloud provider personnel, a customer can obtain computer power resources according to customer needs [1-2-3-5].
- 2- **Broad network access:** The resources of the cloud are available over a network. These resources can be accessed over a network using the standard methods that provide an independent platform [2-3].
- 3- **Resource pooling:** Cloud computing creates one pool for resources that are pooled together in the system to support the multi-usage of resources [1-2-7].
- 4- **Rapid elasticity:** Computer power can be rapid and elastic provisioned. The customer can add or change computer power [1-2-7].
- 5- **Measured service:** Based on a metered system, the usage of cloud resources is reported to the user and measured [2].
- 6- **Lower costs:** Because cloud computing networks work with greater utilization and at higher efficiencies, important cost reductions often occur [1-2-3-7].
- 7- **Ease of utilization:** At times users do not need hardware or software licenses to implement services [1-2-7]. This is dependent upon the type of service being offered [2].
- 8- **Quality of Service:** QoS is something that can be obtained under contract with a cloud provider [1-2].

- 9- Reliability:** The reasons making the cloud highly reliable include the scale of cloud networks and their ability to provide balancing and failover [6-7].
- 10- Outsourced IT management:** Cloud computing allows a user to manage system infrastructure resources [2]. Additionally, the customer manages and focuses on business [5] and achieves considerable reductions in IT staffing costs [2].
- 11-Simplified maintenance and upgrade:** The system has centralized computing, so the user can simply do upgrades and patches [1-2-5-7]. This allows the user to access the latest software versions [2].

4 CHALLENGES OF CLOUD COMPUTING

- 1- Legacy applications system: Organizations have applications and computer power such as datacenters with servers where all devices will need to be eliminated and transitioned so as to reduce costs and increase flexibility with cloud providers [4-5-7].
- 2- Existing security, operations and processes within organizations which need to adjust to the new cloud computing model [5-7].

5 SAMPLE STUDY OF MIGRATION APPLICATION TO CLOUD

The study “Moving to the Cloud: Workload Migration Techniques and Approaches”. Migrating workloads into cloud models is inherently an “application centric” activity where each image/instance in the cloud typically runs a single application workload so as to have those applications running correctly in the targeted cloud environment. First, the targeted applications need to be identified and separated from the other applications running on the same server. Then an image of that application, its underlying Operating System and infrastructure management agents need to be created and added to the cloud catalog. Finally, the image needs to be instantiated in the cloud environment and verified to run with acceptable Quality of Service (QoS) characteristics. The technical considerations for a migration can be summarized as [8]:

- Software compatibility;
- Reference architecture;
- Workload characteristics; and
- Platform dependencies.

Across all of the migration patterns, there are some common themes. These themes are described here in the context of the five phases/steps of moving the workload to the cloud and forming a high-level reference model. **Figure 2** illustrates the phases [8].

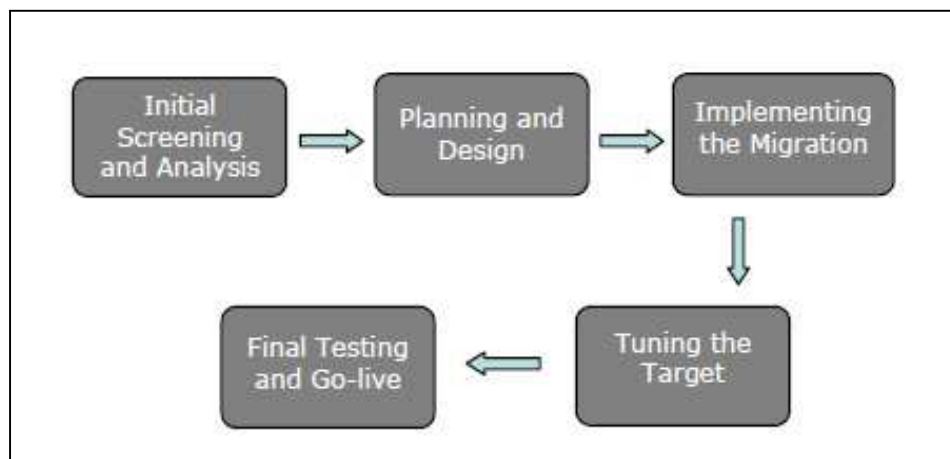


Figure 2. The five step methodology to cloud migration [8]

A) Initial Screening and Analysis

This involves collecting key data on existing workloads, applications and their dependencies, analyzing these data and determining possible migration candidates. The main activities for this phase are server inventory verification; server affinity analysis; and measuring server utilization [8]. The result of this phase is commonly the identification of workloads (e.g., Web

Serving, Web applications) that are suitable to be hosted in a given cloud environment and the costs involved. The same is usually provided in the form of the 'Application Report' [8].

B) Planning and Design

Once the inventory of the targeted applications has been identified and prioritized, the logical design of the applications in the cloud needs to be accomplished. This step involves detailed planning and design of the objective environment (memory, processor, disk storage etc.) as a given requirement. [8].

C) Implementing the Migration

This step is where the workloads are moved to the cloud platform using the most appropriate technique. It involves the following multi-step process [8]:

- 1) *Prepare the target* – At this stage, it is important that an organization has a clear vision of the target cloud environment. Depending on whether the type of cloud is a public cloud, private cloud or a hybrid cloud, the target infrastructure preparation is tailored accordingly. The level of preparation also depends on the actual migration scenario. However, the common requirement is usually building a virtual machine instance from one of the available images in the target cloud catalog [8].
- 2) *Migrate* – Migrating/creating images from existing workloads, or reinstalling the software stack of the existing workload on the target cloud platform [8].
- 3) *Data Migration* – Data migration from the current environment to the target cloud environment [8].
- 4) *Standardization* – Standardizing or adjusting the created image so that it is compliant with the infrastructure management services of the cloud environment [8].
- 5) *Integration* – Complete integration wherever required to insure connectivity from the moved workload to dependent application services and data in the cloud environment [8].

D) Tuning the Target Environment

Once the customer's existing instances have been moved to the aim cloud platform, these instances are to go through modification step to configure them to the aim cloud environment's architecture standards. These include [8]:

- Removal of any non-standard tools and agents;
- Applying any operating system level security patches;
- Conforming to the target environment security policy or regulatory requirements; and
- Installation of the target cloud environment's management tools

E) Final testing and go-live

This is the last phase where it is assured that the moved workload is performing as expected and the cloud platform now becomes the production environment for the moved workload [8].

6 DESIGN WORKFLOW FOR MIGRATION

In this paper, we endeavor to describe the workflow for migration steps to cloud computing. The workflow shows the possible stages to migrate legacy applications to public cloud computing. It is important to decide which type of cloud computing is to be the target of migration. It is better to determine the cloud model in order to deliver clear steps and consider probabilities for migration. The developer writes a report that explains the suggestion stages to help the organization in migration.

6.1 SUPPORT DECISION MAKING STAGE

The organization defines the applications target that migrates to the cloud and selects a suitable cloud after collection and analyses of the cloud provider. After this stage, the costs for migration and deployment of the applications in the cloud are described. It shows all possible constraints for each step and attempts to solve them.

▪ Technical analyses

'Technical analyses' means preparing a description profile for each application. This profile contents are the characteristics for each application. Those characteristics may influence its migration to the cloud. Additionally, the

developer must identify the characteristics related to use and operation. The developer should also capture the characteristics that are related to how to run this application-like environment, type of OS, API and Platform. Furthermore, the developer needs to know how many users have access to the application. In this step, the developer determines which applications will migrate to the cloud and which ones will not migrate. Finally, it is axiomatic that modern applications are easier to migrate to the cloud and old applications are difficult to migrate.

This step captures all the constraints related to applications and environments. For example, network connections and devices are difficult to migrate. In addition, the systems for monitoring are used to monitor the performance of applications. It is not necessary to move these to the cloud. (See Figure 3).

▪ Organization analyses

In this step, the developer captures information related to organization characteristic such as the policy of organization and the routine of running applications. Moreover, in this step, captured information is related to the responsibility that determines the operational viability for the applications. The developer can describe the constraints that are related to this step, such as the laws or any else rule by which the organization must be stay, and which somehow might impact its adoption of cloud-based solutions, similarly to the policy of an organization preventing to store database servers outside the organization building. (See Figure 3, Support Decision Stage).

▪ Selecting a suitable cloud provider cloud analyses

This step captures the necessary information for the cloud provider. The characteristics of the cloud are very important because in this step, the type of cloud and cloud model is determined. Generally, more applications are migrated to the public cloud or use the hybrid cloud technique. The private cloud uses other computing techniques to gain the benefits of cloud computing. Furthermore, the cloud model is important for the next step of cost analysis and a suitable application with the cloud provider. There are two important migrations for legacy applications to the cloud which depend on the cloud provider model. (See Figure 3, Support decision stage).

Legacy application to public cloud IaaS: In this migration, the user is granted full privileges on the virtual machines. The user has the ability to select an OS and any necessary software to run an application. Moreover, the developer must know about all the information that assists the selection of the machine. For example, some cloud providers offer elastic services such that the consumer can change the instance machine specifications (CPU, RAM and HD) similarly to Elastic Cloud Computing (EC2) for Amazon Web Services (AWS) cloud provider. Amazon EC2 provides the selection of selecting between 10 different instance types which are distributed across many instance families, as shown below.

- *General-Purpose family:* This family includes the M1 and M3 instance types which have a balance of CPU, memory, and network resources.
- *Compute-Optimized family:* These instances include C1 and CC2 types. Examples of such applications include front end fleets for high-traffic web sites.
- *Memory-Optimized family:* These instances are designed for memory-intensive applications. Instances in this family have the lowest cost per GB of RAM.
- *Storage-Optimized:* These instances are designed for large-scale data warehouses.

Legacy Application to Public Cloud PaaS: In this migration, the user just creates and manages applications. The developer in this case of migration should be aware of more information that relates to the cloud provider, including:

- PaaS supporting the programming language used to implement the application. For example, Google Apps Engine (GAE) simply supports two programming languages: Python and Java, while Microsoft Azure supports a set of .NET programming languages;
- which databases are supported by the PaaS;
- Checking restrictions and limitations of the selected PaaS, such as whether the application requires a long processing time.

▪ Cost analyses

In this step, the developer should describe the financial state for migration. After marking which application is suitable to migrate and after selecting the suitable cloud provider, the developer explains the cost for each application running in the cloud environment. Additionally, this step describes the costs of running applications in traditional computing to make financial comparisons with costs of running applications in the cloud in order to gain maximum benefits from using external cloud services. The resolution of this step is to give information related to the cost of running all applications that will move to the cloud to help in the support decision making as seen on Figure 3.

▪ Defining constraints

There are many constraints that appear in this stage. Each constraint relates to each step. The constraints relate to technical matters, such as security usage for applications and communication among applications. The constraints relating to the organization include resistance from organization members to the change of computing for applications or legal issues regarding physical location; for example, governmental data that must be stored regionally. The constraints related to cloud providers such as the available services inside the cloud and the model of cloud.

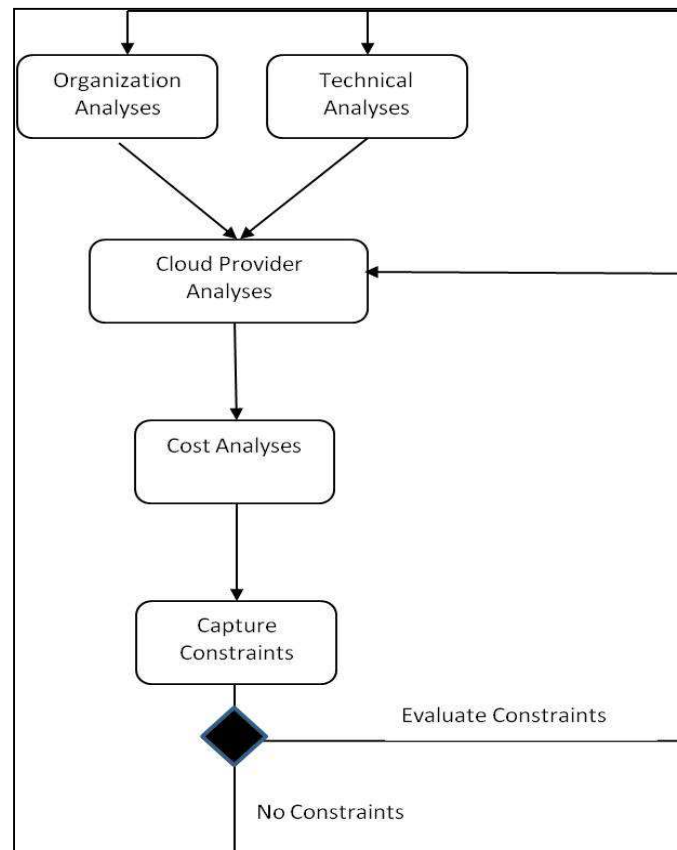


Figure 3 Support decision stage

The figure above explains the important steps in the decision-making stage. In the first step, the developer should analyze the application with the organization because these two analyses can determine the target application which will migrate to the cloud. After these steps the developer analyzes the candidate cloud provider so as to select the suitable cloud for migration. Then the developer carries out a cost analysis for each application to explain the various costs of running applications inside or outside the organization. Finally, all possible constraints will appear.

6.2 DEFINING THE MIGRATION PLANNING STAGE

This stage has two important steps: Migration Applications Planning inside the Cloud and outside the Cloud.

▪ Migration applications planning inside the cloud

In this step, the instances are selected from the cloud provider in order to deploy the target application inside cloud computing. Moreover, the developer must describe the logic design for the target application inside the cloud as the target application must define the power resources (CPU, memory, HD, etc.) that will be selected in the cloud environment. After that the interconnections among the application instants are defined.

- **Migration applications planning outside cloud**

The developer needs to define the order for moving the applications; for example, when an organization has two servers (web server and database server) and the web server has a dynamic site that connects to the database server. In this case, the first server migrates the database server because when the web server migrates after the database server, the test for the dynamic site is possible. Other considerations to be made by the developer include the utilization of target applications. Moreover, the developer needs to consider Application to Application Interfaces.

- **Obtaining and solving constraints**

After achieving the above two steps, the developer can obtain the constraints related to this stage and attempt to solve them; for example, the need to change application power resources inside the cloud instance in order to appropriate target applications or changes in applications design for fitting into the cloud environment. Finally, the developer should identify the sequence in which applications are to be moved to the target cloud. (See **Figure 4**, Planning Migration Stage)

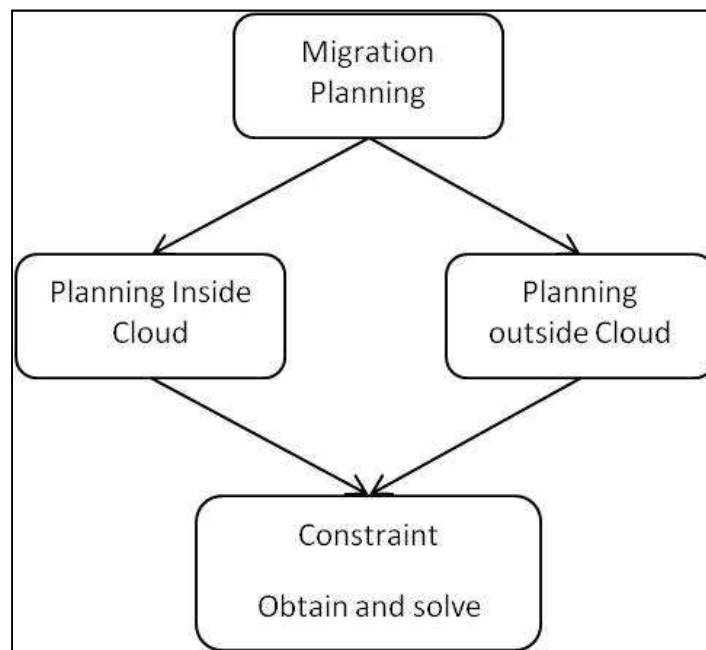


Figure 4 Planning the migration stage

6.3 IMPLEMENT MIGRATION STAGE

In this stage, the developer should be considering the outcome of the planning stage. The reality of the migration to cloud computing starts in this stage. The difficulty of implementing migration depends on the model of cloud computing and target applications. For example, in order to migrate a server to an IaaS cloud provider, the developer needs to prepare the instance (a virtual machine) after configuring this instance to deploy the server on it. To migrate applications to a PaaS cloud provider after checking the platform environment, the developer can deploy applications directly. (See Figure 5)

There are three main steps in this stage.

- **Preparing the target application and cloud**

After the developer gains the clear vision of the cloud model and the target application, the developer tries to adopt the planning to migrate applications to the target cloud. For example, images are created for servers to prepare them for deployment in the cloud. Moreover, it is very important in this step to follow the sequences found in the previous stage. Finally, the cloud side is prepared for the migrated target applications; for example, create virtual images (instances).

▪ Migrating application and images server

There are many possible methods for performance in this step. The first one is to direct the migrated server images to instances (virtual machines); in other words, from physical machine to virtual machine. The other method is to migrate applications to the platform cloud without any change or reconfiguration. Some server migrations need to change in the server operating system to obtain more cost benefits for cloud computing. The former method depends on the model of cloud and type of application. Additionally it is possible to use solution tools to carry out the migration without the need to re-install a virtual machine in the cloud side or re-deployment of applications such as the 'Zapp Migration Tool' from AppZero, which extracts only the in-scope application from the source machine and enables it to run on the target cloud computer.

▪ Migration configuration files and data

In this step, the developer needs to transfer the configuration file that relates to the migrated applications after changing it to work inside the cloud environment. An example is the configuration file for the web server 'Apache web server.' Additionally, the web pages file relates to the web site that is hosted on the web server. Finally, the developer needs to move any necessary data to the virtual machine to make this machine more reliable and make it a utility; for example, migrating the data to the database server by using a dump file or backup file that is extracted inside the virtual machine server.

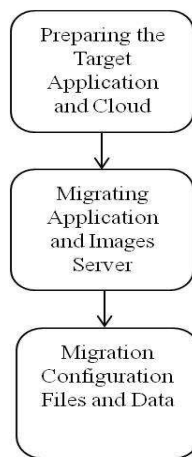


Figure 5 Implementing migration

6.4 TEST MIGRATION STAGE

This is the final stage which ensures the developer that the migrated applications or server work well. The testing tool depends on applications and services. Moreover, it is possible to use monitoring software that is used at the source side 'local datacenter.' It can also use traditional methods to check the Windows operating system such as the Task Manager to test the CPU and memory usage. The important job for this stage is discovering any problems and constraints for the migration and specifies each problem or constraint to its previous stage. Finally, this stage is necessary to confirm the migration, the migrated applications and the performance of the servers. (See Figure 6).

6.5 CREATING A DOCUMENTATION REPORT FOR REFERENCING

The developer writes the report to manage the migration consistent with the above stages. The form of this report depends on developer style. It is important to follow the order of stages of the workflow migration, which contains stages for starting the migration of the legacy applications to cloud computing. (See Figure 6).

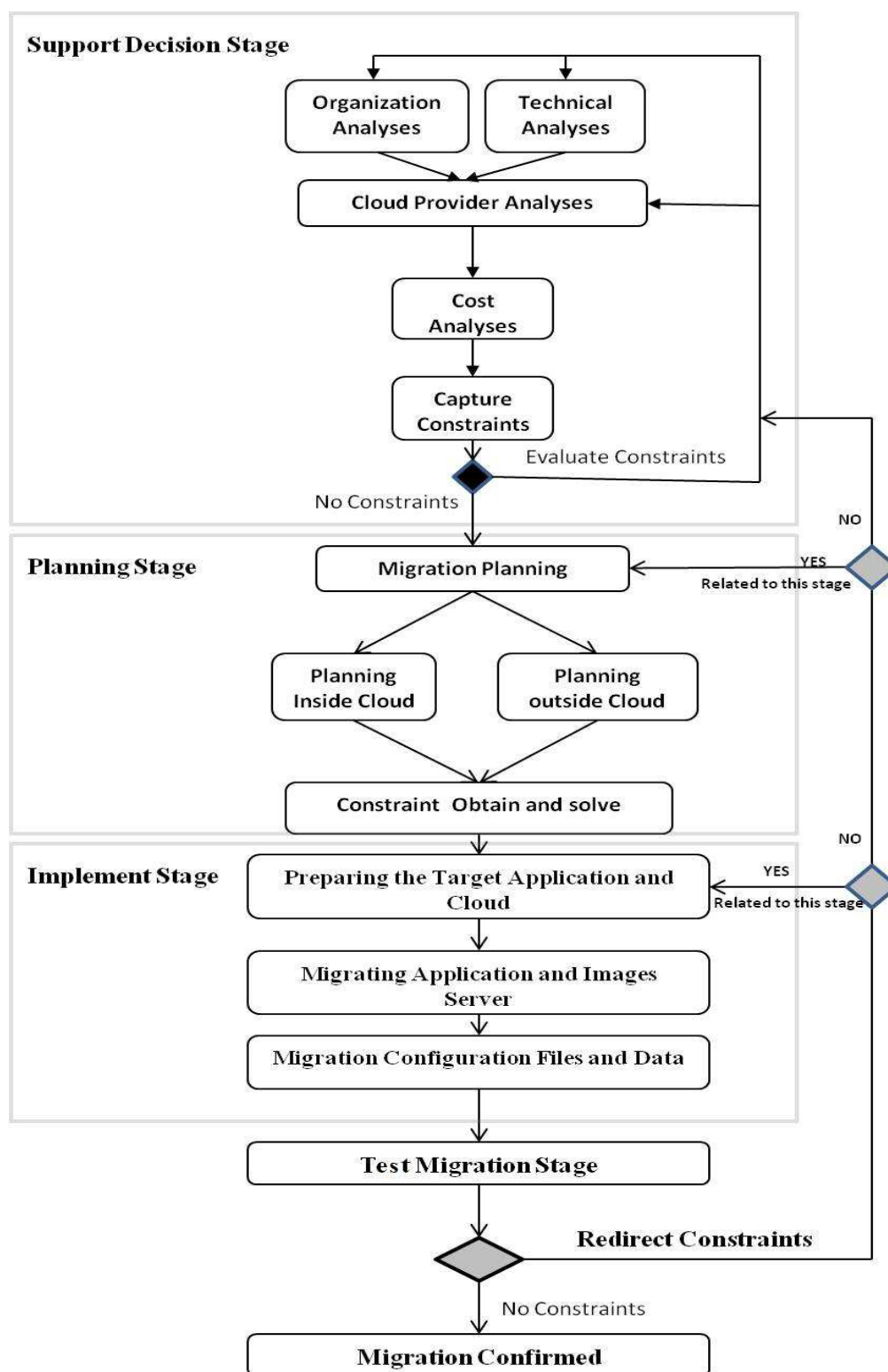


Figure 6 Workflow migration

7 CONCLUSION

This thesis presents migration workflow with possible stages for the migration of applications to cloud computing. These stages help organizations to make decisions for the migration of applications from traditional computing to cloud computing by supporting a decision and then defining many plans for migration, after which the following actions are taken: selecting a

suitable plan and implementing the selected plan and finally testing the applications in the cloud environments to confirm this migration. The research question has been addressed with the following findings and related limitations.

8 FUTURE WORK

In future work, it is possible to define migration workflow for applications which are deployed in the cloud computing IaaS model to move to the cloud computing PaaS model and to try to explain the changes that are implemented on applications to become more suitable to work in the new cloud PaaS environment.

REFERENCES

- [1] Marinescu D., (2013), *"Cloud Computing Theory and Practice"*, Elsevier Publishing, USA, pp. 11-133
- [2] Sosinsky B., (2011), *"Cloud Computing Bible"*, Wiley Publishing, Indianapolis, Indiana, pp. 23-38.
- [3] Landis C., (2010), *"Cloud Computing Made Easy"*, Virtual Global Publishing, USA, pp. 5-23.
- [4] Ribeiro M. S., (2010), *"Cloud Computing: The New IT Paradigm"*, Thoughts on Information Technology, <http://itechthoughts.wordpress.com/2010/02/23/cloud-computing-the-new-it-paradigm/> (Data Download Date: 05-02-2014).
- [5] Bond J., (2013), *"The Evolution To Cloud Computing (How Did We Get Here?)"*, My Cloud Computing Blog, <http://mycloudblog7.wordpress.com/2013/04/19/the-evolution-to-cloud-computing-how-did-we-get-here> (Data Download Date: 19-04-2013).
- [6] Patricia V. B., (2012), *"Cloudstep: A Step-by-Step Decision Process to Support Legacy Application Migration to the Cloud"*, IEEE 6th International Workshop on the Maintenance and Evolution of Service-Oriented and Cloud-Based Systems, pp. 7-16.
- [7] Khajeh-Hosseini A., (2012), *"The Cloud Adoption Toolkit: Supporting Cloud Adoption Decisions in the Enterprise"*, Software Practice and Experience, vol 42, no 4, pp. 447-465.
- [8] Banerjee J., (2012), *"Moving to the Cloud: Workload Migration Techniques and Approaches"*, High Performance Computing, IEEE 19th International Conference , pp. 1-6.

ISOLEMENT DU JUS DE PRESSE DE CANNE À SUCRE D'UNE SOUCHE DE *CANDIDA SP* THERMOPHILE ET PRODUCTRICE DE FRUCTOFURANOSIDASE

M. ENNOUALI¹, Z. MENNANE², E. KERAK³, A. CHAOUCH¹, and M. OUHSSINE¹

¹Laboratoire d'Agro-physiologie, Biotechnologie, Environnement et Qualité, Département de Biologie, Faculté des Sciences, université Ibn Tofail, KENITRA B.P 14999, Morocco

²Institut National d'Hygiène Rabat, Avenue Ibn Batouta, Rabat, Morocco

³Laboratoire de virologie, microbiologie, qualité et biotechnologie: ETB-FST-Mohammedia, Morocco

Copyright © 2016 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: Thirty high activity yeast strains saccharolytic and acidifying were isolated from sugar cane press juice and molasses from a sugar plant (grown on a solid semi-synthetic culture medium supplemented with 3 g of sucrose and incubated for 72 h at 40 ° C. the purification of the strains is verified by microscopic control after three subculture cycles in liquid medium and a passage on solid medium in a Petri dish 80 mm in diameter. the identification was carried out according to biochemical tests, physico-chemical and microscopic. These culture, purification and identification have isolated a strain which we named LES16 characterized by its temperature tolerance, which considerably increases during fermentation. This is a *Candida sp* which presents optimal conditions (pH 5, 3 g / l sucrose, 1 g / l (NH₄)₂SO₄ and 40 ° C) an enzyme activity of 4228 IU / l. has a major interest in the application of a technique primarily based on the use of a mixed starter containing lactic acid bacteria and yeast fermentation and strong acidifying power. Localization of beta-fructofuranosidase activity LES16 strain was obtained by culture on the semi-synthetic liquid medium supplemented with 3 g of sucrose. The centrifuge technology and cell lysis have produced more cell fractions to search for enzyme activity

KEYWORDS: Enzyme activity, *Candida sp*, beta.- fructofuranosidase, acidifying power and fermentation.

RESUME : Trente souches de levures à forte activité saccharolytique et acidifiantes ont été isolées à partir du jus de presse de Canne à sucre et de la mélasse d'une usine sucrière (cultivée sur un milieu de culture semi-synthétique solide additionné de 3 g de saccharose et incubées 72 h à 40°C. La purification des souches est vérifiée par un contrôle microscopique après trois cycles de repiquage en milieu liquide et un passage sur milieu solide en boîte de Pétri de 80 mm de diamètre. L'identification a été réalisée selon les tests biochimiques, physico-chimiques et microscopiques.

Ces techniques de culture, de purification et d'identification ont permis d'isoler une souche que nous avons nommée LES16 caractérisée par sa tolérance à la température, qui augmente considérablement au cours de la fermentation. Il s'agit d'un *Candida sp* qui présente en conditions optimales (pH 5, 3 g/l saccharose, 1 g/l (NH₄)₂SO₄ et 40°C) une activité enzymatique de 4228 UI/l. présente un intérêt majeure pour l'application d'une technique basée essentiellement sur l'utilisation d'un levain mixte contenant des bactéries lactiques et des levures à fort pouvoir acidifiant et fermentaire.

Localisation de l'activité β-fructofuranosidase de la souche LES16 a été obtenue en faisant des cultures sur le milieu semi-synthétique liquide additionné de 3 g de saccharose. La technique de centrifugation et lyse cellulaire ont permis d'obtenir plusieurs fractions cellulaires pour rechercher l'activité enzymatique

MOTS-CLEFS: Activité enzymatique, *Candida sp*, β-fructofuranosidase, pouvoir acidifiant et fermentaire

1 INTRODUCTION

L'industrie marocaine d'extraction d'agar-agar à partir des algues, notamment *Gelidium sesquipedale*, occupe la troisième place mondiale. Cette industrie génère une grande quantité de déchets généralement déposés anarchiquement en décharge publique qui constituent un sérieux problème pour la ville de Kénitra, dans la région du Gharb au Maroc.

Nous avons mis en place une technique biologique de transformation de ces déchets en un produit stable pour des applications agronomiques, notamment comme fertilisant du sol et comme supplément alimentaire des rations destinées à l'alimentation animale. Cette technique est basée essentiellement sur l'utilisation d'un levain mixte contenant des bactéries lactiques et des levures à fort pouvoir acidifiant et fermentaire en présence de 20 % de mélasse [Ennouali et al., 2006]

Dans le présent travail, nous avons cherché à isoler et caractériser des levures saccharolytiques possédant non seulement un pouvoir acidifiant et fermentaire, mais étant également thermophiles, car la température augmente considérablement au cours de la fermentation.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU DE CULTURE

Un milieu de culture semi-synthétique additionné de saccharose a été utilisé (3 g extrait de levure, 1 g KH_2PO_4 , 1 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1 ml solution de micro-éléments q.s.p. 1 l eau distillée [Cooney et Levine.,1972]). Le milieu liquide est agité à 105t/min (pour tous les essais) dans des erlenmeyers. Il peut être rendu solide par addition d'agar (20 g/l). Les glucides sont ajoutés aseptiquement par filtration sur membrane millipore (0,45 μm). Il est autoclavé 20 min à 120°C.

2.2 ISOLEMENT, PURIFICATION ET IDENTIFICATION DES SOUCHES

Des échantillons ont été prélevés du jus de presse et de la mélasse de Canne à sucre de la chaîne de fabrication d'une usine sucrière de Sidi Alal Tazi (région de Gharb au Nord Ouest du Maroc). Les cultures ont été réalisées sur le milieu semi-synthétique solide additionné de 3 g de saccharose et incubées 72 h à 40°C. La purification des souches est vérifiée par un contrôle microscopique après trois cycles de repiquage en milieu liquide et un passage sur milieu solide en boîte de Petri de 80 mm de diamètre.

Les souches pures ont été conservées à 4°C sur milieu PDA (Potato Dextrose Agar) incliné en tubes. Un repiquage est réalisé tous les mois.

L'identification a été réalisée selon les tests biochimiques, physico-chimiques et microscopiques.

La souche a été incubée 24 h à 30°C à l'obscurité sur un milieu semi-synthétique après inondation des puits par 0,1 ml de cette culture. Après 24 h d'incubation à 30°C, l'identification est effectuée selon les références du fabricant.

2.3 CARACTÉRISTIQUES DES TRENTE SOUCHES

Les souches purifiées ont été cultivées sur le milieu semi-synthétique liquide pendant 48 heures à 30°C.

Le pH est mesuré après addition des glucides par un pHmètre type Orion Research étalonné à pH 7,02 et 4,4 par NaOH 1N, HCl 1N. La croissance cellulaire est déterminée par turbidimétrie à 600 nm.

Pour mesurer la température, nous avons préparé deux cultures de milieu semi-synthétique pour chaque souche isolée, et après nous avons incubé les souches à deux températures différentes 30°C et 40°C pendant 24 heures pour optimiser les levures mésophiles et les levures thermophiles.

L'activité enzymatique est déterminée par dosage des sucres réducteurs par la méthode de Nelson [1944] améliorée par Somogyi [1952]. Le milieu réactionnel contient 0,1 ml de culture, 0,25 ml de saccharose 0,1 M et 0,15 ml de tampon phosphate à pH 5. Le milieu est incubé dans un bain marie thermostaté 10 min à 40°C. 2 ml de réactif de Somogyi sont additionnés puis on porte à l'ébullition pendant 15 minutes. Après refroidissement, 1 ml de réactif de Nelson est additionné. L'absorbance à 540 nm de chaque échantillon est déterminée contre un témoin blanc contenant 0,5 ml de tampon. La détermination des sucres réducteurs obtenus par hydrolyse est déterminée par une gamme étalon, à partir d'une solution mère de 0,3 g/l de glucose et 0,3 g/l de fructose.

2.4 LOCALISATION DE L'ACTIVITE β -FRUCTOFURANOSIDASE DE LA SOUCHE LES16

Les cultures sur le milieu semi-synthétique liquide additionné de 3 g de saccharose ont été arrêtées en fin de phase exponentielle de croissance, centrifugées 15 min à 10 000 tours/minute. Le surnageant constitue la fraction FI. Le culot contenant les cellules intactes constitue la fraction FII. Une partie des cellules est remise en suspension dans du tampon phosphate à pH 5, lysée par sonication (ultrasons) et à nouveau centrifugée. La fraction soluble constitue la fraction FIII et la partie insoluble contenant les débris cellulaires la fraction FIV. L'activité enzymatique a été ensuite recherchée dans chaque fraction.

2.5 FACTEURS INFLUENÇANT LA CROISSANCE ET L'ACTIVITE ENZYMATIQUE DE LES16

Différents pH (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9) ont été testés avec le milieu semi-synthétique liquide contenant 5 g/l de saccharose sur la croissance et la production de l'enzyme. La biomasse et l'activité enzymatique ont été mesurées en fin de culture.

La croissance et la production de l'enzyme ont été suivies à 20, 25, 30, 35, 40, 45 et 50°C. Les cultures sont réalisées dans le milieu semi-synthétique liquide avec 3 g/l de saccharose à pH 5. La température optimale de croissance et de production de l'enzyme a été alors déterminée.

Diverses concentrations de saccharose (0, 1, 3, 5, 7 et 10 g/l) ont été testées avec le milieu semi-synthétique liquide sur la croissance de la levure et l'activité enzymatique à 35°C, pH 5 et 105 t/min.

Des cultures ont été réalisées dans le milieu semi-synthétique liquide contenant un glucide simple (glucose, galactose), un diholoside (lactose, maltose, saccharose), un polymère (amidon, cellulose, inuline) à 3 g/l à 35°C et pH5.

Des substances azotées organiques et inorganiques ont été testées sur la croissance et l'apparition de l'activité enzymatique. Les cultures sur le milieu semi-synthétique à pH 5 contenant 5 g/l de saccharose ont été incubées 24 h à 35°C.

2.6 CROISSANCE ET ACTIVITE ENZYMATIQUE EN FERMENTEUR DE LES16

Les cellules ont été cultivées dans un fermenteur SETRIC (SET 002M) muni d'une cuve de 2 litres. On a utilisé 1800 ml de milieu semi-synthétique liquide à pH 5,5 autoclavé 30 min à 120°C et additionné de 5 g/l de saccharose. Il a été inoculé avec 200 ml de préculture (24 h à 30°C). Des échantillons sont prélevés périodiquement pour le suivi de la biomasse et de l'activité enzymatique pendant 24 heures d'incubation.

3 RÉSULTATS

3.1 ISOLEMENT ET IDENTIFICATION DES SOUCHES

Trente souches de levures à fort pouvoir saccharolytique ont été isolées et purifiées (Tableau I). Elles appartiennent aux genres Candida, Pechia et Saccharomyces.

L'étude de la croissance revient alors à évaluer la biomasse microbienne lorsque les levures se trouvent dans un milieu favorable et dans des conditions physicochimiques optimales. 15 souches isolées présente une biomasse varie entre 0.84 et 2.00, et 15 souches de levures ont des valeurs entre 2.00 et 4.36 comme valeur maximale obtenue dans le cas de la souche LES 16 (*Candida sp*).

25 souches sont mésophiles, la température optimale de croissance et de production de l'enzyme optimale étant de 30°C, et 5 souches possèdent une croissance et une production d'enzymatique maximale entre 35 et 45°C.

Au cours de mesure du pH, les résultats obtenus montrent qu'il y a trois types de souches de levures isolées.

- Un groupe de levures à faible pouvoir acidifiant avec un pH supérieur à 4.8 (LES3, LES4, LES5, LES6, LES12, LES14).
- Un groupe de levures à moyen pouvoir acidifiant avec un pH de 4.4 à 4.8 (LES7, LES9, LES10, LES11, LES13, LES14, LES15, LES19, LES20, LES22, LES23, LES24, LES25, LES26, LES27, LES28, LES29, LES30).
- Un groupe de levures à fort pouvoir acidifiant avec un pH de 4.1 à 4.4 (LES2, LES8, LES13, LES16, LES18, LES21).

Par son pouvoir acidifiant, saccharolytique et sa thermophilie, la souche LES16 a été retenue pour les essais ultérieurs. D'après les caractères biochimiques et microscopiques il s'agit de *Candida sp*.

Tableau I. Croissance (Absorbance à nm), pH et activité saccharolytique AE de trente souches de levures issues du jus de presse (JP) ou de la mélasse (M) cultivées 48 h sur un milieu semi-synthétique additionné de 3 g/l saccharose à 30°C et 40°C.

Souche	Détermination		A initial	A final	30 °C	40 °C	pH initial	pH final	AE (UI/l)
LES1	<i>Candida</i>	JP	0,19	1,98	+	-	5,56	4,51	706
LES2	<i>Candida</i>	JP	0,15	2,03	+	-	5,56	4,38	1139
LES3	<i>Candida</i>	JP	0,12	3,17	+	+	5,56	5,19	2120
LES4	<i>Saccharomyces</i>	JP	0,09	0,89	+	-	5,56	5,35	406
LES5	<i>Candida</i>	JP	0,12	0,84	+	-	5,56	4,82	821
LES6	<i>Saccharomyces</i>	JP	0,35	2,68	+	-	5,56	5,07	2161
LES7	<i>Saccharomyces</i>	JP	0,17	1,75	+	-	5,56	4,54	585
LES8	<i>Candida</i>	JP	0,19	3,18	+	+	5,56	4,32	2174
LES9	<i>Candida</i>	JP	0,12	1,98	+	-	5,56	4,60	1168
LES10	<i>Candida</i>	JP	0,09	1,87	+	-	5,56	4,70	1170
LES11	<i>Candida</i>	M	0,19	3,35	+	-	5,56	4,49	2174
LES12	<i>Candida</i>	M	0,08	1,98	+	-	5,56	4,81	1052
LES13	<i>Candida</i>	M	0,18	2,28	+	-	5,56	4,36	1174
LES14	<i>Candida</i>	M	0,35	2,58	+	-	5,56	5,11	2127
LES15	<i>Candida</i>	M	0,21	3,22	+	-	5,56	4,65	3154
LES16	<i>Candida sp</i>	JP	0,27	4,36	+	+	5,56	4,11	4228
LES17	<i>Candida</i>	JP	0,17	2,98	+	-	5,56	4,63	1487
LES18	<i>Candida</i>	JP	0,23	2,68	+	-	5,56	4,35	1187
LES19	<i>Saccharomyces</i>	JP	0,09	2,86	+	-	5,56	4,65	1870
LES20	<i>Saccharomyces</i>	JP	0,18	1,20	+	-	5,56	4,45	1145
LES21	<i>Saccharomyces</i>	M	0,11	3,18	+	+	5,56	4,38	1420
LES22	<i>Saccharomyces</i>	M	0,27	2,94	+	-	5,56	4,65	1365
LES23	<i>Saccharomyces</i>	M	0,15	1,70	+	-	5,56	4,77	835
LES24	<i>Candida</i>	M	0,14	2,69	+	-	5,56	4,67	1102
LES25	<i>Candida</i>	M	0,14	2,70	+	-	5,56	4,55	1324
LES26	<i>Candida</i>	M	0,27	3,30	+	+	5,56	4,48	2115
LES27	<i>Candida</i>	M	0,10	1,95	+	-	5,56	4,49	1164
LES28	<i>Candida</i>	M	0,18	1,59	+	-	5,56	4,49	732
LES29	<i>Pechia</i>	M	0,08	2,87	+	-	5,56	4,48	2178
LES30	<i>Pechia</i>	M	0,08	2,95	+	-	5,56	4,64	2282

(Pour distinguer entre les souches mésophiles et les souches thermophiles, nous avons étudiés la capacité des levures isolées de se cultivés dans le milieu semi-synthétique à des températures différentes: 30°C et 40°C).

3.2 LOCALISATION DE L'ACTIVITE ENZYMATIQUE DE LES16

L'activité enzymatique se trouve essentiellement dans la fraction cellulaire FII avec 4218 UI/l (Tableau II). La fraction insoluble FIV présente aussi une valeur proche de la fraction cellulaire. L'activité enzymatique au niveau du surnageant et de la fraction soluble reste très faible.

Tableau II. Localisation de l'activité enzymatique sur différentes fractions cellulaires de la souche de *Candida sp* cultivée sur milieu semi-synthétique à 30°C et pH 5,5.

Activité enzymatique	Surnageant FI	Cellules intactes FII	Fraction soluble FIII	Fraction insoluble FIV
UI	530	4772	632	2016
%	6,67	60,01	7,95	25,36

Comment calculez-vous les pourcentages ? Qu'est-ce qui fait 100 %? 67,05 + 5,18 est inférieur à 100 % Où est passé le reste ?

Réponse: 100% d'activité enzymatique de la souche LES16 = % fraction I + % fraction II + fraction III + fraction IV

Donc 6,67 % + 60,01% + 7,95% + 25,36% = 100%

3.3 FACTEURS INFLUENÇANT LA CROISSANCE ET L'ACTIVITE ENZYMATIQUE DE LES16

La biomasse et l'activité enzymatique de la souche LES16 varient en fonction du pH initial du milieu (Figure 1). Elles augmentent parallèlement à l'augmentation du pH pour atteindre 4215 UI/l avec une biomasse importante (A = 4,5) à pH 5. Au-delà de cette valeur, une diminution est constatée.

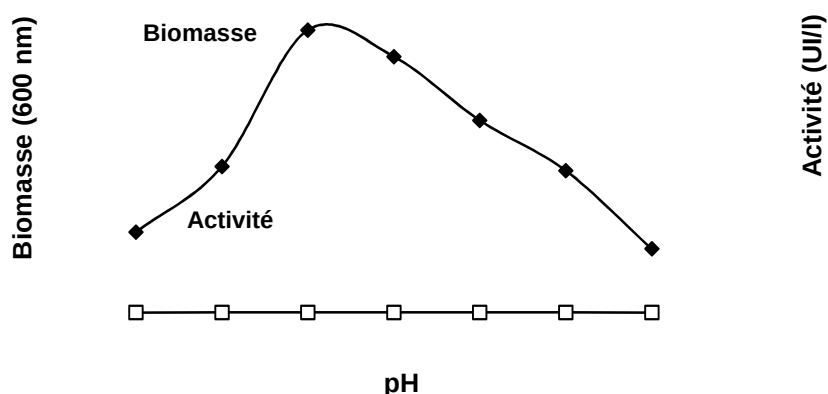


Fig. 1 : Effet du pH sur la croissance et l'apparition de l'activité enzymatique de la souche LES16 cultivée sur milieu semi-synthétique à 30°C 24 h à 105 tours/min.

La souche LES16 montre une croissance (A = 4,2) et une production d'enzyme (3580 UI/l) optimales à 35°C (Figure 2) et non négligeable à 40°C. À 30 et 45°C, la croissance et l'activité enzymatique restent importantes alors qu'à 50°C, elles diminuent fortement.

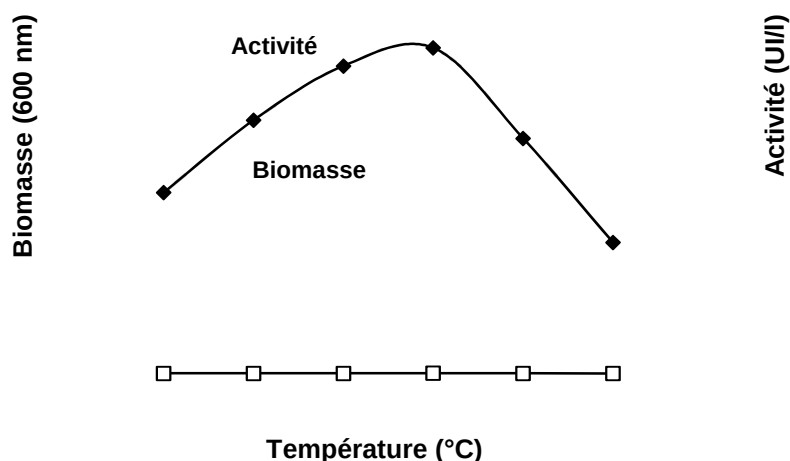


Fig. 2 : Effet de la température sur la croissance et l'activité enzymatique de la souche de Candida sp cultivée sur milieu semi-synthétique de 25 à 50°C 24 h à 105 tours /min.

La croissance et l'activité enzymatique (6115 UI/l) sont maximales à 5 g/l de saccharose (Tableau III). Au-delà, elles diminuent.

Tableau III. Effet de la concentration en saccharose sur la croissance et l'activité enzymatique Act de la souche de *Candida sp* cultivée sur milieu semi-synthétique 24 h à 35°C.

Saccharose (g/l)	pH initial	pH final	A initiale	A finale	Act initiale	Act finale
1	5,43	4,28	0,23	2,81	33	1751
3	5,35	4,31	0,25	4,45	128	5840
5	5,32	4,07	0,27	5,38	243	6115
7	5,30	4,11	0,25	4,14	228	3244
8	5,21	4,04	0,17	4,28	173	2192
10	5,19	4,15	0,12	4,03	113	940

En présence des sucres simples (galactose, glucose), la croissance reste importante alors que l'activité enzymatique est quasi nulle (Tableau IV). En présence de diholosides autres que le saccharose (lactose et maltose), l'activité enzymatique est faible, de même qu'en présence de polymères (amidon, cellulose et inuline). L'enzyme apparaît fortement induite par le saccharose avec une activité de 4295 UI/l.

Tableau IV. Effet de la source de carbone à 3 g/l sur la croissance et l'activité β -fructofuranosidase AE de la souche LES16 de *Candida sp* cultivée 24 h sur milieu semi-synthétique à 35°C, pH 5 et 105 tours/min.

Sucres	pH initial	pH final	A initiale	A finale	AE finale (UI/l)	Activité glucide /Activité saccharose (%)
Galactose	5,87	5,04	0,38	1,09	13	0,30
Glucose	5,87	4,71	0,37	1,20	118	2,75
Lactose	5,89	5,10	0,30	1,10	8	0,18
Maltose	5,91	4,53	0,28	1,15	23	0,53
Saccharose	5,57	3,65	0,16	1,37	4296	100,00
Amidon	5,47	4,76	0,18	1,04	18	0,41
Cellulose	5,51	5,03	0,19	1,03	113	2,63
Inuline	5,60	5,50	0,15	1,10	78	1,81

Pour la source d'azote inorganique, la meilleure croissance est obtenue avec le sulfate d'ammonium avec une activité enzymatique de 4100 UI/l (Tableau V). Pour la source d'azote organique, les meilleurs résultats sont observés avec l'extrait de levure (4290 UI/l). Pour les cultures mixtes contenant le sulfate d'ammonium à 1 g/l, la meilleure croissance est obtenue avec un mélange avec l'extrait de levure à 2 g/l avec une activité enzymatique de 5800 UI/l.

Tableau V. Effet de onze sources d'azote sur la croissance et l'activité saccharolytique AE de la souche LES16 de *Candida sp* cultivée 24 h sur milieu semi-synthétique additionné de 5 g/l de saccharose à 35°C et 105 tours/min

Sucres	pH _i	pH _f	A initiale	A finale	AE initiale (UI/l)	AE à 24 h (UI/l)
(NH ₄) ₂ HPO ₄	5,53	5,12	0,30	1,05	0	328
(NH ₄) ₂ SO ₄	5,52	4,26	0,25	3,37	379	4100
C ₂ H ₄ NO ₂	5,56	5,01	0,12	1,07	28	424
NaNO ₃	5,60	5,08	0,19	1,05	0	198
CO(NH ₂) ₂	5,54	4,70	0,12	2,01	113	634
Extrait de levure	5,58	4,21	0,29	3,45	218	4291
Peptone	5,40	5,03	0,14	2,15	178	383
Tryptone	5,55	4,71	0,21	1,04	41	172
(NH ₄) ₂ SO ₄ + extrait de levure	5,62	4,10	0,87	4,23	716	5800
(NH ₄) ₂ SO ₄ + peptone	5,60	4,20	0,57	4,16	645	4421
(NH ₄) ₂ SO ₄ + tryptophane	5,51	4,40	0,43	4,18	566	4432

3.4 CROISSANCE ET ACTIVITE ENZYMATIQUE EN FERMENTEUR DE LES16

L'activité enzymatique augmente régulièrement et parallèlement à la croissance de la levure (Figure 3). Le maximum de production est obtenu après 13 heures de culture (6000 UI/l) avec un taux de conversion du saccharose de 90 %.

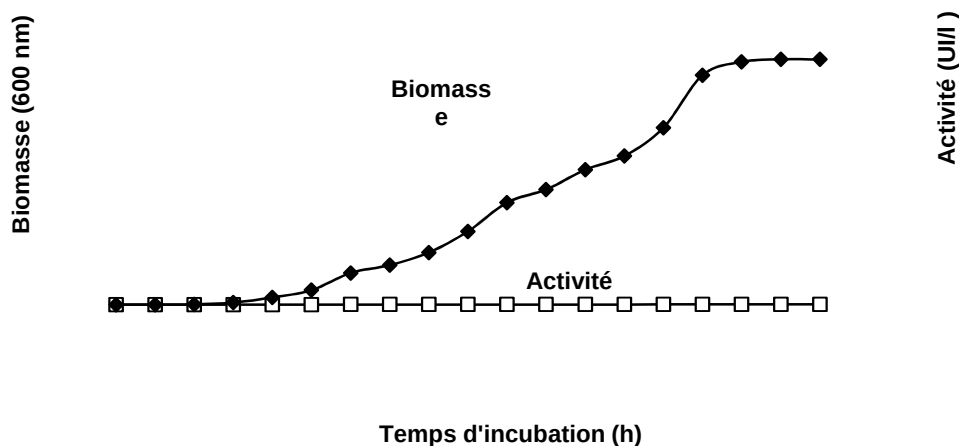


Fig. 3 : Cinétique enzymatique de la souche LES16 de *Candida sp* cultivée dans un fermenteur contenant 1800 ml de milieu semi-synthétique à 5 g/l saccharose à 40°C et pH 5.

4 DISCUSSION ET CONCLUSION

Parmi les trente levures isolées sur un milieu semi-synthétique contenant le saccharose comme source de carbone, la souche LES16, issue du jus de presse de la Canne à sucre et correspondant à *Candida sp*, a été sélectionnée. Nous avons déjà isolé des souches de *Candida* productrices de β -fructofuranosidase, de *C. colliculosa* à partir du jus de presse [Labioui et al., 2007] et de *C. famata* à partir de la mélasse de la Canne à sucre [Ouhssine et al., 2007].

La fraction insoluble FIV présente une activité β -fructofuranosidase élevée proche de la fraction cellulaire FII alors que l'action enzymatique au niveau du surnageant et de la fraction soluble sont très faibles. Ceci suggère que l'activité de cette souche est exclusivement extramembranaire. C'était aussi le cas de la β -fructofuranosidase de *C. colliculosa* [Labioui et al., 2007].

La souche LES16 présente une croissance et une production d'enzyme non négligeable de 25 à 45°C et élevées à 35 et 40°C alors qu'à 50°C, elles diminuent. La souche LES16 est donc thermophile. Les résultats enregistrés dans le cas de l'effet de température se concordent avec ceux mentionnés par [Blanco et al. 1994].

L'enzyme est fortement induite par le saccharose et peu par les autres glucides. L'activité enzymatique est maximale pour 5 g de saccharose et diminue de moitié pour 10 g. Les activités de l'inulinase de *Kluyveromyces fragilis* et de l'invertase de *Sacharomyces cerevisiae* [Groot-wassink et Fleming., 1980 et Yurkivich et Kovaleva., 1972] diminuent de plus de 50 % pour une concentration de saccharose supérieure à 5 g/l.

Dans le cas d'ajout de source d'azote, la meilleure croissance et apparition de l'activité enzymatique sont obtenues dans les cultures mixtes contenant le sulfate d'ammonium à 1 g/l et l'extrait de levure à 2 g/l avec une activité enzymatique est de 5800 UI/l.

Les conditions optimales de croissance et l'apparition de l'activité enzymatique sont limitées en erlenmeyers du fait de la consommation du substrat et de l'accumulation de métabolites. Pour cette raison, une culture en fermenteur dont les paramètres sont contrôlés (pH, température, concentration du substrat, source de carbone, source d'azote) a été effectuée.

En conclusion, la β -fructofuranosidase de la souche LES16 de *Candida sp* est extramembranaire, fortement induite par le saccharose à pH 5,5, de 35 à 45 °C, et nettement favorisée par un mélange de sulfate d'ammonium et d'extrait de levure, à 5 g/l de saccharose, avec une production maximale de 6000 UI/l. Ces caractéristiques permettent d'envisager une utilisation industrielle.

REFERENCES

- [1] Blanco (C.), Sieiro (C.A.), Daiz (A.), Villa (T.G.) - Production and partial characterization of an endopolygalacturonase from *Saccharomyces cerevisiae*. - *Can. J. Microbiol.*, 1994, 40(11), 974-977.
- [2] Cooney (C.L.), Levine (D.W.) - Microbial utilization of methanol. - *Adv. Appl. Microbiol.*, 1972, 15, 337-365.
- [3] Ennouali (M.), Ouhssine (M.), Ouhssine (K.), Elyachoui (M.) - Biotransformation of algal waste by biological fermentation. - *African J. Biotechnol.*, 2006, 5(13), 1233-1237.
<http://www.academicjournals.org/ajb/PDF/pdf2006/3Jul/Ennouali%20et%20al.pdf>
- [4] Groot-Wassink (J.W.D.), Fleming (S.E.) - Non specific β -fructofuranosidase (inulase) from *Kluyveromyces fragilis*: batch and continuous fermentation, simple recovery method, and some industrial properties. - *Enzym. Microbiol. Technol.*, 1980 2, 45-53.
- [5] Labioui (H.), Elmoualdi (L.), El Yachoui (M.), Berny (E.H.), Ouhssine (M.) - Souche de *Candida colliculosa* saccharolytique à activité β -fructofuranosidase membranaire. - *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 2007, 146(1-2), 39-50.
- [6] Ouhssine (M.) El Yachoui (M.), Sanhagi (W.), Gessouss (Z.) - Souche de *Candida famata* productrice de β -fructofuranosidase. - *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 2007, 146(3-4), 289-298.
- [7] Nelson (N.J.) - A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. - *J. Biol. Chem.*, 1944, 153(2), 375-380.
- [8] Somogyi (M.) - Notes on sugar determination. - *J. Biol. Chem.*, 1952, 195(1), 19-23.
<http://www.jbc.org/cgi/reprint/195/1/19.pdf>
- [9] Yurkevich (V.V.), Kovaleva (N.S.) - [Sucrose and inulinase functions of the beta-fructosidase active center of *Kluyveromyces (Saccharomyces) fragilis*.] (russe) - *Dokl. Akad. Nauk. S. S. S. R.*, 1972, 207(5), 1233-1235.

Temperature fluctuations at interannual and decennial timescales on the eastern mountainous region in Democratic Republic of the Congo from period of 1940 to 1997

A. Mbata Muliwavyo, J.M. Tshitenge Mbuebue, E. Phuku Phuati, F. Tondozi Keto, R.Bopili Mbotia, and Ndotoni Zana

Department of Physics,
Faculty of Sciences, University of Kinshasa,
P.O.Box 190 Kinshasa XI, DR Congo

Copyright © 2016 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 singular spectral analysis, the multitaper method and the wavelet analysis were applied to the standardized average series of the temperatures in the oriental mountainous zone in the Democratic Republic of the Congo in order to determine the periods of temperature fluctuations at interannual and decennial timescales in that region. These different spectral methods reveal in the temperatures of this region a signal of four years period close. The spectral analysis by wavelet coherence was also applied to the couple made of temperature series and each principal characteristic indice of Atlantic, Indian and Pacific basins in order to assess the influence of these basins on temperatures over that region. This analysis shows that the phenomenon El Niño Southern Oscillation phenomenon and the Western Hemisphere Warm Pool are the principal drivers of the temperature fluctuations in this area on the interannual scale of 2-8 years, the coherence's peak between the temperatures and these phenomena is located at approximately four years. The anomalies of sea surface temperatures of the tropical Atlantic Ocean also contribute to the fluctuations of the temperatures in this area on a scale 2-4 years by the means of the Atlantic Multidecadal Oscillation, the variability of the Tropical Northern Atlantic and the Atlantic Meridional Mode. The contributions of the oscillation of the North Atlantic, the variability of the Tropical Southern Atlantic and the Dipolar Mode of the Indian Ocean to the fluctuations, on interannual and decennial timescales, of the temperatures on this mountainous region are not significant.

KEYWORDS: coherence, fluctuations, singular spectral analysis, multitaper method, wavelet analysis.

1 INTRODUCTION

The temperature fluctuations in the Democratic Republic of the Congo (DRC) are understudied not only for lack of reliable data and the low number of the operational weather stations on a vast territory but also because there does not exist thermal season in the tropical zone. The rare studies carried out on Central Africa concentrated on the seasonal variability of precipitations on this area where the subsistence agriculture nourishes the majority of the population. The results of certain studies of climate variability carried out in West Africa and Western part of the Congo basin are sometimes extended to the Democratic Republic of the Congo. However the Democratic Republic of the Congo has his own climatic, orographical, floristic, hydrographic facets which can modulate its temperatures. The temperature variability over DRC should be studied in order to increase the knowledge of climatology of this territory and to aid the scientific community to assess diverse scenarios of climate change in DRC. The increase in temperatures caused the reduction in the populations of fish in African lakes like the Lake Tanganyika [1]. Certain plant species can also know an extinction following a rise in temperature on a given area [2]. Certain genius works require a good knowledge of the climate and its variations over a long period of time. The variations of the temperatures are perceptible on certain areas in the Democratic Republic of the Congo as certain writings testify some [3]. Tendencies of significant increase in temperature were highlighted in all Africa [2] but this temperature variation is not due mainly to the variability of the phenomenon of Southern Oscillation El Niño and could be, in the Congo basin, a fruit of the human activity [3]. Over which periods and time scales these variations did proceed? Much

more some of its imperceptible variations influence also the daily life of the population and require to be studied in order to better apprehend the influence of the climate on this tropical space and to adapt to these variations.

Our study is organized as follows : after a short introduction comes the section 2 subdivided into three subsections in which we describe the study area in subsection 2.1 , we present the data in subsection 2.2 and we describe in subsection 2.3 all the methods which will be used in this article. The section 3 presents results and their discussions and in section 4, a conclusion closes this study.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 STUDY AREA

The territory in the Democratic Republic of the Congo (DRC) is located between 5°30' Northern latitude and 13°50' of Southern latitude, and between 12°15' and 31°15'E of longitude, a third being located at the north of equator. The entire territory in DRC is almost included in the basin of its eponym river, the Congo River, Second River of the world by its flow (38.000 m³/s on average) and the surface of its basin. Located in the intertropical convergence zone, the DRC is a country of intense convection, intense evapotranspiration and very high moisture which all lead to a strong nebulosity and a high rainfall along the year [4]. With a large part of its area covered by African wet forests, the DRC is, with Brazil and Indonesia, one of the three principal convective countries [5]. By their immense potential of carbon storage and their impact on the total cycle of water through the recycling of water and by the surface which they occupy, the DRC forests have certainly an influence on the climatic system but not clearly quantified for various reasons [4].

Contrary to West Africa, in Eastern Africa and the Southern Africa where the climatic modes were the subject of many investigations [6], central Africa- the Congo basin and particularly the RDC- is an understudied area because of the insufficiency of its infrastructures and unavailability of its climatic stations data in the international recordings [7]. The DRC is thus an area to be visited compared to its climatology and with the variability of its climatic parameters.

Dominated by an immense depression of average altitude 400 m designed as the central basin and drained by the Congo River and its tributaries, the relief of the DRC consists of plains and staged plates which connect this basin to the peripheral plateau of altitude lower than 600 m on its northern circumference [8]. The eastern edge of the DRC is consisted of mountainous chains along lakes Tanganyika, Kivu, Edouard and Albert. The southern plateau reaches more than 1000 m of altitude and with south-east; the Kundelungu mounts, in the west of the lake Moero, culminate to 1600 m of altitude [8]. In the west, the circumference of the central basin reaches 1000 m of altitude on the Cristal mounts where the Congo River dug a narrow passage in order to reach the Atlantic Ocean while passing by a narrow coastal plain formed by its estuary and the deposited alluvial grounds [8].

In DRC, according to Köppen-Geiger classification, the equatorial zone counts successively *Af* and *Am* zones covered by the immense equatorial forest [9]. After this forest we meet savanna covering the outlying highlands of the Congo basin. As one moves away from the equator towards the north or the south, after the area *Am* one meets then the peripheral highlands with *Aw_n* type climate where *n* (*n*= 1, 2, ..., 6) is the number of months of dry season: wooded savanna areas corresponding to the zones *Aw₂* – *Aw₄* with opened forests, or grassy savanna areas corresponding to the zones *Aw₅* – *Aw₆* with dry forests cover these lands [10]. A heterogeneous vegetation whose floristic composition depends on altitude covers the eastern mountains in DRC: mountain forests and forests of bamboos in the *Cf* zones, savannas of highlands or dry forests of the highlands in the *Cw* zones [10], [11], [12].

The interest zone in this article corresponds to the eastern mountainous region in the DRC. Located at the west of the Valley Rift, between 2°45' of southern latitude and 2°30' of Northern latitude, this area is a narrow band made up of mountainous chains, being able to reach 3000 m of altitude, and volcanoes [11]. Its climate is a mountain climate. According to the Köppen classification, it is of *Cf* type between 1200 and 1900 m of altitude and *Cw* type beyond approximately 1900 m [11]. The weather stations of this study area are represented on figure 1, their geographical coordinates are consigned in table 1.

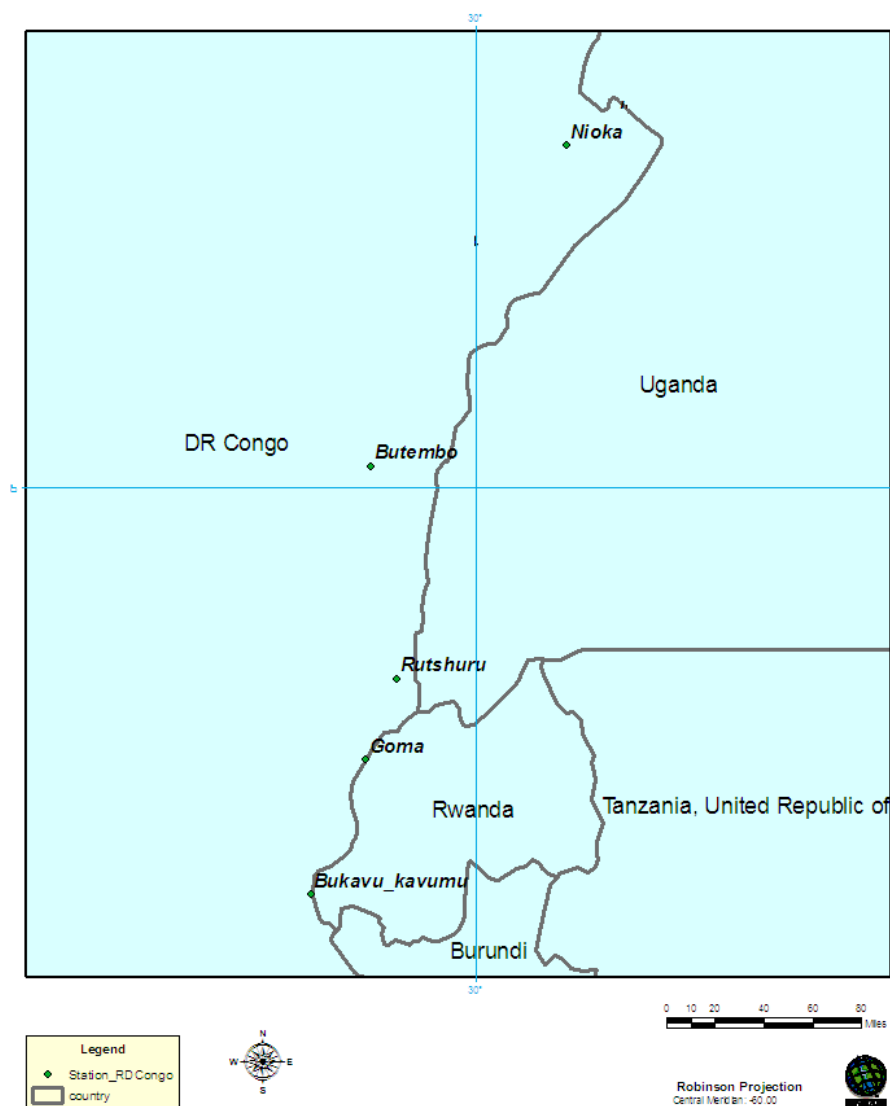


Fig. 1. Weather stations of study zone. These stations are located near the eastern frontiers of the DRC

Table 1. Geographical coordinates of the zone of study. All the study zone stations are located in a small band

Stations	Latitude	Longitude
Butembo	0°08'N	29°17'E
Goma	1°44'S	29°12'E
Kavumu	2°18'S	28°48'E
Nioka	2°08'N	30°37'E
Rutshuru	1°11'S	29°26'E

2.2 DATA

The lack of stations meteorological data for the DRC pushed us to turn us towards the data of “Climatic Research Unit” (CRU). Moreover, the data of the climatic indices which will be used are downloaded from the site of the NOAA: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>, except the dipole mode index who is downloaded from the site: <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/DATA/dmi.monthly.txt>.

In order to determine the possible links between the temperatures fluctuations of our study area and the regional or remote climatic phenomena, we resort to certain climatic indices relating to the oscillations of the sea surface temperatures

of the Atlantic, Indian and Pacific Oceans and with two indices related to atmospheric circulation. These various climatic indices which will be analyzed conjointly with the standardized time series of temperatures on the eastern mountainous area in the Democratic Republic of the Congo are:

- the index of the Atlantic Multidecadal Oscillation [13],
- the index of the variability of the Tropical North Atlantic (TNA)[14],
- the index of the variability of the Tropical South Atlantic (TSA)[14],
- the index of the Atlantic Meridional Mode (AMM) [15]
- the index of the North Atlantic Oscillation (NAO) [16], [17]
- the index of the dipole of the Indian Ocean or the Dipole Mode Index (DMI) [18],
- the southern oscillation index (SOI)[19],
- the Nino 3.4 index[20],
- the Trans Nino index (TNI)[21],
- the index of the Western Hemisphere Warm Pool (WHWP) [22].

The definition of each different index is given in reference listed after the considered index.

The temperature fields used in this article are extracted from the CRU 3.10 gridded database on the globe except the polar regions with a resolution of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$; they are a set of monthly data showing the evolution of temperatures over the period 1901-2009. The database is built from more than 4,000 weather stations distributed over the land where the missing data are estimated using 1961-1990 reference period according to the interpolation and homogenization methods [23].

A hierarchical classification on principal component analysis is applied to the temperature data of the weather stations of the DRC extracted the CRU database. The weather stations are thus grouped and each group constitutes a study zone. The average series for each group is calculated and then standardized. This procedure consists in eliminating the annual cycle from the data and dividing the anomalies thus obtained by the standard deviation. The temperature time series used for investigation in this article is thus a time series of reduced monthly anomalies of the temperatures. The weather stations of the study zone extracted from the CRU database are represented on figure 1.

The temperatures in this study area follow on a seasonal scale a unimodal mode with lower temperatures at July as figure 2 attests it. The time series representing the evolution of temperatures in the study zone is represented on figure 3.

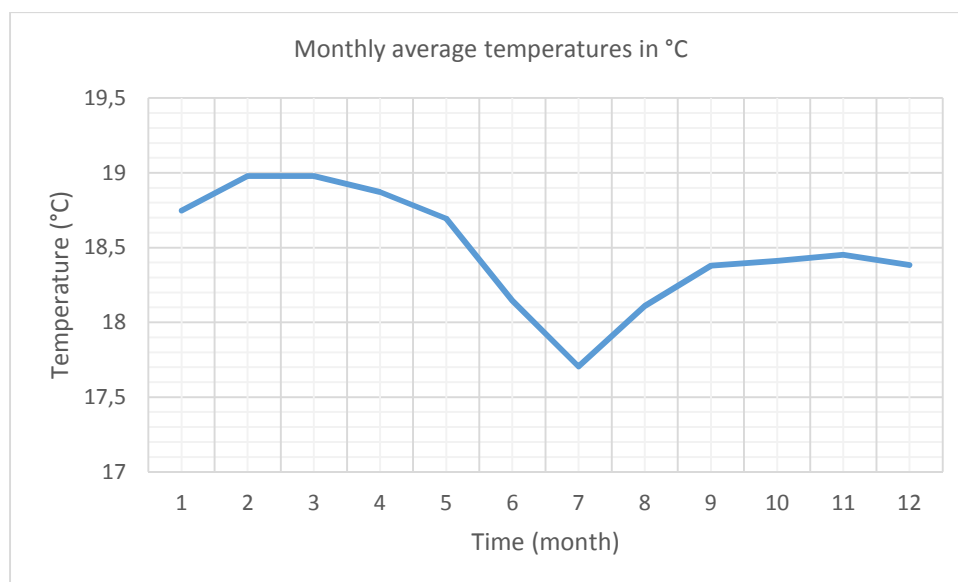


Fig. 2. Temporal seasonal evolution of the temperatures on the eastern mountainous region of the DRC. The thermal amplitude is low, the coldest month is July.

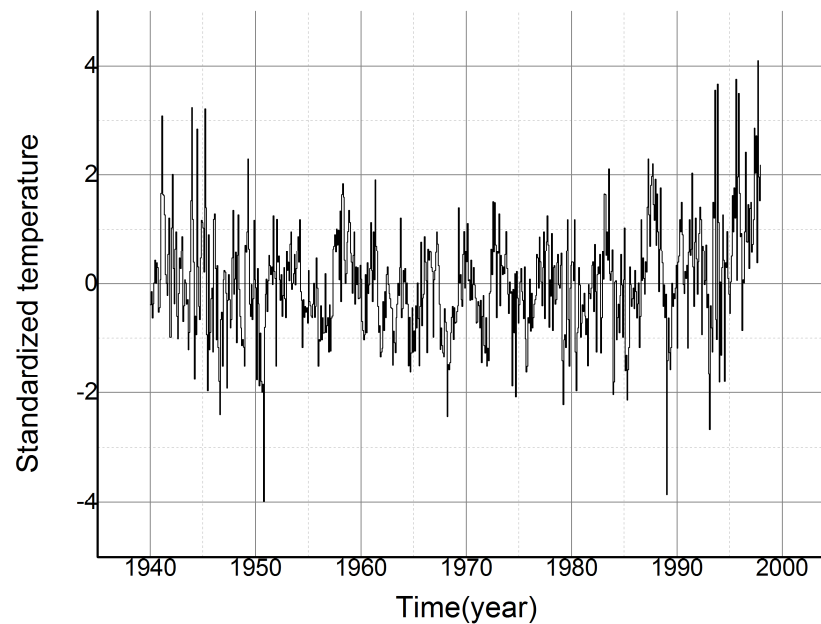


Fig. 3. Evolution of temperature anomalies over DRC eastern mountainous zone as function of time. Perceptible positive temperature anomalies, on the periods 1940-1950 and 1990-1997, denote a temperature increase while negative temperature anomalies indicate a temperature decrease.

2.3 METHODS

In order to determine periodic structures in our standardized time series of temperatures over the eastern mountainous region in the DRC, we will use two sophisticated spectral methods, the multitaper method (MTM) and the singular spectral analysis (SSA), all implemented in the SSA-MTM toolkit that can be downloaded from <http://www.atmos.ucla.edu/tcd/ssa/> and the wavelet analysis. Wavelet analysis will also be used for further investigations. The code of Grinsted et al., derived from the popular Matlab code of Torrence and Compo, downloaded from <http://www.pol.ac.uk/home/research/waveletcoherence/>, will also be applied. The popular Matlab code of Torrence and Compo is available at <http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>

2.3.1 THE MULTITAPER METHOD

Developed by Thomson [24], the “multitaper” method (MTM) is a non-parametric method of spectral analysis which allows the spectral evaluation [24], [25] by reducing the spectral leakage and provides a statistical test for the validity of the spectral peaks and their amplitudes [26] and the signal reconstruction [27] of a time series whose spectrum is formed of the continuous and singular components. This method, “which uses multiple orthogonal tapers to describe phase and amplitude modulated structures” [28] embedded in a univariate time series, was largely applied to the signals in various fields [29]. Combined with the Mann-Lees test [30], it makes possible to isolate independently the background noise, the harmonic signals and the narrow band anharmonic signals present in the spectrum of a time series [31].

For a time series data $X(t)$, $t = 1, \dots, N$, the MTM determines K uncorrelated estimates of the periodogram from orthogonal tapers, called Slepian tapers $w_k(t)$, $k = 1, 2, \dots, K$ well selected, which provide an optimal resolution and minimize the spectral leakage. The K tapered Fourier transforms are given by the equation:

$$Y_k(f) = \sum_{t=1}^N w_k(t)X(t)e^{i2\pi ft\Delta t}$$

The optimal windows $w_k(t)$ are eigenvectors obtained from $N \times N$ eigenvalue problem:

$$Aw_k = \lambda_k w_k$$

where λ_k , the eigenvalue associated with the eigenvector w_k , measures resistance to the spectral leakage of the window and the matrix A has with the form

$$A_{mn} = 2\Delta t W \sin(2\pi W(n-m)\Delta t)$$

With Δt the interval of sampling, $W = pf_R$ the resolution in frequency of the spectral estimate, $f_R = (N\Delta t)^{-1}$ the Rayleigh frequency of the time series and p a suitably selected entire. The eigentapers with $\lambda_k \sim 1$ can be used to construct spectral estimates resistant to the spectral leakage.

“Only $K = 2p - 1$ tapers are usefully resistant to the spectral leakage” [28], [31].

From K spectral estimates, one obtains, after adjustment of the relative weights on the contributions of each one of K eigenspectra, a spectral estimate resistant to the leakage, called adaptively weighted multitaper spectrum by the relation

$$P_X(f) = \frac{\sum_{k=1}^K b_k^2(f) \lambda_k |Y_k(f)|^2}{\sum_{k=1}^K b_k^2(f) \lambda_k}$$

Where $b_k(f)$ is a “data – adaptively determined weighting function” of the eigenspectra which seeks to minimize a broad-band leakage for a nonwhite but locally white process [28], [31].

Only the spectral fluctuations at frequencies higher than f_R can be resolved, the spectrum resolution frequency is equal to $2pf_R$.

2.3.2 SINGULAR SPECTRAL ANALYSIS

Designed to extract information from the short and noisy time series without preliminary knowledge of dynamics at the origin of the time series, the singular spectral analysis (SSA) is a non-parametric method which uses an adaptive data set and thus provides an outline on the dynamics of the system which generated this series. Using anharmonic basis functions derived from the lagged covariances of the data series, it can identify the recurring modes in time and isolate the periodic components and the tendencies from a time series [28].

The singular spectral analysis proceeds by three basic stages [32]:

- the embedding of the sampled time series $\{X(t) : t = 1, \dots, N\}$ in a vector space of dimension M , in other words the representation of the behavior of the system by a succession of sights of the series overlapping through a slipping window of M points,
- the calculation of the $M \times M$ data covariance matrix C_D ; and
- the diagonalisation of matrix C_D .

The time series $\{X(t) : t = 1, \dots, N\}$ is embedded in a vector space of dimension M by considering the M shifted copies $\{X(t-j) : j = 1, \dots, M\}$. The choice of dimension M is not obvious, but the analysis of the periods by SSA is efficient in the range $\left(\frac{M}{5}, M\right)$, $M = N/3$ [33].

Three different algorithms allow us to compute covariance matrix C_D

In the Broomhead-King algorithm, a window length M is moved along the time series, producing a sequence of $N' = N - M + 1$ vectors in the embedding space. This sequence is employed to obtain the trajectory matrix, D , of dimension $N' \times M$, where the k th line is the k th view of the time series through the window. D can also be looked as made up of its column vectors $X^{(m)}$, each one of length M , i.e.

$$D \equiv [X^{(1)} | X^{(2)} | \dots | X^{(N-M+1)}]$$

In this approach, the covariance matrix C_D is defined by

$$C_D = \frac{1}{N'} D D^T$$

whose elements are obtained from the relation [29]

$$c_{ij} = \frac{1}{N - M + 1} \sum_{t=1}^{N-M+1} X(i+t-1)X(j+t-1)$$

The Vautard-Ghil algorithm consists of the matrix C_D estimate from the data as a Toeplitz matrix whose entries c_{ij} are given by the relation [31]:

$$c_{ij} = \frac{1}{N - |i - j|} \sum_{t=1}^{N-|i-j|} X(t)X(t + |i - j|)$$

The Burg covariance matrix is obtained from an iterative process based on an autoregressive model having a number of autoregressive coefficients equal to the length of SSA window.

The square roots $\{\sqrt{\lambda_k}, k = 1, \dots, M\}$ of the eigenvalues λ_k of the covariance matrix ranged by decreasing order are the singular values whose the corresponding set constitutes the singular spectrum [31]. Each eigenvalue gives the variance of the time series in the direction specified by the corresponding eigenvector E_k , called temporal empirical orthogonal function (T-EOF). The scree plot of the singular values gives two areas: the first, of steep slope, represents the signal, and the second constituting a "more or less flat floor" represents the noise. The k -th temporal principal component (T-PC) A_k is the projection of the data set on the eigenvector E_k and is thus defined by the relation:

$$A_k(t) = \sum_{j=1}^M X(t + j - 1)E_k(j), \quad t = 1, \dots, N - M + 1$$

for each EOF E_k of components $\{E_k(j) : j = 1, \dots, M\}$

In order to distinguish the significant signal from the noise or the background, the null hypothesis of red noise is used. The SSA method combined with the test which compares the statistics of a red noise simulated time series with that of a given climatic time series is called Monte Carlo SSA method.

The Monte Carlo version of SSA [34] allows to separate the quasi-regular oscillations and the nonlinear tendencies from a time series, to detect the phase and amplitude modulated oscillations, to follow through the reconstructed components the amplitude variations, the phase and the frequency associated with the almost broad spectral peaks. The pairs of oscillations in phase quadrature identified by this method can represent an anharmonic nonlinear oscillation [33].

2.3.3 WAVELET ANALYSES

Most of climatic time series are no stationary and Fourier analysis is inappropriate to the study of such series. Wavelet analysis is used in this case to decompose a time series into frequency and time components and the dominant modes of variability and transitory aspects can therefore be extracted [35]. The analysis of the intermittent localized oscillations present in a signal and their temporal localization can thus be studied.

In the place of the functions sine and cosine used in the Fourier transform, the continuous wavelet analysis uses a wavelet function $\psi(t)$ which is a function of finite energy:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi|^2 dt = 1$$

and

a function of zero mean, i.e the wavelet must be an oscillating function

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0$$

Moreover, $\psi(t)$ is often required to have a certain number of vanishing moments:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} t^k \psi(t) dt = 0 \quad \text{with } k = 0, 1, 2, \dots$$

This property improves the efficiency of $\psi(t)$ in the detection of singularities in the signal. Indeed, the wavelet becomes blind to polynomials of degree inferior or equal to k which constitute the smoothest part of the signal.

Several types of wavelet functions (Haar, Mexican hat, Morlet, Paul ...) with the specific properties and adapted to the various analyses exist [36]. The Morlet wavelet, defined as a complex exponential wave damped by a Gaussian envelope of equation [35], [36]:

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 \eta} e^{-\eta^2/2}$$

where ω_0 is an adimensional frequency often taken equal to 6 in several analyses and $\eta = st$, s the wavelet scale [37], is frequently used in continuous wavelet analysis and will be used in this article.

The continuous wavelet transform is applied as a bandpass filter. The wavelet is stretched in time by varying its scale s and by normalizing it to have an energy equal one.

As a passband filter applied to the time series, the continuous wavelet transform of a discrete time series ($X_n, n = 1, 2, \dots, N$) with a uniform temporal step δt is defined by the convolution of X_n with the shifted and standardized wavelet. It is given by the relation

$$W_n^X(s) = \sqrt{\frac{\delta t}{s}} \sum_{n'=1}^N X_{n'} \psi_0 \left[(n' - n) \frac{\delta t}{s} \right]$$

The local wavelet power spectrum of a time series at the scale s and the time index n is given by $|W_n^X(s)|^2$. It allows us to describe the temporal intermittent oscillations present in a time series. The periodicities present in a signal, the peaks and the fluctuations or energy bands recovering certain scales of time can be observed on the local wavelet power spectrum of a time series.

The time-averaged wavelet power spectrum, also called global wavelet power spectrum, $S(s)$, and defined by the relation:

$$WGS(s) = \sum_n |W_n^X(s)|^2$$

provides a unbiased and consistent estimate of true power spectrum of a time series and can therefore be used for identification of periods of intermittent oscillations embedded in a signal [36].

The power fluctuations on a range of scales can be examined through the wavelet power spectrum weighted in scale. This last is defined as the weighted sum of the wavelet power spectrum between the scales s_1 and s_2 by the expression [36]:

$$\bar{W}_n^2 = \frac{\delta j \delta t}{C_\delta} \sum_{j=j_1}^{j_2} \frac{|W_n(s_j)|^2}{s_j}$$

where C_δ , an independent factor and constant for each wavelet function, is equal to 0,776 for the Morlet wavelet and δj the scale step. The variance of a time series is thus obtained as a function of time.

As the wavelet is not completely localized in time, the continuous wavelet transform has edge artifacts and a cone of influence is then introduced in order to take into account edge effects [36], [37], [38].

The quantification of the possible links between two nonstationary signals identified by their time series X and Y , between the modes of variability detected and the physical mechanisms at the beginning of these modes is possible by using the wavelet coherence. As a coefficient of correlation localized in space time-frequency, the wavelet coherence, $R_n^2(s)$, is defined as the standardized cross spectrum by the spectrum of each signal [38], [39], [40]:

$$R_n^2(s) = \frac{|\langle s^{-1} W_n^{XY}(s) \rangle|^2}{\langle s^{-1} |W_n^X(s)|^2 \rangle \langle s^{-1} |W_n^Y(s)|^2 \rangle}$$

where

$$W_n^{XY}(s) = W_n^X(s) \cdot W_n^Y(s)^*$$

$W_n^Y(s)^*$ indicates the conjugated of $W_n^Y(s)$, the factor s^{-1} is used to convert with an energy unit and $\langle \rangle$ appoints an operator $\mathcal{L}$ of smoothing at the same time in time and scale. The operator of smoothing $\mathcal{L}$ can be written [38]:

$$\mathcal{L}(W) = \mathcal{L}_{scale}(\mathcal{L}_{time}(W_n(s)))$$

$\mathcal{L}_{scale}$ indicates smoothing along the axis of scale and $\mathcal{L}_{time}$ smoothing in time.

For the Morlet wavelet, the operator of smoothing in time and the operator of smoothing in scale are given respectively by [38]:

$$\mathcal{L}_{time}(W)|_s = \left(W_n(s) \cdot c_1 e^{-\frac{t^2}{2s^2}} \right) \Big|_s$$

$$\mathcal{L}_{scale}(W)|_n = (W_n(s) \cdot c_2 \Pi(0, 6s))|_n$$

where c_1 and c_2 are constants of standardization and Π is the rectangular function of width δj_0 , the length of decorrelation of the scale. $\delta j_0=0.60$ for the Morlet wavelet [37]. R_n^2 is limited between 0 and 1.

The wavelet coherence analysis makes possible to characterize the degree of linearity between two processes for all localizations time-scale [37], [38].

The difference in phase $\phi_n(s)$ of the wavelet coherence is given by

$$\phi_n(s) = \arctg\left(\frac{\Im\{s^{-1}W_n^{XY}(s)\}}{\Re\{s^{-1}W_n^{XY}(s)\}}\right)$$

Coherence phase between two series is seen in the wavelet coherence spectrum as arrows indicating dephasing between the two phenomena or the delay between two signals [37], [39]: horizontal arrows pointing towards the right for two phenomena in phase, horizontal arrows pointing towards the left for two phenomena in opposition of phase and vertical arrows for two phenomena with a nonlinear relation. In all the cases, the horizontal arrows stand for a linear relation between the phenomena considered. The time and frequency intervals where the two phenomena have a strong interaction can thus be highlighted by the wavelet coherence [39].

The scale-averaged wavelet coherence spectrum, defined in the same manner that the scale-averaged wavelet spectrum of a time series, enables us to follow the temporal evolution of coherence between two time series in a specific period band.

The global wavelet coherence spectrum, GWCS (S), is defined by [39]:

$$GWCS(s) = \sum_n R_n^2(s) = \sum_n \frac{|\langle s^{-1}W_n^{XY}(s) \rangle|^2}{\langle s^{-1}|W_n^X(s)|^2 \rangle \langle s^{-1}|W_n^Y(s)|^2 \rangle}$$

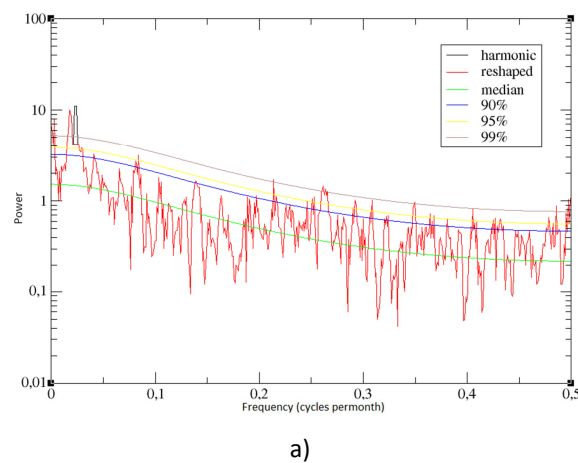
and allows us to identify the periods of strong coherence between two time series.

False positive results can also be obtained by wavelet analysis since random fluctuations can produce high values of spectral power or coherence related on the underlying process and not to the time series. To mitigate this problem, one often compares the wavelet power spectrum of a temporal geophysical series with that of a theoretical red noise [36] which can be very well modeled by an first order autoregressive process; the statistical significance test proves very important. Two statistical significance tests usually used in wavelet analysis are the test of Torrence and Compo [33] extended to wavelet coherence by Grinsted et al. [37] by using the Monte Carlo methods and called “pointwise test” and the test of Maraun et al. [41] called “areawise test”. All investigation in this article is conducted at a confidence level superior or equal to 95% .

3 RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 FLUCTUATIONS OF THE TEMPERATURES

The periods of the signals present in the temperatures of the eastern mountainous region in RDC returned by the multitaper method of the spectral estimate are respectively (4.7 ± 0.8) years and (3.3 ± 0.4) years (figure 4).



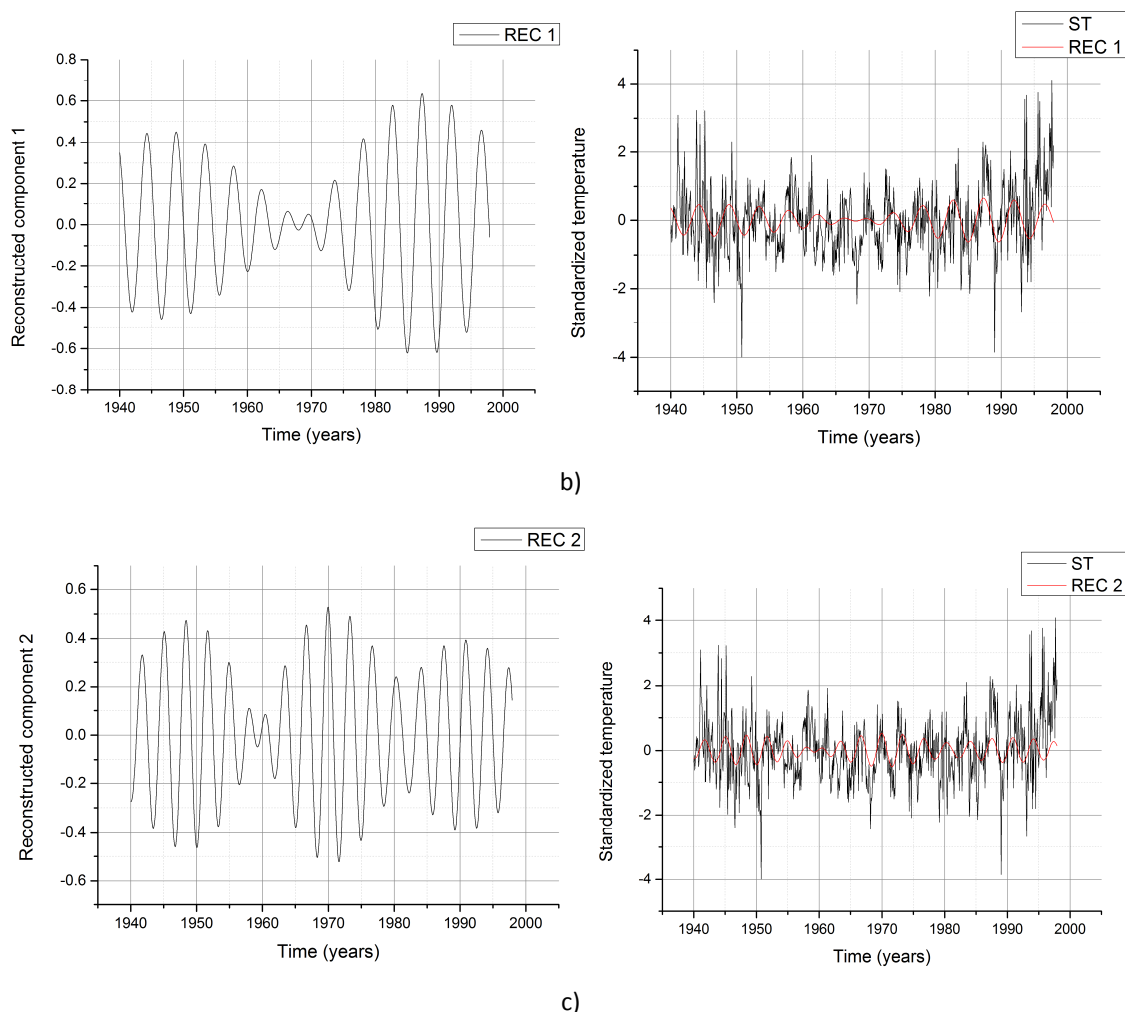
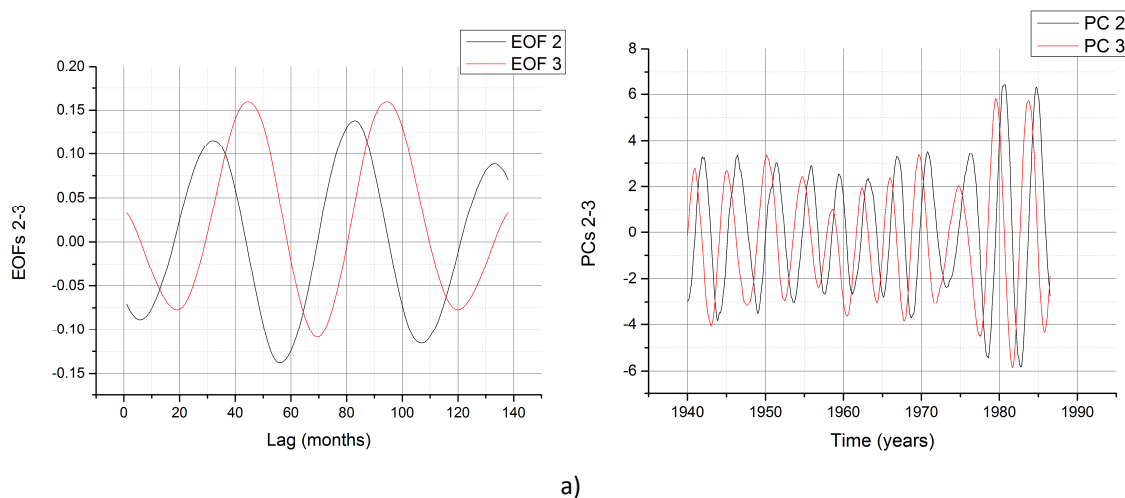


Fig. 4. MTM spectrum of the standardized temperatures (ST) in the eastern mountainous region in the DRC and reconstructed components: a) MTM spectrum of the temperatures, b) Interannual reconstructed component of period 4.7 years (REC 1 at left) and REC 1 superimposed on the original signal (at right) and c) Interannual reconstructed component of period 3.3 years (REC 2 at left) and REC 2 superimposed on the original signal (at right).

The SSA Vautard-Ghil algorithm applied to the series of the temperatures of the eastern mountainous region of the DRC reveals signals of periods (4.2 ± 0.2) and (3.3 ± 0.2) years within the temperatures of this area (figure 5).



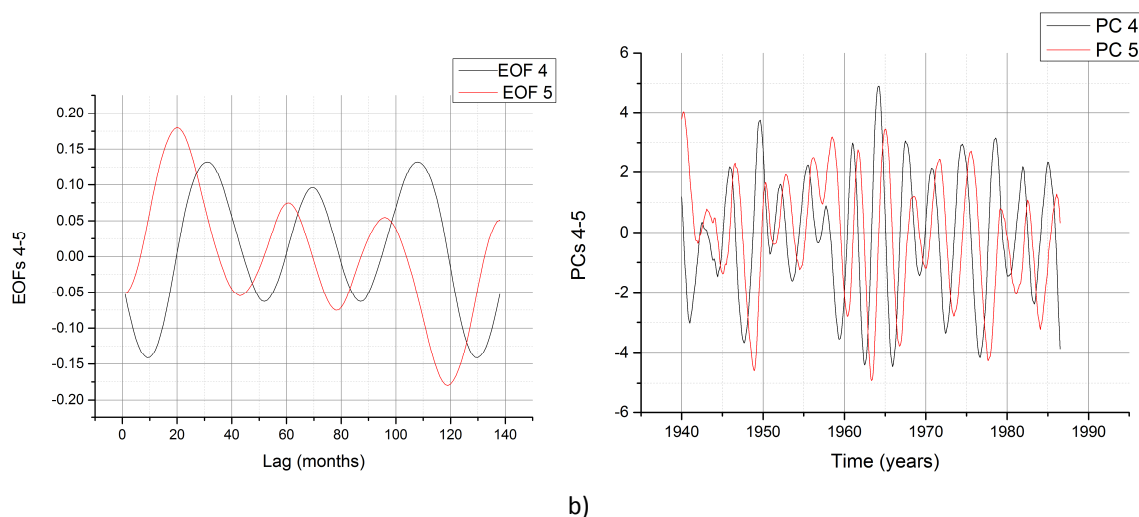


Fig. 5. Empirical orthogonal functions (EOFs at left) and corresponding principal components (PCs at right) of the standardized time series of temperature in the eastern mountainous region in the DRC: a) EOFs 2 and 3 and corresponding PCs 2 and 3 b) EOFs 4 and 5 and corresponding PCs 4 and 5. The embedding dimension M is taken equal to 138.

Wavelet analysis of the temperatures on the same area presents to us three energy bands in the band of the periods ranging between 2 and 8 years as shown in figure 6a; the global wavelet spectrum reveals a peak at (5 ± 1) years.

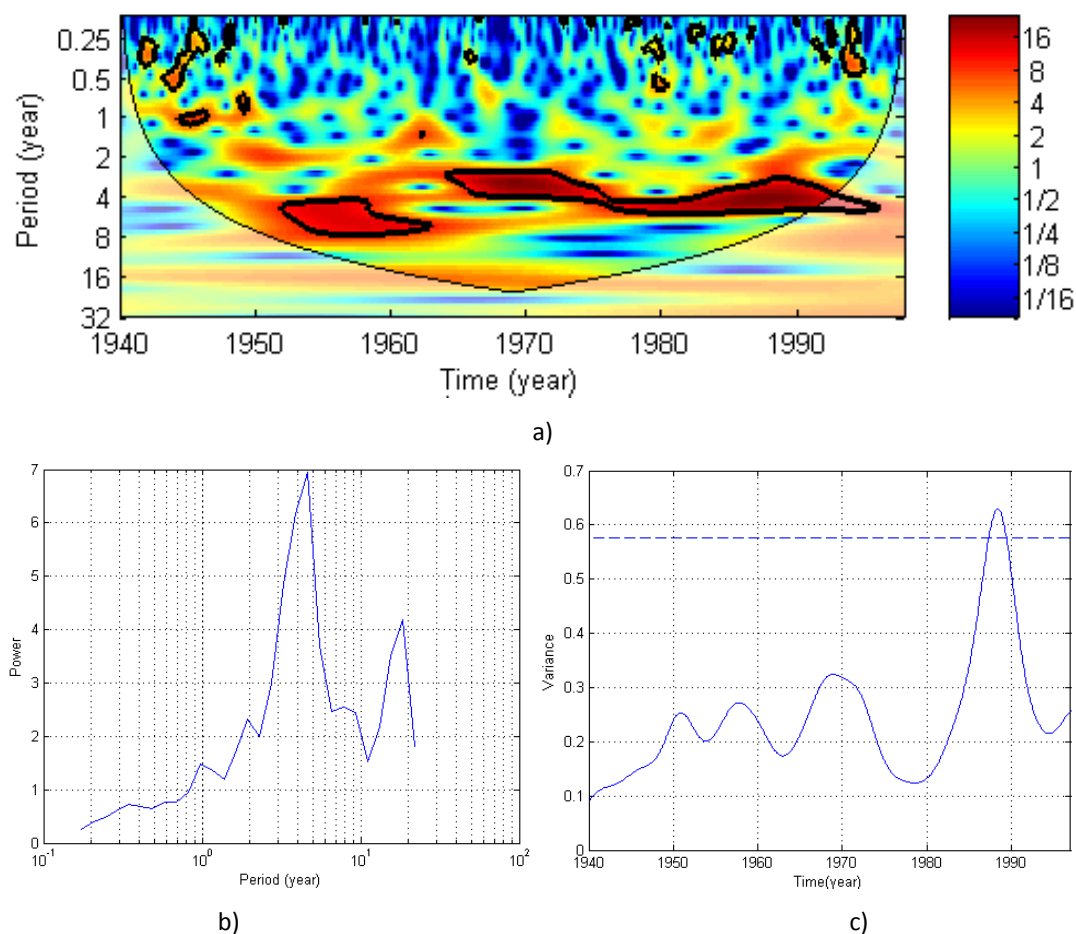
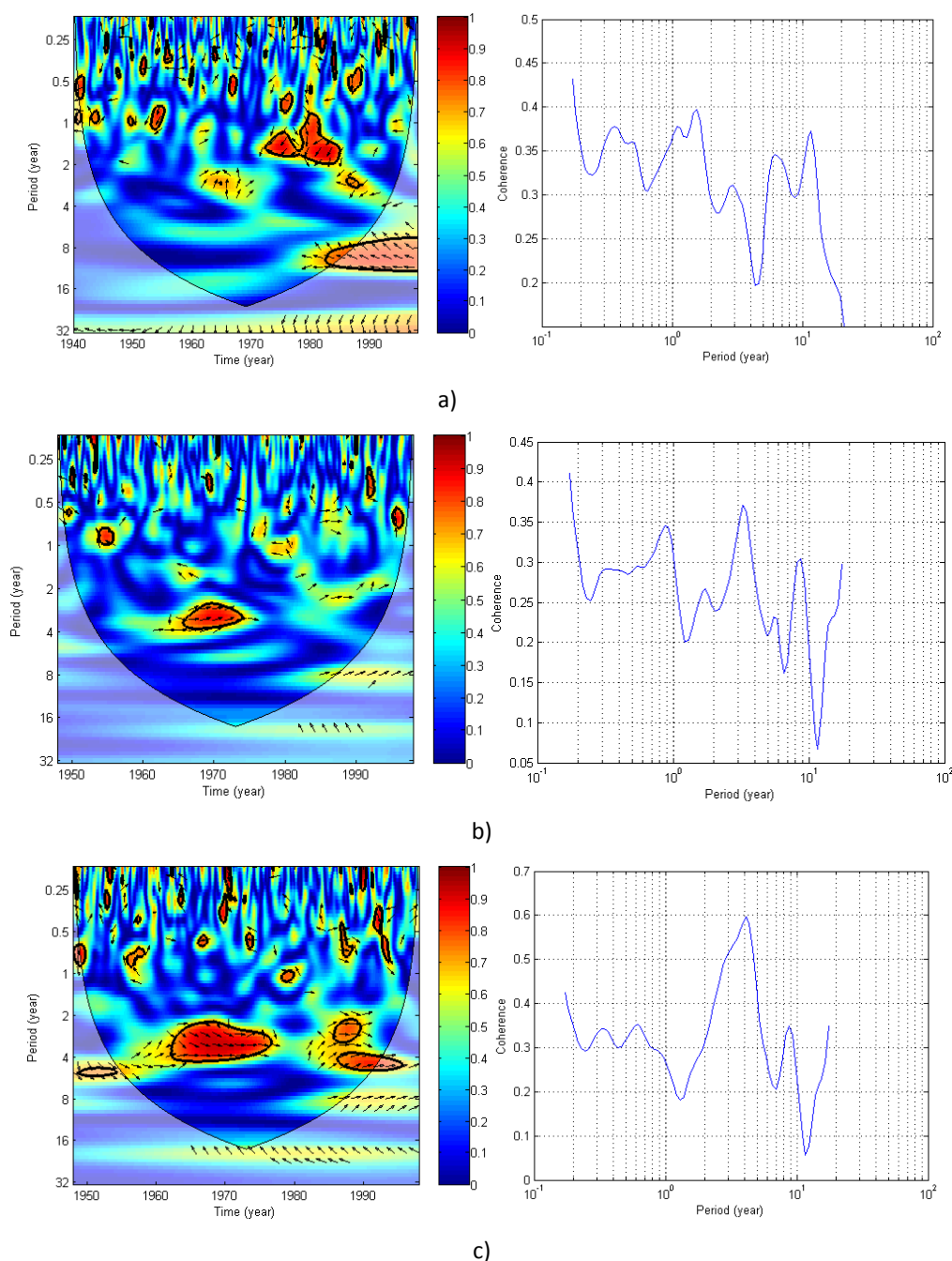


Fig. 6. Wavelet spectra of the standardized temperatures in the eastern mountainous region in the DRC: a) local wavelet power spectrum of the temperatures, b) time-averaged wavelet power spectrum of the temperatures and c) scale-averaged wavelet power spectrum of the temperatures.

The three methods give us one common period: 4.2–4.7 years. The temperatures have peaks of variation at the following years 1952, 1958, 1969 and 1989 in the time intervals 1948-1954, 1954-1963, 1963-1979 and 1979-1994. The last peak is the most intense.

3.2 CLIMATIC FLUCTUATIONS AND INDICES OF THE ATLANTIC OCEAN

Coherence between the anomalies of sea surface temperatures of the Atlantic Ocean summarized by the following climatic indices: the AMO, the AMM, the TNA and the TSA and the temperatures on the eastern mountainous area of the DRC show a band of interaction centered over the year 1970 in the bands of 2-4 years between 1963 and 1978 roughly. This interaction, almost inexistent between the NAO, the TSA on the one hand and the temperatures on the other hand, intermittent between the AMO, the TNA, the AMM on the one hand and the temperatures on the other hand constitutes a proof that the Tropical Atlantic Ocean has a part certainly weak but significant in the temperature variability on the eastern mountainous area in the DRC.



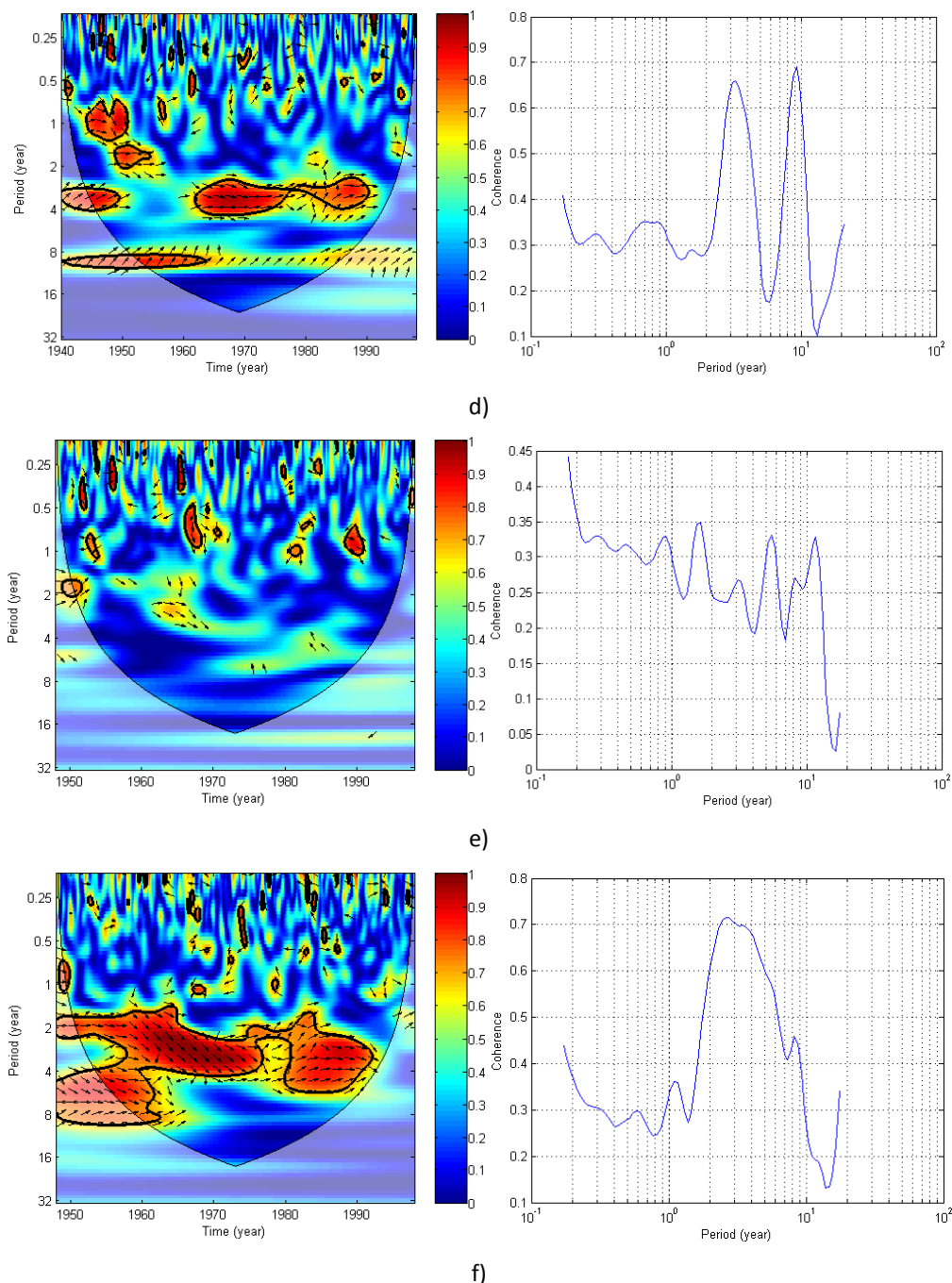


Fig. 7. Local (left) and global (right) wavelet coherence spectrum between standardized time series of temperatures on eastern mountainous region in the DRC and an indice of sea surface temperature (or sea level pressure) anomalies of Atlantic Ocean: a) NAO, b) AMM, c) TNA ,d) AMO, e) TSA et f) WHWP

The eastern mountainous sector in the DRC and the anomalies of sea surface temperatures of tropical Atlantic Ocean present a quasi-linear relationship in the 2-4 years band between 1965 and 1978. The influence of Atlantic Ocean on rainfall (climate) of the Congo Basin was underlined by Balas et al.[6], Nicholson and Dezfuli [42], Dezfuli and Nicholson [43] and Farnsworth et al.[44] at seasonal timescales but the temperature variability was not investigated.

WHWP variability in Atlantic Ocean occurs on both interannual and multidecadal timescales [45]. The years of high coherence between WHWP and temperature over eastern mountainous DRC coincide approximatively with the years of relatively high coherence between AMO, AMM, TNA and temperature over this region. According to Wang et al [45], the WHWP and the AMO have the same variability at multidecennial timescales. However, we note that at interannual and

decennial timescales, the coherence, between AMO, AMM, TNA, TSA and temperature on this region, between WHWP and temperature on this same region, varies in the same manner. At decennial time scales, no significant coherence band is observed except between the NAO and the temperature over this region after 1980. The temporal evolution of coherence between temperature over the eastern mountainous region in DRC and sea surface temperatures of tropical Atlantic Ocean is marked by the same intervals of high coherence, except for the TSA in the 1970 years which contrasts with all other indices of tropical Atlantic variability.

A low coherence is observed between temperature over this sector and these Atlantic sea surface temperature indices; this fact indicates that other climate drivers are also acting in this sector. Topography can be one of these drivers as noted by Hession and Moore [46], Oettli and Camberlin [47]. Some coherence peak years found in the wavelet coherence spectra (figure 8) coincide with some warm event years in the Tropical Atlantic sector [48].

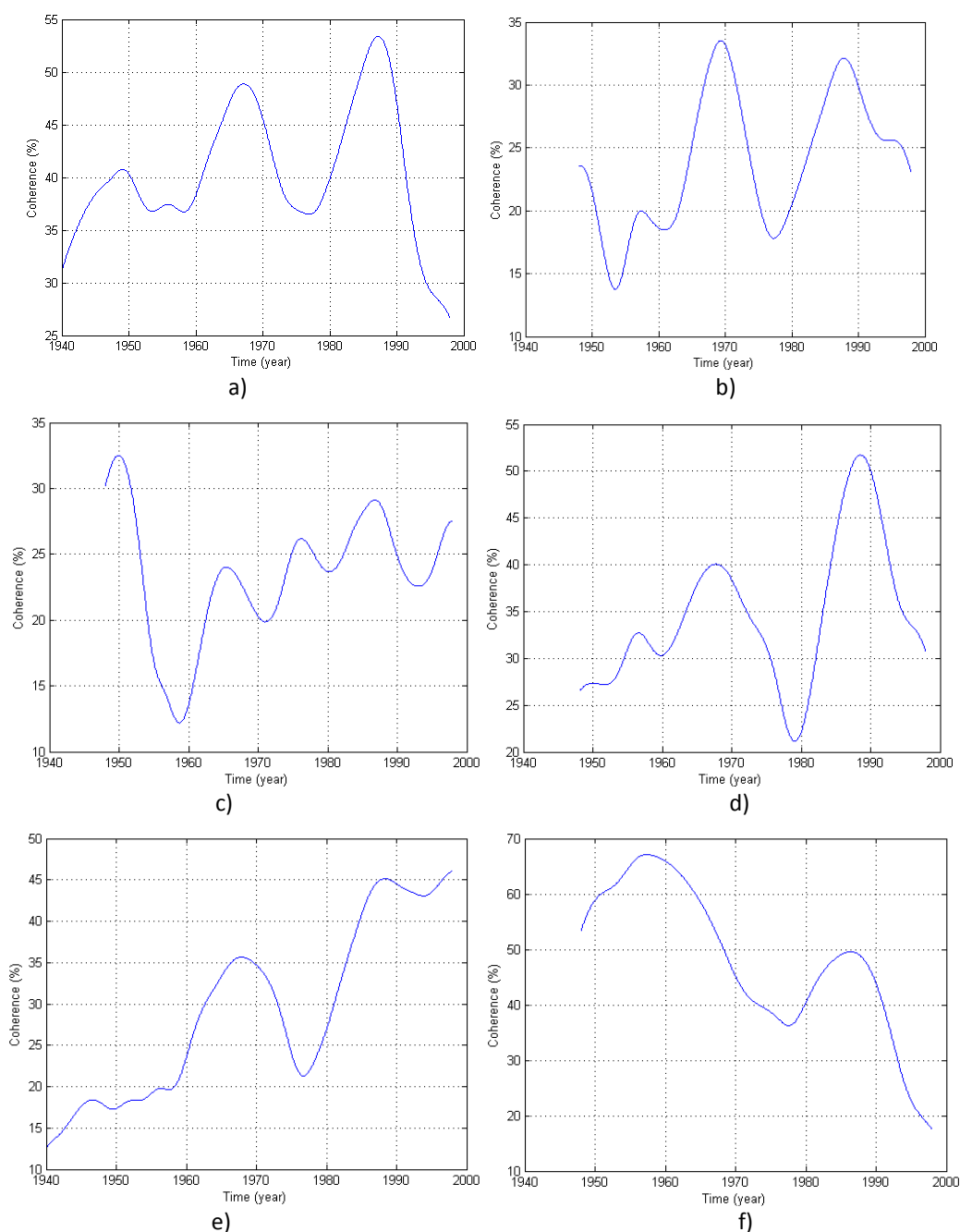


Fig. 8. Scale-averaged wavelet coherence spectrum between temperature on eastern mountainous region in the DRC and an indice of Atlantic Ocean variability : a) AMO b) AMM c) TSA d) TNA e) NAO and WHWP.

3.3 FLUCTUATIONS OF THE TEMPERATURES AND THE TROPICAL PACIFIC OCEAN

The local wavelet coherence of the temperatures with the SOI or the NINO 3.4 reveals that the temperatures in the eastern mountainous area in the DRC are almost in opposition of phase with the SOI and in phase with the Nino 3.4 in the band of the periods 2-8 years during all the study period, the coherence peaks being located roughly at 4.1 years (figure). The coherence between temperature over this region and TNI is relatively low in the band of 2-8 years. However the scale-averaged wavelet coherence spectrum between temperature and TNI reveals us most of the different years (coherence peaks) of El Nino events between 1940 and 1997 (figure 9). The high mean coherence (0.5 to 0.7 approximately) between SOI or NINO 3.4 and temperature over this region during almost the study period indicates that ENSO phenomenon dominates the variability modes of the temperature fluctuations over the eastern mountainous region in the DRC at the interannual timescales.

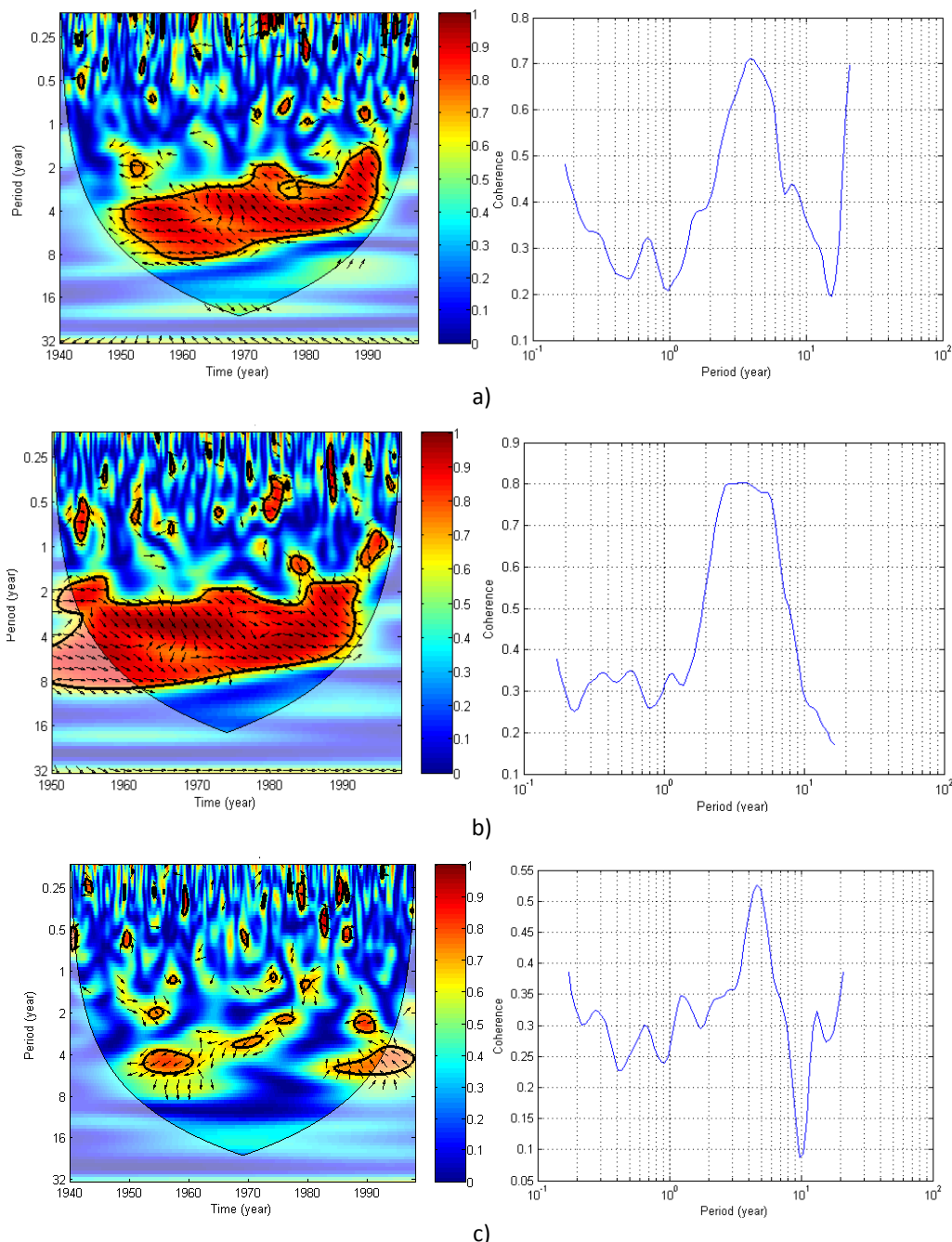


Fig. 9. Local wavelet coherence and global wavelet coherence between the standardized time series of temperatures over the oriental mountainous region of DRC and: a) the SOI, b) the NINO 3.4 c) the TNI

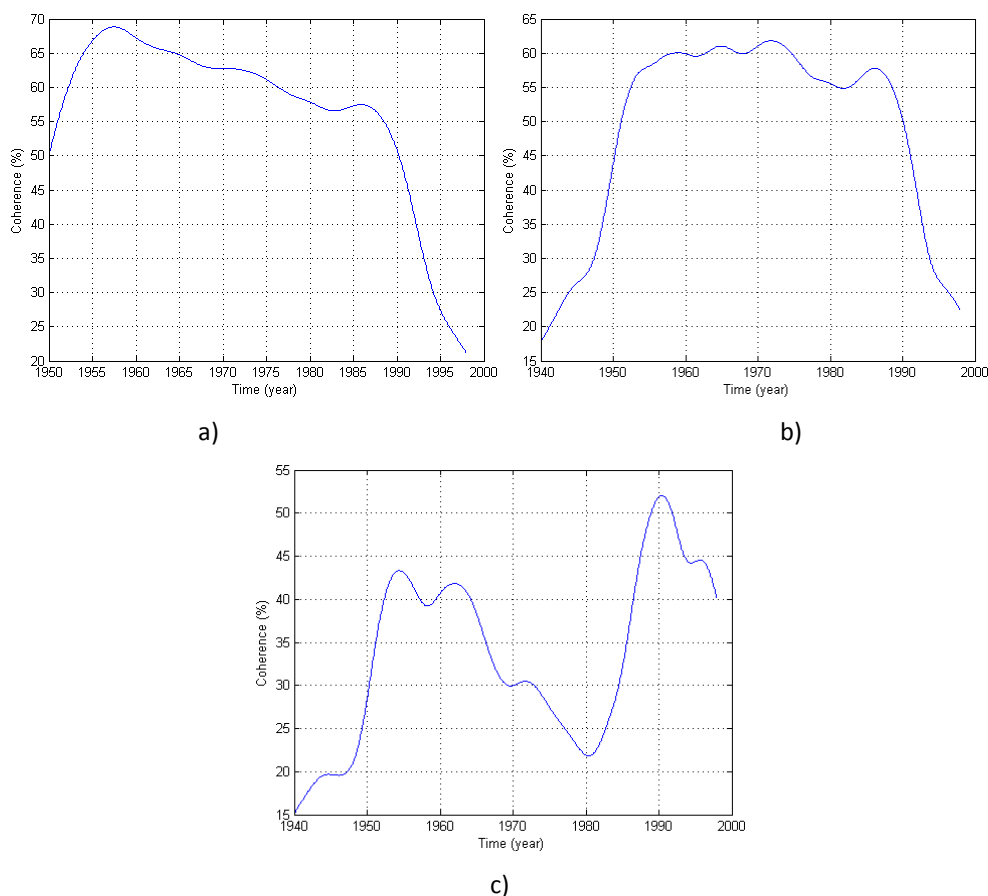


Fig. 10. Scale-averaged wavelet coherence between an ENSO indice and standardized time series of temperatures over the eastern mountainous region in the DRC: a) SOI, b) Nino 3.4 and c) TNI

3.4 INFLUENCE OF INDIAN OCEAN DIPOLE ON TEMPERATURES OVER THE EASTERN MOUNTAINOUS REGION IN THE DRC

The Indian Ocean dipole and the temperatures on eastern mountainous region in DRC present some isolated variation bands at interannual timescales. The high values of mean coherence vary between 0.38 and 0.46 at isolated years of the study period. This low coherence shows that the Indian Ocean dipole influences slightly temperature over this region.

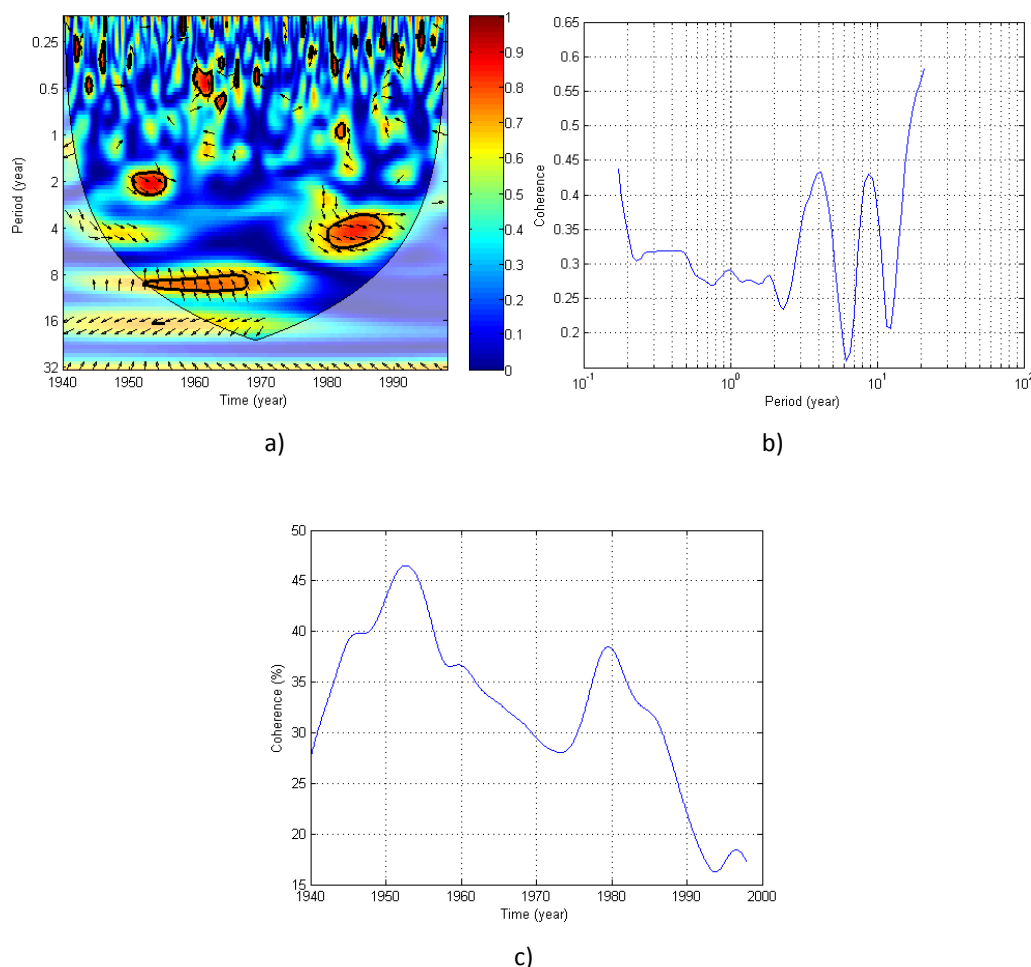


Fig. 11. Wavelet coherence analysis between the DMI and the standardized time series of temperatures over the eastern mountainous zone in the DRC: a) Local wavelet coherence , b) Global wavelet coherence c) Scale wavelet coherence

The table 2 gives the various peaks of coherence observed between the various climatic indices used in this article and the temperatures on the mountainous region. The periods of 3.1, 3.3, 8.8 and 11.7 years can be attributed to solar activity [39] but certain periods like 11.7 years are not attributed in this investigation to a significant coherence band.

Fig. 12. Coherence peaks observed between the various climatic indices and temperatures

Bands	Bands	SOI	NINO 3.4	TNI	AMM	AMO	TNA	TSA	NAO	WHWP	DMI
2-8 years	2-4 years				3.3 yr	3.1 yr		3.1 yr		2.6 yr	
	3-6 years	4.1 yr	4.1 yr	4.6 yr			4.1 yr				4.1 yr
	5-8 years							5.5 yr			
8-16 years	8-12 years										
	12-16 years	8.3 yr			8.8 yr	8.7 yr	11.7 yr		11.7 yr	8.3 yr	8.7 yr

4 CONCLUSION

At interannual timescales, the temperature fluctuations over the eastern mountain region in DRC are driven by the ENSO phenomenon and the WHWP. The influence of Atlantic Ocean on this region seems low but the WHWP should be one of the major drivers, with ENSO, of the interannual variability of temperature in this region. A signal of 4.1 years period which can be attributed to ENSO phenomenon, a signal of 2.6 years period relative probably to the WHWP and the high coherence between the SOI or the NINO 3.4, the WHWP and the temperature over this region attest that Tropical Pacific and Atlantic Oceans have a major impact on temperature fluctuations at interannual timescales. At decennial timescales, the solar activity

should be one of the temperature fluctuation drivers over this region. The Indian Ocean dipole has a little effect over this region.

REFERENCES

- [1] Verburg, P., R. E. Kecky, and H. Kling, "Ecological consequences of a century of warming in Lake Tanganyika", *Science*, 301, 505–507, 2003.
- [2] Collins, J. M., Temperature Variability over Africa, *J. Climate*, Vol.24, 3649–3666, 2011.
- [3] Sanga N.K. and Fukuyama K., "Interannual and long-term climate variability over the Zaire River Basin during the last 30 years", *J. Geophys. Res.*, 101, 21351-21360, 1996.
- [4] Haensler, A., Saeed, F. and Jacob, D. (2013): *Assessment of projected climate change signals over central Africa based on a multitude of global and regional climate projections*. In: Climate Change Scenarios for the Congo Basin. [Haensler A., Jacob D., Kabat P., Ludwig F. (eds.)]. Climate Service Center Report No. 11, Hamburg, Germany, ISSN: 2192-4058.
- [5] Washington R., James R., Pearce H., Pokam W. M. and Moufouma-Okia W., "Congo Basin rainfall climatology: Can we believe the climate models?" *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 368(1625): 20120296, 2013.
- [6] Balas N., Nicholson S. E., Klotter D., "The relationship of rainfall variability in west Central Africa to sea-surface temperature fluctuations", *Int. J. Climatol.*, 1349, 1335–1349, 2007.
- [7] E. Aguilar, A. Aziz Barry, M. Brunet, L. Ekang, A. Fernandes, M. Massoukina, J. Mbah, A. Mhanda, D. J. do Nascimento, T. C. Peterson, O. Thamba Umba, M. Tomou, and X. Zhang, "Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 114, 2009
- [8] Jules Gérard-Libois, Henri Nicolaï, Patrick Quantin, Universalis, Benoît Verhaegen, Crawford Young, «*République Démocratique Du Congo*», Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 15 mars 2016. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/republique-democratique-du-congo/>
- [9] Alain Foucault, *Climatologie et Paléoclimatologie*, Dunod, Paris, 323 pp., 2009.
- [10] Sanga N. K. and Fukuyama K., "Interannual and long-term climate variability over the Zaire River Basin during the last 30 years", *J. Geophys. Res.*, 101, 21351-21360, 1996.
- [11] www.wzd.cz/zoo/AF/CD/unknown/files/planed_provincial_biodiversiti_actions_99.pdf. Plans d'action provinciaux de la biodiversité, consulté le 18/06/2016
- [12] Stratégie et plan d'action nationaux de la biodiversité (2015-2020) Draft 03 Septembre 2015, <http://cd.chm-cbd.net/implementation/le-changement-climatique-en-republique-democratique-du-congo/strategie-et-plan-d-action-nationaux-de-la-biodiversite-2015-2020/download/fr/>, consulté le 18/06/2016
- [13] Enfield, D.B., A. M. Mestas-Nunez and P.J. Trimble, "The Atlantic multidecadal oscillation and it's relation to rainfall and river flows in the continental U.S.", *Geophysical Research Letters*, Vol. 28, 2077-2080, 2001.
- [14] Enfield, D.B., A.M. Mestas, D.A. Mayer, and L. Cid-Serrano, "How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures?" *JGR-O*, 104, 7841-7848, 1999.
- [15] Chiang J. C. H. and D. J. Vimont: "Analagous meridional modes of atmosphere-ocean variability in the tropical Pacific and tropical Atlantic", *J. Climate*, 17(21), 4143-4158, 2004.
- [16] Hurrell J.W., "Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation". *Science* 269, 676-679, 1995.
- [17] Jones P.D., Johnson T. and Wheeler D., "Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland", *Int. J. Climatol.* 17, 1433-1450, 1997.
- [18] N. H. Saji, B. N. Goswami, P. N. Vinayachandran and T. Yamagata, "A dipole mode in the tropical Indian Ocean", *Nature*, Vol. 401, 23, 1999.
- [19] Philander S. G. H., *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation*, Academic Press, San Diego, Calif., 293 pp., 1990.
- [20] Trenberth K. E., "The Definition of El Niño", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(12), 2771-2777, 1997.
- [21] Trenberth K. E. and Stepaniak D. P., "Indices of El Niño Evolution", *J. Climate*, Vol. 14, 1697-1701, 2001
- [22] Wang C. and D.B. Enfield, "The tropical Western Hemisphere warm pool", *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1635-1638, 2001.
- [23] Mitchell T. D. and Jones P. D., "An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids", *International Journal of Climatology*, Wiley Online Library, 25, 693-712, 2005.
- [24] Thomson, D. J., "Spectrum estimation and harmonic analysis", *Proc. IEEE*, 70, 1055–1096, 1982.
- [25] Percival, D. B., and A. T. Walden, *Spectral Analysis for Physical Applications*, Cambridge Univ. Press, New York, 583 pp., 1993.
- [26] Park, J., C. R. Lindberg, and F. L. I. Vernon, "Multitaper spectral analysis of high-frequency seismograms", *J. Geophys. Res.*, 92, 12,675–12,684, 1987.

- [27] Ghil, M., and C. Taricco, Advanced spectral analysis methods, in Past and Present Variability of the Solar-Terrestrial System: Measurement, Data Analysis and Theoretical Models, edited by G. C. Castagnoli and A. Provenzale, pp. 137–159, *Soc.Ital. Di Fis.*, Bologna, Italy, 1997.
- [28] Mann M. E. and Park J., Oscillatory spatiotemporal signal detection in climate studies: A multiple-taper spectral domain approach, *Advances in Geophysics*, Vol. 41, Academic Press, 150 pp., 1999
- [29] Yiou, P., M. F. Loutre, and E. Baert, “Spectral analysis of climate data”, *Surv. Geophys.*, 17, 619–663, 1996.
- [30] Mann M. E. and Lees J.M. , Mann, M. E., and J. M. Lees, “Robust estimation of background noise and signal detection in climatic time series”, *Clim Change*, 33, 409–445, 1996.
- [31] Ghil M, Allen RM, Dettinger MD, Ide K, Kondrashov D, Mann ME, Robertson A, Saunders A, Tian Y, Varadi F, Yiou P “Advanced spectral methods for climatic time series”, *Rev Geophys*, 40(1),1–41, 2002.
- [32] Elsner, J. B., and A. A. Tsonis, Singular Spectrum Analysis, A New Tool in Time Series Analysis, *Plenum Press*, New York, 1996.
- [33] Vautard, R. et al., “Singular spectrum analysis, A toolkit for short noisy chaotic signals”, *Phys. D*58, 95–126, 1992.
- [34] Allen M, Smith L., “Monte Carlo SSA: Detecting irregular oscillations in the presence of colored noise”, *J. Clim.* 9 (12):3373–3404, 1996.
- [35] J. A. Schulte, C. Duffy, and R. G. Najjar, “Geometric and topological approaches to significance testing in wavelet analysis”, *Nonlin. Processes Geophys. Discuss.* 1, 1331–1363, 2014
- [36] Torrence C. and Compo G. P., “A Practical Guide to Wavelet Analysis”, *Bull. Am. Meteorolog. Soc.*, Vol.79 (1), 61-78, 1998.
- [37] Grinsted A., Moore J. and Jevrejeva S., “Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series”, *Nonlinear Process. Geophys.*, Vol. 11, 561-564, 2004.
- [38] Jevrejeva, S., Moore, J. C., and Grinsted, A.: “Influence of the Arctic Oscillation and El Nino-Southern Oscillation (ENSO) on ice conditions in the Baltic Sea: The wavelet approach”, *J. Geophys. Res.*, 108(D21), 4677, doi: 10.1029/2003JD003417, 2003.
- [39] Velasco, V. M. and Mendoza B. “Assessing the relationship between solar activity and some large scale climatic phenomena”, *Adv. Space Res.*, 42, 866–878, 2008.
- [40] Torrence, C. and Webster, P. , “Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system”, *J. Climate*, 1999, 12, 2679-2690
- [41] D. Maraun and J. Kurths, “Nonstationary Gaussian processes in wavelet domain: Synthesis, estimation, and significance testing”, *Phys. Rev. E* 75, 016707(2007)
- [42] Nicholson E.S. and Dzeffuli A.K., “The relationship rainfall variability in western equatorial Africa to the tropical oceans and atmospheric circulation. Part I: The boreal spring”, *J. Climate.*, Vol.26, 45-65, 2012.
- [43] Dzeffuli A.K. and Nicholson E.S., “The relationship rainfall variability in western equatorial Africa to the tropical oceans and atmospheric circulation”. Part II: The boreal autumn”, *J. Climate.*, Vol. 26, 66-84, 2012.
- [44] A. Farnsworth, E. White, Charles J.R. Williams, E. Black, and Dominic R. Kniveton, “Understanding the large scale driving mechanisms of rainfall variability over Central Africa”, *Advances in global change research* , Vol.3, 101-122, 2011.
- [45] Wang C., S.-K. Lee and D. B. Enfield, “Atlantic Warm Pool acting as a link between Atlantic Multidecadal Oscillation and Atlantic tropical cyclone activity”, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q05V03, doi:10.1029/2007GC001809, 2008.
- [46] S. L. Hession and N. Moore, “A spatial regression analysis of the influence of topography on monthly rainfall in East Africa”, *Int. J. Climatol.* 31, 1440–1456, 2011.
- [47] P. Oettli and P. Camberlin, “Influence of topography on monthly rainfall distribution over East Africa”, *Clim Res*, Vol. 28, 199–212, 2005.
- [48] Xie S.P. and Carton, J. A., “Tropical Atlantic variability: Patterns, mechanisms, and impacts”, *Earth's Climate*, Wiley Online Library, 121-142, 2004.

Adénosarcome utérin: étude de 5 cas

[Adenosarcoma of the Uterus: a clinicopathologic analysis of 5 cases]

Z. Benzarti¹, I. Zemni¹, M. Ghalieb¹, T. Damak¹, M. Driss², M. Hechiche¹, and K. Rahal¹

¹Service de chirurgie carcinologique, Institut Salah Azaeiz, Tunis, Tunisia

²Service d'anatomo-pathologie, Institut Salah Azaeiz, Tunis, Tunisia

Copyright © 2016 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:* The uterine adenosarcome is a rare tumor, is composed of a benign glandular component and a sarcomatous stroma. It's characterized by its rarity, difficulties in both diagnostic and therapeutic care.

Patients and methods: A retrospective review, from 1993 to 2013, of five cases of uterine adenosarcome diagnosed and treated at the institute Salah Azaeiz.

Results: Patients' mean age was 54.4 years. Three patients were postmenopausal. Vaginal bleeding was the most common presenting symptom. Physical examination combined with pelvic ultrasonography found a uterus increased in size. The diagnosis was made by biopsy curettage, biopsy of the polyp or study of the surgical specimen. Three patients underwent surgery. Four patients were in FIGO stage I, one patient in stage IV. Two patients benefited from adjuvant radiotherapy and one patient benefited only from chemotherapy. After a mean follow-up of 54 months, one patient was in complete remission. Pelvic local recurrence and metastasis in inguinal nodes were observed in two patients.

Conclusion: Surgery is often sufficient. Its prognosis is relatively favorable.

KEYWORDS: Adenosarcoma, Uterus, Surgery, Radiotherapy, Chemotherapy.

RESUME: *Introduction:* L'adénosarcome utérin est une tumeur extrêmement rare (8 % des sarcomes utérins), caractérisée par la prolifération d'une composante mésenchymateuse maligne et une composante épithéliale bénigne. Il est reconnu par sa difficulté de prise en charge diagnostique et thérapeutique.

Moyens d'étude: Il s'agit d'une étude rétrospective de 5 cas d'adénosarcome utérin pris en charge au sein de l'institut Salah Azaeiz de Tunis, entre 1993 et 2013, avec revue de la littérature internationale.

Résultats: L'âge moyen des patientes était de 54,4 ans. Trois patientes étaient ménopausées. Les métrorragies étaient le motif de consultation le plus fréquent. L'examen gynécologique trouvait souvent un polype accouché par le col (3 cas) et un utérus augmenté de taille. L'échographie pelvienne montrait souvent un utérus augmenté de taille et une lésion intra-utérine d'aspect hétérogène. Les moyens de diagnostic étaient le curetage biopsique, la biopsie du polype accouché par le col ou l'étude de la pièce opératoire. Le traitement chirurgical a été réalisé chez 3 patientes. Quatre patientes étaient classées stade I de FIGO et une seule classée stade IV. Deux patientes ont bénéficié d'une radiothérapie adjuvante. Une chimiothérapie a été prescrite chez la patiente ayant des métastases hépatique d'emblée. Après un recul moyen était de 54 mois, une patiente était en rémission complète. Une récurrence locorégionale pelvienne et une métastase au niveau des ganglions inguinaux étaient observées chez les deux autres patientes opérées.

Conclusion: Le traitement chirurgical seul est souvent satisfaisant. Son pronostic est relativement favorable.

MOTS-CLEFS: Adénosarcome, Utérus, Chirurgie, Radiothérapie, Chimiothérapie.

1 INTRODUCTION

L'adénosarcome utérin est une tumeur extrêmement rare, de nature biphasique associant un compartiment glandulaire bénin et un stroma sarcomateux, décrit pour la première fois par Clément et al en 1974 [1]. Ce sous-type de sarcome utérin est caractérisé par sa difficulté de prise en charge diagnostique et thérapeutique

2 POPULATION ET MÉTHODES

Il s'agit d'une étude rétrospective portant sur 5 cas d'adénosarcome utérin pris en charge à l'institut Salah Azaiez de Tunis, sur une période de 21 ans, de janvier 1993 à décembre 2013.

3 RÉSULTATS

Les caractéristiques des patientes, le diagnostic, les aspects anatomopathologiques, les traitements et l'évolution sont décrits dans les tableaux 1, 2 et 3. L'âge moyen était de 54,4 ans avec des extrêmes allant de 35 à 69 ans. La parité moyenne de nos patientes était de 6. Deux patientes étaient nulligestes. Trois patientes étaient ménopausées au moment du diagnostic, une patiente (cas n°1) avait un antécédent personnel de cancer du sein (carcinome canalaire infiltrant) ayant eu comme traitement adjuvant une hormonothérapie à type de tamoxifène durant 5 ans, avec la survenue d'un adénosarcome utérin 9 ans après l'arrêt de cette hormonothérapie. Les circonstances de découverte étaient par ordre de fréquence : des métrorragies (chez toutes les patientes), douleur pelvienne (2/5 patientes), une masse pelvienne (une patiente). Une femme avait une métastase hépatique lors du diagnostic. L'examen gynécologique a trouvé un polype accouché par le col chez 3 patientes, un utérus augmenté de taille chez 3 patientes, une masse pelvienne chez une seule patiente.

L'échographie pelvienne, par voie abdominale et surtout endovaginale, était réalisée chez 4 patientes, elle avait montré un utérus augmenté de taille chez 3 patientes et une lésion intra-utérine d'aspect hétérogène chez toutes ces patientes, la taille moyenne à l'échographie était de 110 mm (de 60 à 170 mm) de grand axe. Le scanner abdomino-pelvien était réalisé chez une seule patiente (cas n°5), il avait montré une lésion intra-utérine hétérogène hyper vascularisée de 70 mm de grand axe comme taille moyenne et une métastase hépatique. L'imagerie par résonance magnétique n'était faite chez aucune patiente.

Le diagnostic d'adénosarcome était porté soit avant l'intervention initiale dans quatre cas : sur un curetage biopsique dans 3 cas et une biopsie d'un polype accouché par le col chez la quatrième patiente, soit après l'intervention dans un seul cas sur pièce opératoire d'hystérectomie, faite devant la persistance de métrorragie post-ménopausique avec exploration négative.

Le traitement chirurgical était réalisé chez 3 patientes. L'incision était médiane dans tous les cas. Les gestes opératoires réalisés étaient; une hystérectomie avec annexectomie bilatérale chez une patiente et une colpohystérectomie avec lymphadénectomie pelvienne bilatérale pour les deux autres patientes. La chirurgie était jugée complète, sans présence de résidu tumoral en fin d'intervention.

A l'examen anatomopathologique (Tableau 3), la taille moyenne de la tumeur était de 75 mm de grand axe (de 25 à 120 mm), avec à la coupe un aspect blanchâtre, et une consistance ferme. A l'examen microscopique (Figure 1), les signes les plus fréquents étaient l'augmentation du nombre de mitose, l'atypie et la nécrose cellulaire. Selon la classification FNCLCC (Fédération Nationale des Centres de Lutte Contre le Cancer), deux tumeurs étaient de grade 2, et l'autre était de grade 3. La tumeur ne dépassait pas la moitié de l'épaisseur du myomètre chez les 3 patientes opérées et on a noté l'absence d'embolies vasculaires. L'examen des ganglions chez les deux patientes ayant un curage pelvien (27 ganglions examinés) ne trouvait pas de ganglions métastatiques. Selon la classification FIGO, quatre patientes avaient un stade I et une seule patiente avait un stade IV (Tableau 2).

Le traitement était basé sur la chirurgie dans trois cas. Les suites opératoires étaient simples. Une radiothérapie adjuvante post opératoire était réalisée chez deux patientes (cas n°1 et 2). Une patiente (cas n°1) avait eu une radiothérapie externe pelvienne (50Gray) avec curiethérapie vaginale (10Gray) indiquée devant le jeune âge et la présence d'une atteinte du col utérin, une autre patiente (cas n°2) avait eu une radiothérapie externe pelvienne seule (50Gray) indiquée devant la présence d'atypie cellulaire importante et de multiples mitoses. Une chimiothérapie était prescrite chez la patiente (cas n°5) ayant la métastase hépatique au moment du diagnostic, mais la patiente était décédée avant de commencer la chimiothérapie. Aucune patiente n'avait eu de chimiothérapie adjuvante ou d'hormonothérapie.

Le recul moyen était de 54 mois avec des extrêmes allant de 1 mois à 129 mois. Deux patientes (cas n°2 et 3) étaient vivantes en bonne santé. Deux patientes (cas n°1 et 4) étaient décédées. Une patiente (cas n°5) était perdue de vue en bonne santé. Une patiente (cas n°1) avait présenté une récurrence locorégionale au niveau pelvien à 22 mois après la fin du traitement, pour laquelle elle n'avait pas eu de traitement, puisque décédée deux mois après l'apparition de cette récurrence. Une autre patiente (cas n°3) avait eu une métastase au niveau des ganglions inguinaux à 14 mois après la fin du traitement, elle avait eu une chimiothérapie (5 cures de AI : doxorubicine + ifosfamide), actuellement elle est vivante en bonne santé.

Tableau 1: Caractéristiques des patientes

Cas n°	Age (ans)	Statut hormonal	Motif de consultation	Examen physique	Echographie
1	46	Non ménopausée	Ménométrorragie	Polype accouché par le col	Aspect normal
2	63	Ménopausée	Métrorragie	Gros utérus	Utérus augmenté de taille, d'aspect hétérogène
3	59	Ménopausée	Métrorragie + algie pelvienne	Polype accouché par le col + gros utérus	Utérus augmenté de taille, d'aspect hétérogène
4	35	Non ménopausée	Ménométrorragie+ algie pelvienne	Polype accouché par le col + masse pelvienne	Utérus d'aspect hétérogène
5	69	Ménopausée	Métrorragie + masse pelvienne	Gros utérus	--

Tableau 2: Diagnostic et traitement

Cas n°	Moyen diagnostic	Chirurgie	Radiothérapie	Chimiothérapie	Stade FIGO
1	CBE	CHL	RTE pelvis Curiethérapie vaginale	-	I
2	CBE	CHL	RTE pelvis	-	I
3	Pièce opératoire	HT + AB	-	-	I
4	Biopsie d'un polype	-	-	-	I
5	CBE	-	-	+	IV

CBE : curetage biopsique de l'endomètre, CHL : colpohystérectomie avec lymphadénectomie, HT+AB : hystérectomie totale avec annexectomie bilatérale, RT : radiothérapie, CT : chimiothérapie RTE : radiothérapie externe.

Tableau 3: Aspects anatomopathologiques des cas opérés et leur évolution

Cas n°	Taille (mm)	Nombre mitoses	Envahissement myomètre	Atypie cellulaire	Emboles vasculaire	Evolution
1	25	> 10	< 50 %	sévère	0	RLR
2	80	< 10	< 50 %	modère	0	RC
3	120	> 10	< 50 %	sévère	0	M

RC : rémission complète, RLR : récurrence locorégionale, M : métastase.

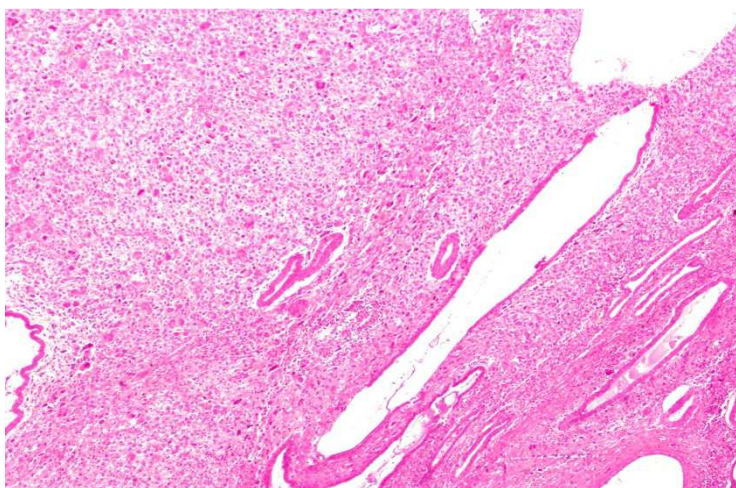


Figure 1: Prolifération mixte épithéliale et mésenchymateuse. Le contingent mésenchymateux montre des atypies cytonucléaires marquées.

4 DISCUSSION

L'adénosarcome utérin représente 8% des sarcome utérin [5,6]. Clement et Scully [7] ont fait une revue de la littérature mondiale et n'ont retrouvé qu'une centaine de cas décrits de façon exploitable. Il s'agit d'un cancer de la période post-ménopausique, avec une moyenne d'âge de 58 ans [8], l'âge moyen de nos patientes était de 54 ans et on décrit un cas chez une jeune patiente de 35 ans.

Le caractère sporadique de cette tumeur fait que les facteurs de risque demeurent inconnus, cependant deux facteurs de risque ont été décrits et discutés : l'irradiation pelvienne d'une part : quelques cas décrits chez des patientes ayant des antécédents d'irradiation pelvienne font évoquer le caractère radio-induit de ce cancer utérin, et d'autre part l'hormonodépendance des cas rapportés après des prises prolongées d'oestrogène [9] ou une exposition prolongée au Tamoxifène [10]. Chez une de nos patientes, on note la notion de traitement hormonal à base de Tamoxifène.

La symptomatologie clinique est très polymorphe, dominée par les métrorragies (71 % des cas) [8] comme dans notre étude. Parfois des algies pelviennes, une gêne vaginale, un prolapsus d'apparition récente ou une infertilité [5] peuvent amener la patiente à consulter.

L'examen physique retrouve le plus souvent une masse pelvienne (37%), un utérus augmenté de volume (22%), et à l'examen au spéculum, la tumeur se présente sous forme d'un polype cervical ou endométrial (22%) avec lequel elle est souvent confondue [7,8] comme ce le fut pour trois de nos patientes.

Le curetage biopsique et la biopsie d'un polype accouché par le col, ne sont pas toujours suffisants pour poser le diagnostic, ce n'est qu'après hystérectomie que l'examen anatomo-pathologique permet le diagnostic positif qui met en évidence les deux contingents mésenchymateux malin et épithélial bénin. Macroscopiquement, l'adénosarcome utérin se présente comme une énorme formation polypeuse, grisâtre ou jaunâtre ; à point de départ généralement endométrial (87 % des cas), parfois cervical (9 % des cas) ; des localisations multicentriques ou extra-utérines sont exceptionnelles [5].

La tumeur peut avoir un développement intra-cavitaire, intra-luminal ou accouchée par le col. À la coupe, le müllérome présente des zones nécrotiques et de nombreuses formations kystiques à contenu mucoïde [5,7].

Microscopiquement, cette tumeur est composée par l'association d'un épithélium glandulaire normal et d'un stroma conjonctif sarcomateux. En ce qui concerne l'examen en microscopie électronique, certains auteurs ont conclu que quelques cellules conjonctives, dans les adénosarcomes utérins, ressemblent à des cellules mésenchymateuses immatures et peuvent conserver la capacité de se transformer en cellules épithéliales ou en cellules sarcomateuses [5].

Le diagnostic histologique n'est porté de façon exacte que dans 25 % des cas [1,7]. De nombreux diagnostics différentiels peuvent être discutés, d'une part les tumeurs malignes mixtes müllériennes où les deux composantes sont malignes : les carcinosarcomes et les mülléroblastomes de pronostic défavorable [11,12] ; d'autre part, l'adénofibrome papillaire caractérisé par une prolifération bénigne aussi bien de la composante épithéliale que conjonctive.

La chirurgie est le traitement de base, elle consiste en une hystérectomie totale avec annexectomie bilatérale [2, 7, 12], suffisante surtout si la tumeur est localisée à l'utérus, permettant une survie à 5 ans près de 50%, par contre la lymphadénectomie pelvienne reste controversée. L'adénosarcome utérin a un faible degré de malignité selon la majorité des auteurs [13], car souvent il s'agit d'une tumeur à développement essentiellement local, intra-cavitaire, l'envahissement du myomètre est rare [14]. Selon la littérature l'envahissement du myomètre, la prolifération élargie de la tumeur, et l'atteinte ganglionnaire expose à des récidives locorégionale, et à des métastases péritonéales et pulmonaires, qui apparaissent dans les 5 ans chez 30% des cas [15]. Une de nos patientes opérées présentait une récidive locorégionale à 22 mois et la deuxième avait une métastase ganglionnaire à 14 mois. Ces deux patientes avaient un adénosarcome avec un index mitotique élevé et une atypie cellulaire sévère. Dans les formes évoluées et agressives (présence de facteur de mauvais pronostic, comme la prolifération extra utérin, l'invasion myométriale profonde , l'index mitotique élevé et la présence de nécrose et/ou d'embolie vasculaire), une radiothérapie semble permettre une réduction des récidives locales sans amélioration de la survie [16], associée ou non à une chimiothérapie qui consiste à l'utilisation de la doxorubicine ou association du cisplatine, ifosfamide et mesna; reste encore discutées ,vu la pauvreté des études.

5 CONCLUSION

L'adénosarcome utérin est une tumeur extrêmement rare, elle représente 8 % des sarcomes de l'utérus, dont la prise en charge diagnostique et thérapeutique est multidisciplinaire. C'est une tumeur intéressant surtout les patientes ménopausées, avec une symptomatologie largement dominée par les métrorragies. Histologiquement cette tumeur est caractérisée par la prolifération d'une composante mésenchymateuse maligne et une composante épithéliale bénigne. Son pronostic reste relativement favorable surtout dans les formes localisées, où la chirurgie (Une hystérectomie totale avec annexectomie bilatérale) seule semble être suffisante, par contre pour les formes évoluées, la prise en charge reste encore controversée, où la radiothérapie et la chimiothérapie garde leur place.

REFERENCES

- [1] Clément PB, Scully RE. Mullerian adenosarcoma of the uterus. A clinicopathologic analysis of ten cases of a distinctive type of mullerian mixed tumor. *Cancer* 1974;34: 1138-1149.
- [2] Pautier P. Sarcomes utérins .*Oncologie* 2007;9:137-143.
- [3] Archaya S, Hensley ML, Montag A. Rare uterine cancers. *Lancet* 2005;6:961–971.
- [4] Leung F, Terzibachian JJ, Aouar Z, et al .Sarcomes utérins : aspects cliniques et histopathologiques: à propos de 15 cas. *Gynecol Obstet Fertil.* 2008, 36 :628-635.
- [5] Fatnassi R, Amri. L'adénosarcome utérin: à propos d'un cas. *J Gynecol Obstet Biol Reprod.* 2005, 34:270-272.
- [6] Piura B, Rabinovich A, Meirovitz M, Yanai-Inbar I. Mullerian adenosarcoma of the uterus: case report and review of literature. *Eur J Gynaecol Oncol.* 2000;21: 387-390.
- [7] Clement PB, Scully RE. Mullerian adenosarcoma of the uterus: a clinicopathologic analysis of 100 cases with a review of the literature. *Hum Pathol* 1990; 21: 363-81.
- [8] H Farhat M., Hobeika E.M., Moumneh G., Nassar A.H. Uterine mullerian adenosarcoma with sarcomatous overgrowth fatal recurrence within two weeks of diagnosis: a case report. *Journal of Medical Case Reports* 2007;1:103.
- [9] Tjalma WA, Michener CM. Mullerian adenosarcoma of the uterus associated with long-term oral contraceptive use. *Eur J Obstet Gynecol. Reprod. Biol.* 2005, 119:253-254.
- [10] Wysowski DK, Honig SF, Beitz J. Uterine sarcoma associated with tamoxifen use. *N Engl J Med* 2002, 346:1832-1833.
- [11] Kabwa L, Mattei JP, Eloit S, Ramadane A, Grange B. Un cas d'adénosarcome utérin et vaginal dans un contexte de prolapsus génital remanié. *J Chir* 1997; 134: 80-5.
- [12] Bernard JL, Leon B. Tumeurs rares de l'utérus. *Gynécologie.* Ed Pradel, 1993, p. 433-436.
- [13] Bobin JY and al. L'adénosarcome utérin : revue de la littérature à propos d'un cas. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 1993;22: 245-248.
- [14] Del Carmen MG, Lovett D, Goodman A. A case of mullerian adenosarcoma of the uterus treated with liposomal doxorubicin. *Gynecol Oncol* 2003; 88: 456-8.
- [15] Tinar S and al. Adenosarcoma of the uterus: a case report. *Med Gen Med.* 2004;12;6:51.
- [16] Reed NS, Mangioni C, Malmstrom H. First results of a randomised trial comparing radiotherapy versus observation post operatively in patients with uterine sarcomas. An EORTC-GCG study. *Int J Gynecol Cancer* 2003, 13:4.

Rôle de la Calcium-ATPase de la Membrane Plasmique dans l'Homéostasie Calcique dans les îlots Pancréatiques de Rat

[The Role of Plasma Membrane Calcium-ATPase on Calcium Homeostasis in Pancreatic Islets of Rat]

Adama KAMAGATE

Laboratoire de Physiologie animale, de Pharmacologie et de Phytothérapie, UFR SN, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2016 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 regulation of the intracellular calcium concentration ($[Ca^{2+}]_i$) plays an important role in many biological processes. The PMCA allows the expulsion of Ca^{2+} out of the cell with high affinity but low capacity. To better understand its role in the secretion of insulin we studied them in pancreatic β cell.

PMCA has four (4) isoforms whose PMCA1-4 which each comprise three (3) alternative splice sites A, B and C that will generate different splice variants. In purified β cells, in the RINm5F cells and in rat pancreatic islet cells, we identified the rPMCA1xb, rPMCA2yb, rPMCA2wb, rPMCA3za, rPMCA3zc and rPMCA4xb. Two additional isoforms have been found in the islet cells, so in non β cells of the islets of Langerhans, it is the rPMCA1xkb and rPMCA4za.

Whereas isoforms 1 and 4 are expressed in most tissues, isoforms 2 and 3 are expressed within specialized tissues. The presence of these specialized isoforms in islets indicates that the regulation of calcium homeostasis in these cells is specific and requires specialized ATPases. The β cell is equipped with a variety of PMCA regulated differently, which gives the PMCA different possibility of regulation of calcium homeostasis.

KEYWORDS: Diabetes, Insulin, PMCA, Calcium, β cell.

RESUME: La Régulation de la concentration de calcium intracellulaire ($[Ca^{2+}]_i$) joue un rôle important dans de nombreux processus biologiques. La PMCA permet l'expulsion du Ca^{2+} hors de la cellule avec une grande affinité mais une faible capacité. Pour mieux comprendre son rôle dans la sécrétion d'insuline nous l'avons étudié dans la cellule β des îlots de Langerhans.

La PMCA a quatre (4) isoformes dont les PMCA1-4 qui comportent chacune trois (3) sites d'épissage alternatif A, B et C qui vont générer différents variants d'épissage. Dans les cellules β purifiées, dans les cellules RINm5F et dans les îlots Pancréatiques de rat, nous avons identifié la rPMCA1xb, rPMCA2yb, rPMCA2wb, rPMCA3za, rPMCA3zc et la rPMCA4xb. Deux isoformes supplémentaires ont été trouvées dans les cellules d'îlots, donc dans les cellules non β des îlots de Langerhans, il s'agit de la rPMCA1xkb et de la rPMCA4za.

Alors que les isoformes 1 et 4 sont exprimées dans la plupart des tissus, les isoformes 2 et 3 sont exprimées dans des tissus spécialisés. La présence de ces isoformes spécialisées dans les îlots indique que la régulation de l'homéostasie calcique dans ces cellules est particulière et requiert des ATPases spécialisées. La cellule β est donc équipée d'une variété de PMCA régulées différemment, ce qui donne à la PMCA différentes possibilités de régulation de l'homéostasie calcique.

MOTS-CLEFS: Diabète; Insuline; PMCA; Calcium; cellules β .

1 INTRODUCTION

L'ion calcium (Ca^{2+}) agit comme un second messenger intracellulaire ubiquiste dans le fonctionnement de la cellule eucaryote. Les changements de la concentration de calcium intracellulaire ($[\text{Ca}^{2+}]_i$) sont sous contrôle spatio-temporel très rigoureux. L'homéostasie calcique vise à maintenir la $[\text{Ca}^{2+}]_i$ à l'état basal, qui se situe aux alentours de 100 nM dans la plupart des cellules. Le Ca^{2+} extracellulaire entrant lors d'une dépolarisation membranaire entraîne une augmentation de la quantité totale de Ca^{2+} dans la cellule. Si cette quantité totale n'était pas contrôlée, l'entrée de Ca^{2+} entraînerait à la longue une surcharge de l'ion divalent dans la cellule. Par ailleurs, le maintien d'une concentration calcique élevée dans le cytoplasme pendant un temps prolongé est cytotoxique et est à la base de la mort cellulaire induite par de nombreux agents tant chimiques que physiques [1]. Donc, le maintien de l'homéostasie calcique nécessite la présence de systèmes d'expulsion du Ca^{2+} pour compenser l'influx de Ca^{2+} extracellulaire. Deux systèmes localisés dans la membrane plasmique sont responsables de l'expulsion du Ca^{2+} hors de la cellule: la Ca^{2+} -ATPase de la membrane plasmique (PMCA) et l'échange Na/Ca [2-4]. Alors que la Ca^{2+} -ATPase est un système à haute affinité mais à faible capacité pour le Ca^{2+} , l'échange Na/Ca est un système de faible affinité mais à grande capacité pour l'ion divalent [5].

Etant donnée leur grande affinité pour le calcium ($K_{1/2}(\text{Ca}^{2+}) \sim 0.2-0.5 \mu\text{M}$), les PMCA jouent un rôle important dans le maintien de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$ autour de la concentration basale dans la cellule au repos [6]. Une implication de la PMCA dans la régulation de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$ est suggérée par la multitude de ses isoformes et variants d'épissage, permettant différentes possibilités de transport et de régulation.

2 CARACTERISTIQUES MOLECULAIRES DE LA PROTEINE

2.1 CLONAGE ET LOCALISATION CHROMOSOMIQUE DE LA PROTEINE

Les études menées sur des cellules de mammifères ont permis d'identifier quatre isoformes différentes de la PMCA, appelées PMCA 1, 2, 3 et 4. Les ADNc entiers codant pour ces différentes isoformes ont été identifiés chez le rat [7-9] et chez l'homme [10-13]. Les 4 gènes sont localisés dans les loci chromosomiques 12q21-q23 pour la PMCA1, 3p25-p26 pour la PMCA2, Xq28 pour la PMCA3 et 1q25-q32 pour la PMCA4 [11; 14-16].

2.2 L'OPTION D'ÉPISSAGE ALTERNATIF

Une diversité additionnelle au sein des 4 PMCA est générée par un épissage alternatif des transcrits primaires. L'existence de l'épissage alternatif dans les transcrits de la PMCA a été suggérée pour la première fois par [7] et démontrée pour la première fois dans la PMCA1 humaine (hPMCA1) par [17]. L'épissage alternatif implique 3 sites appelés A, B et C [13; 18] et plus de 30 variants d'épissage se sont avérées possibles. La Figure 1 présente un résumé des variants d'épissage alternatif identifiés aux sites A, B et C.

2.2.1 L'ÉPISSAGE ALTERNATIF AU SITE A

Le site d'épissage alternatif A est situé en amont du domaine de fixation de phospholipides acides [19]. Ceci pourrait suggérer que l'épissage alternatif au site A joue un rôle dans la régulation par les phospholipides acides. Les options d'épissage alternatif au site A (Figure 5) ont été caractérisées dans les 4 isoformes de la PMCA aussi bien chez l'homme que chez le rat [9; 20-22]. L'épissage implique un exon de 36-42 nucléotides (nt) présent dans tous les gènes de la PMCA et codant pour une petite séquence localisée sur la deuxième boucle intracellulaire de la protéine. Cet exon peut être inséré ou excisé de l'ARNm des gènes PMCA, à l'exception de la PMCA1. Dans le cas de la PMCA1, il existe un exon de 39 nt qui n'est pas épissé et qui est donc présent dans tous les transcrits, générant le variant d'épissage 'x'. Dans le cas de la PMCA2, il existe 3 exons de 33, 60 et 42 nt qui peuvent être épissés pour donner les variants d'épissage 'w' (les 3 exons sont inclus), 'z' (les 3 exons sont exclus), 'x' (seul l'exon de 42 nt est inclus) et 'y' (les exons de 33 et 60 nt sont inclus). Chez l'homme, seules les variants d'épissage 'w', 'x' et 'z' sont présents, alors que chez le rat, un variant d'épissage 'y' additionnel est détecté [23]. Dans le cas des PMCA 3 et 4, un seul exon de 42 et 36 nt, respectivement, peut être inclus pour donner le variant d'épissage 'x', ou exclu pour donner le variant d'épissage 'z'.

2.2.2 L'ÉPISSAGE ALTERNATIF AU SITE B

L'isolement de l'ADNc de la PMCA4 humaine présentant la délétion d'un exon de 108 nt dans la région codant pour l'extrémité COOH-terminale a permis à Strehler *et al.* [18; 24] de suggérer qu'un épissage alternatif puisse se produire

également au site B. Cette hypothèse a été confirmée par la découverte chez l'homme de l'épissage alternatif de l'exon de 108 nt de la PMCA1 [25]. Différents ADNc et produits PCR correspondant à l'épissage alternatif des transcrits PMCA1 et PMCA4 humains (hPMCA1 et 4) au site B ont été isolés. Cependant, ils représentent une infime partie de l'ARNm total et ont été trouvés uniquement dans l'intestin et le foie [26; 27]. Les différents échecs liés à l'identification positive de variants d'épissage, suivis des faibles quantités trouvées dans le cas où ils ont été détectés, suggèrent que les ARNm présentant une délétion de l'exon de 108 nt résultent d'une erreur dans la machinerie d'épissage [28-30].

Ces données appliquées au modèle à 10 domaines transmembranaires de la PMCA amènent à la conclusion que l'épissage alternatif au site B altère la topologie de la PMCA avec comme conséquence la bascule de la région COOH-terminale de l'espace intracellulaire à l'espace extracellulaire. La surexpression de la hPMCA4 présentant une délétion de l'exon au site B dans les cellules Sf9 d'insectes a montré que la protéine n'était pas active. Lors de sa surexpression dans les cellules COS, elle était retenue dans le réticulum endoplasmique tout en exposant sa région COOH-terminale dans le cytoplasme, ce qui suggère qu'un certain nombre de régions transmembranaires avaient été éliminées [31]. Considérant ces différentes données, un doute demeure quant à la signification physiologique de l'épissage alternatif au site B.

2.2.3 L'ÉPISSAGE ALTERNATIF AU SITE C

Le site d'épissage alternatif C est situé sur la boucle cytoplasmique COOH-terminale et dans le domaine de régulation de la CaM. L'épissage alternatif au site C (Figure 6) affecte l'affinité de la pompe pour la calmoduline ainsi que l'activité d'autoinhibition exercée par le domaine de fixation de la CaM [32]. L'épissage se produit dans les quatre isoformes de la PMCA, avec différents degrés de complexité. Au site C, les ARNm provenant du gène de la PMCA1 présentent 5 variants d'épissage connus (a, b, c, d, e). Cet épissage conduit à l'insertion ou à l'exclusion d'un exon de 154 nt contenant 3 sites internes donneurs d'épissage à partir desquels les inserts correspondant à 87, 114 ou 152 nt sont obtenus [17; 29; 30]. L'épissage alternatif au site C de la PMCA2 est caractérisé par 2 exons (172 et 55 nt). L'exon de 172 nt ou les 2 exons peuvent être inclus pour donner les variants d'épissage '2c' ou '2a', respectivement [29; 30]. La PMCA3 contient 2 exons, un exon de 68 nt (exon 22 dans le gène du rat) suivi d'un autre exon de 154 nt (exon 23 dans le gène du rat) qui peuvent être inclus ou excisés. L'exon de 154 nt contient des sites multiples internes donneurs d'épissage et est analogue à l'exon de 154 nt de la PMCA1. Le variant d'épissage présentant l'exon de 154 nt est appelé '3a'. Pour les variants d'épissage utilisant les sites donneurs d'épissage en position 87 et 114 à l'intérieur de l'exon de 154 nt, on obtient les isoformes '3c' et '3d', respectivement. Le variant '3e' est généré par addition de 88 nt contenant un poly(A) à l'exon de 154 nt, ce qui conduit à une protéine dont la région COOH-terminale est plus courte que celle de la '3a' [20]. L'inclusion de l'exon de 68 nt en amont de l'exon de 154 nt donne le variant '3f'. Dans le cas de la PMCA4, l'épissage alternatif conduit à l'inclusion ou l'exclusion d'un exon de 178 nt chez l'homme (175 nt chez le rat) et génère les isoformes '4a' ou '4b', respectivement [29; 33]. Pour les 4 isoformes de la PMCA, le variant 'b' correspond au cas où il n'y aurait pas d'inclusion d'exons.

2.3 DISTRIBUTION TISSULAIRE DES PMCAS ET DE SES VARIANTS D'ÉPISSAGE

Des études ont montré que l'expression des différentes isoformes de la PMCA était tissu spécifique [8; 21; 29; 33]. Alors que les isoformes 1 et 4 sont exprimées dans la plupart des tissus, les isoformes 2 et 3 sont exprimées de façon plus restreinte chez l'adulte, et ne sont détectées en abondance que dans le cerveau et les muscles striés (cerveau pour la PMCA2 et muscle squelettique pour la PMCA3) (Tableaux 2 et 3). La PMCA2 est également présente dans l'utérus, le foie et les reins. L'expression de la PMCA3 est encore beaucoup plus restreinte, et chez le rat n'est trouvée en abondance que dans le muscle squelettique, alors que chez l'homme, elle n'est présente que durant le développement de l'embryon [8].

3 DISTRIBUTION DES PMCAS DANS LES ÎLOTS DE LANGERHANS

Nous avons utilisé la RT-PCR pour identifier les variants d'épissage de la rPMCA1, rPMCA2, rPMCA3 et rPMCA4 aux sites A, B et C, dans les cellules insulaires en utilisant des amorces spécifiques autour des sites d'épissage. Au site A, les données obtenues indiquent que la PMCA 1x, 2y, 2w, 3z et 4x et 4z sont exprimées dans les cellules d'îlots de Langerhans. Pour les deux sites B et C, les données obtenues indiquent que les PMCA1b, 2b, 3a, 3c et 4b sont exprimées dans les cellules d'îlots de Langerhans, et ne présentent pas d'épissage au site B. Par contre, il existe une PMCA1b avec épissage au site B et une PMCA4a sans épissage au site B exprimées dans les cellules d'îlots de Langerhans.

L'analyse de l'épissage alternatif aux sites A, B, et C permet de conclure que huit variants d'épissage alternatif sont exprimés (rPMCA1xb, 1xkb, 2yb, 2wb, 3za, 3zc, 4xb, 4za) dans les cellules d'îlots pancréatiques de rat. Le variant rPMCA1xkb correspond à un nouveau variant d'épissage de la rPMCA1 manquant l'exon codant pour le 10^{ème} segment transmembranaire, au site d'épissage alternatif B.

Notre étude a montré que cinq sous isoformes de la PMCA sont fortement transcrites, ce sont les rPMCA1xb (15%), rPMCA2wb (22%), rPMCA3za (18%), rPMCA3zc (13%) et rPMCA4xb (23%); et deux sous isoformes sont faiblement transcrites ce sont les rPMCA2yb (4%) et rPMCA4za (5%). Cinq variants d'épissage (rPMCA1xb, 2wb, 3za, 3zc, 4xb) prédominent sur le plan des taux ARNm et protéique, alors qu'un autre variant d'épissage (rPMCA4za) ne prédomine que sur le plan du taux protéique. Notre travail est le premier à démontrer l'expression de quantités substantielles de PMCA2 et PMCA3 au niveau protéique dans un tissu non neuronal.

La cellule β est donc équipée d'un ensemble d'isoformes de la PMCA, avec comme avantage, différentes possibilités de régulations de celles-ci par la $[Ca^{2+}]_i$.

4 RÔLE PHYSIOLOGIQUE DE LA PROTEINE

Pour de nombreuses raisons, déterminer le rôle physiologique de chaque isoforme de la PMCA et des ses variants d'épissage dans les cellules intactes reste une chose extrêmement difficile. Une des raisons est le fait qu'il n'y ait pas d'inhibiteurs pharmacologiques spécifiques des PMCA, ce qui freine notre compréhension de la fonction de ces pompes dans les cellules vivantes ou tissus. Par ailleurs, il a été montré que les PMCA ont une capacité faible de transport des ions Ca^{2+} qui est de l'ordre de 10-50 transloqués/s [34]. Ce taux est considéré comme en dessous de ce qui est nécessaire pour mesurer avec succès l'activité de la pompe par des méthodes standard comme le patch clamp qui a fait ses preuves dans le domaine des canaux ioniques (dans le cas où la PMCA serait électrogène). Compte tenu de la multitude d'isoformes de la PMCA et de ses variants d'épissage, leur étude dans des systèmes *in vivo* reste difficile. Au vu de ces limites technologiques, nos connaissances sur le rôle physiologique spécifique de chaque isoforme de la PMCA et de ses variants d'épissage, dans un type de cellule spécifique et en réponse à un mouvement calcique dynamique reste peu connu. Il est néanmoins possible d'étudier la PMCA en utilisant des inhibiteurs des autres transporteurs calciques, exemple des inhibiteurs de la SERCA ("sarco/endoplasmique reticulum Ca^{2+} -ATPase") dans le RE, du transport de calcium dans la mitochondrie et de l'échange Na/Ca [35-38] ainsi qu'en utilisant des manipulations génétiques de suppression ("knock out") ou de surexpression d'une isoforme spécifique de la PMCA. Grâce à ces méthodes, la contribution des différentes isoformes de la PMCA dans la régulation du Ca^{2+} intracellulaire et le maintien de l'homéostasie calcique commence à être connue [39; 40]. La capture ("uptake") de $^{45}Ca^{2+}$ dans des microvésicules a permis de mesurer l'activité de la protéine et de déterminer la fonction de différentes isoformes de la PMCA et leurs variants d'épissage [41-45]. Cette méthode est donc valide pour déterminer les caractéristiques des différentes isoformes isolément ainsi que leur régulation *in vitro* par la CaM, la phosphorylation et les phospholipides acides. Cependant, ceci ne donne qu'un nombre limité d'informations sur les vraies propriétés physiologiques des différentes isoformes de la PMCA et des ses variants d'épissage dans les systèmes *in vivo*, dans lesquels différents facteurs de régulation endogène interviennent.

La PMCA est une pompe calcique de haute affinité et faible capacité pour le Ca^{2+} . Elle permet l'extrusion du Ca^{2+}_i , avec en contre courant le transport d'ions H^+ dans le cytoplasme [46]. Les ions H^+ peuvent augmenter la séquestration du Ca^{2+} dans le RE en stimulant la SERCA et en diminuant par compétition la fixation du Ca^{2+} aux protéines cytoplasmiques.

Les PMCA1 et PMCA4 sont considérées comme les "housekeepers" parce qu'elles sont présentes dans tous les tissus.

La PMCA2 est exprimée dans des tissus bien spécifiques contrairement aux PMCA1 et 4, suggérant qu'elle puisse servir à une fonction physiologique bien spécialisée. Les souris transgéniques pour la PMCA2 ont permis de montrer que la souris n'ayant pas le gène de la PMCA2 à une croissance plus lente que son hétérozygote et la souris de type sauvage. De plus, ces souris ont une démarche instable et ont des difficultés à maintenir leur équilibre. Le mutant homozygote est sourd et l'hétérozygote a de sérieux problèmes d'audition [13]. Ces données confirment le fait que la PMCA2 s'avère importante pour l'équilibre et l'audition.

La PMCA3 est exprimée dans des tissus bien spécifiques. Le gène de la PMCA3 contient dans sa région 5' non transcrite des séquences extensives de trinuécléotides répétées qui sont impliquées dans plusieurs maladies telles que le Syndrome du X Fragile, la Dystrophie Myotonique, et la Maladie de Huntington. Par ailleurs, la PMCA3 est potentiellement impliquée dans des désordres neuromusculaires héréditaires.

5 DISCUSSION

Dans cette étude, nous avons identifié les isoformes et variants d'épissage de la PMCA aux trois sites A, B et C dans les cellules β purifiées, dans les cellules RINm5F et dans les cellules d'îlots de Langerhans de rat. Les données obtenues suggèrent l'expression de la rPMCA1xb, rPMCA2yb, rPMCA2wb, rPMCA3za, rPMCA3zc et la rPMCA4xb dans les cellules β purifiées, dans les cellules RINm5F et dans les cellules d'îlots pancréatique de rat. Deux isoformes supplémentaires ont été

trouvées dans les cellules d'îlots, donc dans les cellules non β des îlots de Langerhans, il s'agit de la rPMCA1xkb et de la rPMCA4za.

Le site A de la PMCA est situé près du domaine de fixation des phospholipides [19]. Les études menées sur le site A de la PMCA2 ont montré qu'il n'y avait pas de différence fonctionnelle entre les variants d'épissage [41].

Le site C d'épissage alternatif des PMCA se trouve au milieu de la région codant pour le domaine de fixation de la calmoduline [8]. Le domaine de fixation de la calmoduline est composé de 28 acides aminés riches en résidus hydrophobes [47]. En se fixant à cette région, la calmoduline stimule la pompe en augmentant sa vitesse maximale et son affinité pour le Ca^{2+} . Le domaine de fixation de la calmoduline est une région d'autoinhibition de la pompe [47]. Il en résulte que l'insertion d'un exon au site C altère l'affinité de la pompe pour la calmoduline [8]. Ces isoformes pourraient avoir une activité basale élevée servant au transport du Ca^{2+} à $[\text{Ca}^{2+}]_i$, basale faible ou lorsqu'il n'y a plus suffisamment de calmoduline disponible pour activer la pompe [34].

L'expression de ces différentes isoformes est tissu spécifique. Alors que les isoformes 1 et 4 sont exprimées dans la plupart des tissus, les isoformes 2 et 3 sont exprimées dans des tissus spécialisés [17; 20; 29; 33]. Dans la cellule β , les isoformes 1 et 4 sont de type 'b' au niveau du site C, et de type 'x' au niveau du site A. Par contre pour les isoformes 2 et 3, on a les types 'a', 'b', 'c' au niveau du site C, et 'w', 'y', 'z' au niveau du site A.

Au niveau protéique, la PMCA2wb est bien exprimée, ainsi que les deux autres isoformes de la PMCA3. La présence de ces isoformes spécialisées dans les îlots indique que la régulation de l'homéostasie calcique dans ces cellules est particulière et requiert des ATPases spécialisées. La cellule β est donc équipée d'une variété de PMCA régulées différemment dont certaines sont tissus spécifiques. Ceci donne à la PMCA la possibilité de jouer un rôle important dans l'homéostasie calcique et la sécrétion d'insuline.

Tableau 1 : Identification de la taille des différents isozymes de la PMCA

PMCA	Molecular Mass (kDa)
rPMCA1xb	134.20
rPMCA1xkb	130.24
rPMCA2yb	135.19
rPMCA2wb	136.73
rPMCA3za	127.49
rPMCA3zc	135.96
rPMCA4za	127.27
rPMCA4xb	133.65

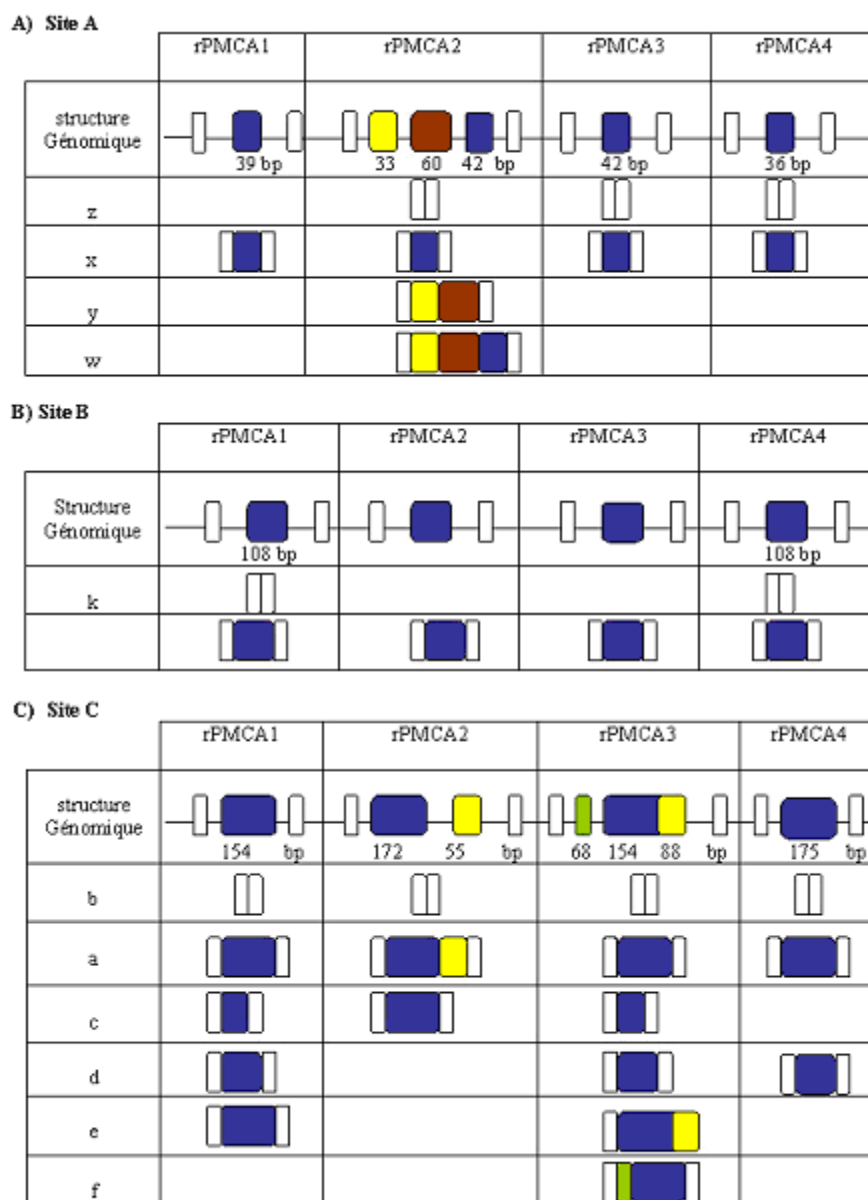


Figure 1 : Résumé de l'épissage alternatif au site A (A), au site B (B) et au site C (C)

L'épissage alternatif aux sites A, B et C est montré pour chacun des 4 gènes de la rPMCA. Les exons qui subissent un épissage alternatif sont présentés en bleu, vert, marron et jaune avec leur taille nucléotidique (nt). Les introns sont représentés par de simples barres. Les variants d'épissage alternatif obtenus sont indiqués par des lettres.

REFERENCES

- [1] B. F. Trump, and I. K. Berezsky, "The role of altered $[Ca^{2+}]_i$ regulation in apoptosis, oncosis, and necrosis", *Biochim. Biophys. Acta.*, vol. 1313, pp. 173-178, 1996.
- [2] E. Carafoli, "Intracellular calcium homeostasis", *Annu. Rev. Biochem.*, Vol. 56, pp. 395-433, 1987.
- [3] R. J. Miller, "The control of neuronal Ca^{2+} homeostasis" *Prog. Neurobiol.*, vol. 37, pp. 255-285, 1991.
- [4] M. P. Blaustein, W. F. Goldman, G. Fontana, B. K. Krueger, E. M. Santiago, T. D. Steele, D. N. Weiss, and P. J. Yarowsky, "Physiological roles of the sodium-calcium exchanger in nerve and muscle", *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 639, pp. 254-274, 1991.
- [5] E. Carafoli, "Membrane transport of calcium: an overview", *Methods Enzymol.*, vol. 157, pp. 3-11, 1988.

- [6] E. Carafoli, "Calcium pump of the plasma membrane", *Physiol. Rev.*, vol. 71, pp. 129-153, 1991.
- [7] G. E. Shull, and J. Greeb, "Molecular cloning of two isoforms of the plasma membrane Ca^{2+} -transporting ATPase from rat brain. Structural and functional domains exhibit similarity to Na^+ , K^+ - and other cation transport ATPases", *J. Biol. Chem.*, vol. 263, pp. 8646-8657, 1988.
- [8] J. Greeb, and G. E. Shull, "Molecular cloning of a third isoform of the calmodulin-sensitive plasma membrane Ca^{2+} -transporting ATPase that is expressed predominantly in brain and skeletal muscle", *J. Biol. Chem.*, vol. 264 pp.18569-18576, 1989.
- [9] T. P. Keeton, and G. E. Shull, "Primary structure of rat plasma membrane Ca^{2+} -ATPase isoform 4 and analysis of alternative splicing patterns at splice site A", *Biochem. J.*, vol. 306, pp. 779-785, 1995.
- [10] R. Kumar, J. D. Haugen, and J. T. Penniston, "Molecular cloning of a plasma membrane calcium pump from human osteoblasts", *J. Bone Miner. Res.* Vol. 8, pp. 505-513, 1993.
- [11] P. Brandt, E. Ibrahim, G. A. Bruns, and R. L. Neve, "Determination of the nucleotide sequence and chromosomal localization of the ATP2B2 gene encoding human Ca^{2+} -pumping ATPase isoform PMCA2", *Genomics*, vol. 14, pp. 484-487, 1992.
- [12] B. J. Brown, H. Hilfiker, S. J. DeMarco, D. A. Zacharias, T. M. Greenwood, D. Guerini, and E. E. Strehler, "Primary structure of human plasma membrane Ca^{2+} -ATPase isoform 3", *Biochim. Biophys. Acta*, vol.1283, pp. 10-13, 1996.
- [13] E. E. Strehler, P. James, R. Fischer, R. Heim, T. Vorherr, A.G. Filoteo, J.T. Penniston, and E. Carafoli, "Peptide sequence analysis and molecular cloning reveal two calcium pump isoforms in the human erythrocyte membrane", *J. Biol. Chem.* Vol. 265, pp. 2835-2842, 1990.
- [14] F. Latif, F. M. Duh, J. Gnarr, K. Tory, I. Kuzmin, M. Yao, T. Stackhouse, W. Modi, L. Geil, and L. Schmidt, "von Hippel-Lindau syndrome: cloning and identification of the plasma membrane Ca^{2+} -transporting ATPase isoform 2 gene that resides in the von Hippel-Lindau gene region", *Cancer Res.*, Vol. 53, pp. 861-867, 1993.
- [15] S. Olson, M. G. Wang, E. Carafoli, E. E. Strehler, and O. W. McBride, "Localization of two genes encoding plasma membrane Ca^{2+} -transporting ATPases to human chromosomes 1q25-32 and 12q21-23", *Genomics*, vol. 9, pp. 629-641, 1991.
- [16] M. G. Wang, H. Yi, H. Hilfiker, E. Carafoli, E. E. Strehler, and O. W. McBride, "Localization of two genes encoding plasma membrane Ca^{2+} ATPases isoforms 2 (ATP2B2) and 3 (ATP2B3) to human chromosomes 3p26-->p25 and Xq28, respectively", *Cytogenet. Cell Genet.*, vol. 67, pp. 41-45, 1994.
- [17] E. E. Strehler, M. A. Strehler-Page, G. Vogel, and E. Carafoli, "mRNAs for plasma membrane calcium pump isoforms differing in their regulatory domain are generated by alternative splicing that involves two internal donor sites in a single exon", *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 86, pp. 6908-6912, 1989.
- [18] E. E. Strehler, "Plasma membrane Ca^{2+} pumps and $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchangers", *Semin. Cell. Biol.*, vol. 1, pp. 283-295, 1990.
- [19] E. Zvaritch, P. James, T. Vorherr, R. Falchetto, N. Modyanov, and E. Carafoli, "Mapping of functional domains in the plasma membrane Ca^{2+} pump using trypsin proteolysis", *Biochemistry*, vol. 29, pp. 8070-8076, 1990.
- [20] S. E. Burk, and G.E. Shull, "Structure of the rat plasma membrane Ca^{2+} -ATPase isoform 3 gene and characterization of alternative splicing and transcription products. Skeletal muscle-specific splicing results in a plasma membrane Ca^{2+} -ATPase with a novel calmodulin-binding domain", *J. Biol. Chem.*, vol. 267, pp. 19683-19690, 1992.
- [21] T. P. Stauffer, H. Hilfiker, E. Carafoli, and E. E. Strehler, "Quantitative analysis of alternative splicing options of human plasma membrane calcium pump genes", *J. Biol. Chem.*, Vol. 268, pp. 25993-26003, 1993.
- [22] D. A. Zacharias, S. J. Dalrymple, and E. E. Strehler, "Transcript distribution of plasma membrane Ca^{2+} pump isoforms and splice variants in the human brain", *Brain Res. Mol. Brain Res.*, pp. 28, pp. 263-272, 1995.
- [23] H. P. Adamo, and J. T. Penniston, "New Ca^{2+} pump isoforms generated by alternative splicing of rPMCA2 mRNA", *Biochem. J.* 283: 355-359, 1992.
- [24] E. E. Strehler, R. Heim, R. Fischer, P. James, T. Vorherr, G. Vogel, M. A. Strehler-Page, and E. Carafoli, "The plasma membrane Ca^{2+} pump : structural, functional and genetic aspects of isoform diversity. In : J. Nunez and J.E. Dumont (Eds), *Hormones and Cell Regulation*, London: Libby Eurotext, pp. 105-110, 1989.
- [25] H. Hilfiker, M. A. Strehler-Page, T.P. Stauffer, E. Carafoli, and E.E. Strehler, "Structure of the gene encoding the human plasma membrane calcium pump isoform 1", *J. Biol. Chem.* 268: 19717-19725, 1993.
- [26] A. Howard, N. F. Barley, S. Legon, and J. R. Walters, "Plasma-membrane calcium-pump isoforms in human and rat liver" *Biochem. J.*, vol. 303, pp. 275-279, 1994.
- [27] A. Howard, S. Legon, and J. R. Walters, "Human and rat intestinal plasma membrane calcium pump isoforms" *Am. J. Physiol.*, vol. 265, pp. G917-G925, 1993.
- [28] A. Kamagate, A. Herchuelz, A. Bollen, and F. Van Eylen, "Expression of multiple plasma membrane Ca^{2+} -ATPases in rat pancreatic islet cells", *Cell Calcium*, vol. 27, pp. 231-246, 2000.
- [29] T. P. Keeton, S. E. Burk, and G. E. Shull, "Alternative splicing of exons encoding the calmodulin-binding domains and C termini of plasma membrane Ca^{2+} -ATPase isoforms 1, 2, 3, and 4", *J. Biol. Chem.*, vol. 268, pp. 2740-2748, 1993.

- [30] T. P. Stauffer, H. Hilfiker, E. Carafoli, and E. E. Strehler, "Quantitative analysis of alternative splicing options of human plasma membrane calcium pump genes" *J. Biol. Chem.*, vol. 268, pp. 25993-26003, 1993.
- [31] B. S. Preiano, D. Guerini, and E. Carafoli, "Expression and functional characterization of isoforms 4 of the plasma membrane calcium pump", *Biochemistry*, vol. 35, pp. 7946-7953, 1996.
- [32] A. Enyedi, A. G. Filoteo, G. Gardos, and J. T. Penniston, "Calmodulin-binding domains from isozymes of the plasma membrane Ca^{2+} pump have different regulatory properties", *J. Biol. Chem.*, vol. 266, pp. 8952-8956, 1991.
- [33] P. Brandt, R. L. Neve, A. Kammesheidt, R. E. Rhoads, and T. C. Vanaman, "Analysis of the tissue-specific distribution of mRNAs encoding the plasma membrane calcium-pumping ATPases and characterization of an alternately spliced form of PMCA4 at the cDNA and genomic levels", *J. Biol. Chem.*, vol. 267, pp. 4376-4385, 1992.
- [34] B. Sarkadi, "Active calcium transport in human red cells", *Biochim. Biophys. Acta* 604: 159-190, 1980.
- [35] D. F. Babcock, and B. Hille, "Mitochondrial oversight of cellular Ca^{2+} signaling", *Curr. Opin. Neurobiol.*, vol. 8, pp. 398-404, 1998.
- [36] J. Herrington, Y. B. Park, D. F. Babcock, and B. Hille, "Dominant role of mitochondria in clearance of large Ca^{2+} loads from rat adrenal chromaffin cells", *Neuron*, vol. 16, pp. 219-228, 1996.
- [37] J. L. Werth, and S. A. Thayer, "Mitochondria buffer physiological calcium loads in cultured rat dorsal root ganglion neurons", *J. Neurosci.*, vol. 14, pp. 348-356, 1994.
- [38] J. L. Werth, Y. M. Usachev, and S. A. Thayer, "Modulation of calcium efflux from cultured rat dorsal root ganglion neurons", *J. Neurosci.*, vol. 16, pp. 1008-1015, 1996.
- [39] P. C. Brandt, J. E. Siskin, R. L. Neve, and T. C. Vanaman, "Blockade of plasma membrane calcium pumping ATPase isoform 1 impairs nerve growth factor-induced neurite extension in pheochromocytoma cells", *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 93, pp. 13843-13848, 1996.
- [40] B. F. Liu, X. Xu, R. Fridman, S. Muallem, and T. H. Kuo, "Consequences of functional expression of the plasma membrane Ca^{2+} pump isoform 1a", *J. Biol. Chem.*, vol. 271, pp. 5536-5544, 1996.
- [41] H. Hilfiker, D. Guerini, and E. Carafoli, "Cloning and expression of isoform 2 of the human plasma membrane Ca^{2+} -ATPase. Functional properties of the enzyme and its splicing products", *J. Biol. Chem.*, vol. 269, pp. 26178-26183, 1994.
- [42] H. P. Adamo, A. K. Verma, M. A. Sanders, R. Heim, J. L. Salisbury, E. D. Wieben, and J. T. Penniston, "Overexpression of the erythrocyte plasma membrane Ca^{2+} pump in COS-1 cells", *Biochem. J.*, vol. 285, pp. 791-797, 1992.
- [43] A. J. Caride, N. L. Elwess, A. K. Verma, A. G. Filoteo, A. Enyedi, Z. Bajzer, and J. T. Penniston, "The rate of activation by calmodulin of isoform 4 of the plasma membrane Ca^{2+} pump is slow and is changed by alternative splicing" *J. Biol. Chem.*, vol. 274, pp. 35227-35232, 1999.
- [44] A. Enyedi, A. K. Verma, R. Heim, H. P. Adamo, A. G. Filoteo, E. E. Strehler, and J. T. Penniston, "The Ca^{2+} affinity of the plasma membrane Ca^{2+} pump is controlled by alternative splicing" *J. Biol. Chem.*, vol. 269, pp. 41-43, 1994.
- [45] R. Heim, T. Iwata, E. Zvaritch, H. P. Adamo, B. Rutishauser, E. E. Strehler, D. Guerini, and E. Carafoli, "Expression, purification, and properties of the plasma membrane Ca^{2+} pump and of its N-terminally truncated 105-kDa fragment", *J. Biol. Chem.*, vol. 267, pp. 24476-24484, 1992.
- [46] L. Hao, J. L. Rigaud, and G. Inesi, " $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^{+}$ countertransport and electrogenicity in proteoliposomes containing erythrocyte plasma membrane Ca-ATPase and exogenous lipids", *J. Biol. Chem.*, vol. 269, pp. 14268-14275, 1994.
- [47] J. T. Penniston, and A. Enyedi, "Plasma Membrane Ca^{2+} Pump: Recent Developments", *Cell Physiol. Biochem.*, vol. 4, pp. 148-159, 1994.
- [48] A. Varadi, E. Molnar, and S. J. Ashcroft, "A unique combination of plasma membrane Ca^{2+} -ATPase isoforms is expressed in islets of Langerhans and pancreatic beta-cell lines", *Biochem. J.*, vol. 314, pp. 663-669, 1996.

Contribution de la Calcium-ATPase de la Membrane Plasmique dans la Sécrétion d'Insuline dans les îlots Pancréatiques de Rat

[Contribution of Plasma Membrane Calcium-ATPase on Insulin Secretion in Rat Pancreatic Islets]

Adama KAMAGATE

Laboratoire de Physiologie animale, de Pharmacologie et de Phytothérapie,
UFR SN, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2016 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 increase in intracellular calcium concentration ($[Ca^{2+}]_i$) represents a major event in the process of insulin secretion. The Plasma Membrane Calcium ATPase (PMCAs) are equipped with a series of isoforms that may be tissue specific. It has been suggested that there might be a difference in activity between the isoforms and that some of them could play a fundamental role in the operation of the β cell. The PMCAs are regulated by calmodulin (CaM), the phospholipid acid, protein kinase, protease, and G protein, and by oligomerisation. CaM activates the pump and this activation effect will be limited by alternative splicing at site C that is their binding domain. Acidic phospholipids are stimulators of PMCA. But, alternative splicing at site A could therefore affect the regulation of PMCA isoforms by phospholipids by altering accessibility of phospholipids to their binding domain. In contrast, the PMCAs are inhibited by lanthanum and vanadate ions, by calmodulin antagonists, N-ethylmaleimide and derivatives of fluorescein. However, the experiments conducted showed that the suppression of the oscillations of $[Ca^{2+}]_i$ is accompanied by an increase in glucose metabolism and insulin secretion but which continues to oscillate at a lower frequency. This allowed to say that the oscillations of $[Ca^{2+}]_i$ are not directly involved in the process of oscillations of insulin secretion but could intervene in its fine regulation.

KEYWORDS: Diabetes; Insulin; Calcium; PMCA; β cell.

RESUME: L'augmentation de la concentration de calcium intracellulaire ($[Ca^{2+}]_i$) représente un événement majeur dans le processus de la sécrétion d'insuline. Les Calcium ATPase de la Membrane Plasmique (PMCA) sont équipées d'une série d'isoformes qui peuvent être tissus spécifiques. Il a été suggéré qu'il pourrait exister une différence d'activité entre les isoformes et que certaines d'entre elles pourraient jouer un rôle fondamental dans le fonctionnement de la cellule β . Les PMCAs sont régulées par la calmoduline (CaM), les phospholipides acides, les protéines kinases, les protéases, les protéines G et par oligomérisation. La CaM active la pompe et cet effet activateur va être limité par l'épissage alternatif au site C qui est leur domaine de fixation. Les phospholipides acides sont des stimulateurs de la PMCA. Mais, l'épissage alternatif au site A pourrait donc affecter la régulation des isoformes de la PMCA par les phospholipides en altérant l'accessibilité des phospholipides à leur domaine de fixation. A l'opposé, les PMCAs sont inhibés par les ions lanthane et vanadate, par les antagonistes de la calmoduline, la N-Ethylmaleimide et Les dérivés de la fluorescéine. Cependant, Les expériences menés ont montré que la suppression des oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ est accompagnée par une augmentation du métabolisme du glucose et de la sécrétion d'insuline qui continue à osciller mais avec une périodicité plus faible. Cela amène à dire que les oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ ne sont pas directement impliquées dans le processus d'oscillations de la sécrétion d'insuline mais pourraient intervenir dans sa régulation fine.

MOTS-CLEFS: Diabète; Insuline; Calcium; PMCA; cellule β .

1 INTRODUCTION

La Calcium ATPase de la Membrane Plasmique (PMCA) fut découverte dans les années 60 dans les érythrocytes humains [1]. Elle appartient à la classe P des ATPases formant un intermédiaire phosphorylé (un aspartyl phosphate) au cours du cycle de la réaction [2]. Le cycle réactionnel (Figure 2) débute par la liaison à haute affinité de 2 ions Ca^{2+} cytoplasmiques qui activent l'enzyme, lui permettant alors d'utiliser l'ATP comme source d'énergie. Un groupement phosphate de l'ATP est transféré au niveau de l'unité catalytique de l'enzyme générant la formation d'un intermédiaire phosphorylé. La phosphorylation de l'enzyme provoque un changement de conformation de la protéine et diminue son affinité pour le Ca^{2+} . Ceci entraîne la libération des cations dans le milieu extracellulaire. La phosphoenzyme subit ensuite un clivage hydrolytique et relargue le phosphate inorganique avant d'entrer dans un autre cycle. A l'état non stimulé, la PMCA a une faible affinité pour le Ca^{2+} ($K_m > 10 \mu\text{M}$). Par contre lorsqu'elle est stimulée par la calmoduline (CaM) ou les phospholipides acides, l'affinité augmente et le K_m chute de 10-50 μM à environ 0.2-0.5 μM [3].

2 REGULATION DE LA SECRETION D'INSULINE PAR LE CALCIUM

Le calcium (Ca^{2+}) joue un rôle de second messenger intracellulaire important dans de nombreux processus physiologiques dont la sécrétion d'insuline (**Figure 1**). Lors de la stimulation de la cellule β pancréatique par le glucose, l'augmentation de la concentration de calcium intracellulaire ($[\text{Ca}^{2+}]_i$) représente un événement majeur dans le processus de la sécrétion d'insuline [4-7]. Selon le schéma le plus communément admis, le métabolisme du glucose par la cellule β provoque une augmentation du taux d'ATP ou du rapport ATP/ADP qui entraîne la fermeture des canaux potassiques ATP-dépendants (K_{ATP}). Ceci engendre une dépolarisation membranaire suivie d'une ouverture des canaux calciques sensibles au potentiel de membrane et un influx de Ca^{2+} dans la cellule. L'augmentation résultante de la concentration de Ca^{2+} cytosolique ($[\text{Ca}^{2+}]_i$) déclenche la translocation des granules d'insuline et l'exocytose [8].

Le concept selon lequel le Ca^{2+}_i sert de messenger secondaire dans la sécrétion d'insuline est largement accepté. Par ailleurs, depuis 1992, trois études indépendantes ont montré que la fermeture des canaux K_{ATP} de la membrane des cellules β ne constitue pas le seul mécanisme déclenchant la sécrétion d'insuline en réponse au glucose [9-11]. Une autre voie a été mise en évidence permettant la sécrétion d'insuline en réponse à une augmentation du métabolisme du glucose qui est appelée "voie indépendante des canaux K_{ATP} " ou voie amplifiante. Selon cette dernière, une augmentation du rapport ATP/ADP est capable de stimuler la sécrétion d'insuline même lorsque les canaux ATP-dépendants sont fermés ou inactivés et ce pour autant que la $[\text{Ca}^{2+}]_i$ soit élevée au-dessus de la normale.

3 REGULATION DE L'EXOCYTOSE DES GRANULES D'INSULINE

Il a été établi que l'augmentation de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$ déclenche la translocation des granules d'insuline et l'exocytose [8]. La cellule β contient des milliers de granules sécrétoires. L'analyse de la cinétique de l'exocytose dans une variété de cellules endocrines et de neurones a permis de proposer que les granules existent sous la forme de différents pools fonctionnels. En effet, en réponse à une élévation de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$, seulement 5% des granules existent sous une forme compétente pour la sécrétion, et sont capables de subir exocytose. Ce groupe de granules est appelé RRP ("Readily Releasable Pool") [12]. On croit qu'un sous groupe de granules RRP est situé aux alentours immédiats des canaux calciques voltage-dépendants, et sont ainsi rapidement exposés à un taux exocytotique de Ca^{2+} suite à l'ouverture des canaux calciques. Ce sous groupe est appelé IRP ("Immediately Releasable Pool"). Les granules RRP et IRP sont connectées à la membrane plasmique via un complexe trans-SNARE ("soluble N-ethylmaleimide-sensitive fusion protein (NSF)-attachment protein (SNAP) receptor"). Pour le reste, la plus grande partie des granules de la cellule β (95%), existe donc sous forme d'un "pool de réserve" non sécrétable, et devant subir une série de réactions dépendantes de l'ATP, du Ca^{2+} et de la température pour devenir compétent pour la sécrétion [13]. Ces réactions sont collectivement appelées amorçage. La capacité des cellules à maintenir une réponse exocytotique à long terme dépend d'un réapprovisionnement continu en granules RRP par la mobilisation des granules du "pool de réserve", phénomène amorcé par l'ATP. Il a été proposé que la capture du Cl^- par les granules soit impliquée dans l'amorçage des granules sécrétoires pour l'exocytose [14]. Ceci suggère que cet amorçage dépend de l'acidification intragranulaire dans les cellules β . Cette dernière dépend quant à elle de l'activité simultanée de la H^+ -ATPase de type V et de canaux Cl^- CIC-3 de la membrane du granule. Selon ce scénario, le Ca^{2+} et l'ATP accroissent la capture du Cl^- par les granules, facilitent le pompage de H^+ et donc amorçage du granule. A l'inverse, l'ADP en inhibant le canal CIC-3, empêche l'acidification et l'amorçage des granules [12]. Donc l'acidification accroît la compétence sécrétoire des granules, et un pH bas pourrait promouvoir l'exocytose en induisant un changement conformationnel des protéines SNARE rendant ainsi les granules plus fusogéniques [15].

4 REGULATION DES ACTIVITES DES PMCAS

Les PMCA sont régulées par la CaM, les phospholipides acides, les protéines kinases, les protéases, les protéines G et par oligomérisation.

4.1 LA CALMODULINE

La CaM se fixe à une région du domaine COOH-terminal des PMCA située environ 40 résidus en aval du dernier domaine transmembranaire, et active la pompe par une augmentation de la V_{max} et de l'affinité pour le Ca^{2+} [16]. En absence de CaM (Figure 7), cette séquence constituée de 28 acides aminés agit comme un domaine "autoinhibiteur" en se fixant à 2 sites de la pompe, l'un localisé sur la deuxième boucle cytoplasmique (résidus 206-271, érythrocyte humain) et l'autre localisé sur la troisième (résidus 537-544, érythrocyte humain) [17-19]. En absence de CaM, le domaine autoinhibiteur COOH-terminal empêche le turnover catalytique, en maintenant la pompe dans un état inactif. Une augmentation du Ca^{2+}_i accroît l'affinité de la CaM pour son site de liaison, s'y fixe, et ce faisant supprime l'effet autoinhibiteur et stimule l'activité de la pompe à son potentiel maximum (Figure 8). La structure cristallographique de l'enzyme (protéine kinase I Ca^{2+} -CaM dépendante) dans son état autoinhibé a permis de montrer qu'en l'absence de CaM, le domaine COOH-terminal interagit avec différents sites du domaine catalytique, empêchant l'accès au substrat et la fixation de l'ATP [20]. Par ailleurs, l'épissage alternatif affecte l'affinité des PMCA pour le Ca^{2+} et la CaM, aussi bien que la V_{max} de la protéine active [21-24]. L'épissage alternatif au site C de la PMCA pourrait donc affecter la régulation et les propriétés d'interaction protéique des différents variants d'épissage avec la CaM. Il a été montré que le site C se trouve au milieu de la séquence d'acides aminés correspondant au domaine de fixation de la CaM et que la région juste en amont du site C est conservée dans les quatre isoformes de la PMCA [25;26]. L'insertion d'un exon au site C entraîne un changement de la phase ouverte de lecture de l'ADN codant pour l'extrémité COOH-terminale et a pour conséquence une réduction de l'affinité de la pompe pour la CaM [22;24]. L'activité basale est plus élevée dans le variant d'épissage 'a' que dans le 'b' [22;23;27]. Par ailleurs, l'isoforme PMCA2b possède une affinité pour la CaM qui est 5-10 fois plus élevée que celle de l'isoforme PMCA4b, ceci étant dû à des différences au sein des 10 derniers acides aminés du domaine de fixation de la CaM [23;28]. Les variants d'épissage a et b de la PMCA2 restent actifs à des concentrations de CaM très basses, de l'ordre du nanomolaire, et sont capables d'expulser le Ca^{2+} quand la $[Ca^{2+}]_i$ est inférieure à 100 nM [21;23]. Ceci a conduit à la spéculation selon laquelle la PMCA2 pourrait être constitutivement exprimée et activée dans le cerveau, où elle est la plus abondante car la concentration cytosolique en CaM dans le cerveau peut être supérieure à 50 μ M [29].

4.2 LES PHOSPHOLIPIDES ACIDES

Les phospholipides acides, et en particuliers les polyphosphoinositides, sont de puissants stimulateurs de la PMCA [30-32]. Ils réduisent la constante de Michaelis de l'enzyme pour le Ca^{2+} à environ 0.3 μ M comparée à celle de la CaM (0.4-0.7 μ M). L'activation par les phospholipides acides rend donc les PMCA insensibles à l'activation par la CaM [16;33]. Le mécanisme par lequel les différents phospholipides acides activent les PMCA n'est pas encore connu. L'épissage alternatif au site A affecte la première boucle cytoplasmique dans la région située entre la séquence de fixation des phospholipides et la séquence impliquée dans l'interaction d'autoinhibition. L'épissage alternatif au site A pourrait donc affecter la régulation des isoformes de la PMCA par les phospholipides en altérant l'accessibilité des phospholipides à leur domaine de fixation. Les variants d'épissage ont montré différents niveaux d'autoinhibition liés à des différences structurales au site A générées par une insertion de séquences variables.

4.3 LES PROTÉINES KINASES

Il a été montré que la région COOH-terminale des PMCA était la cible de phosphorylation de la protéine par les protéines kinases A et C [21;33-36].

LA PROTÉINE KINASE A (PKA)

La protéine kinase A phosphoryle une sérine située entre le COOH-terminal et le site de fixation de la CaM, conduisant à une augmentation de l'activité de la pompe [37]. Il a été montré que la PKA phosphoryle la ser-1178 de la hPMCA1b dans la séquence consensus KRNS [37]. Une séquence comparable (KQNS) a été trouvée uniquement dans la PMCA2b, suggérant que la phosphorylation par la PKA est réservée à un certain sous-groupe de PMCA.

4.3.1 LA PROTÉINE KINASE C (PKC)

En général la stimulation par la PKC conduit à une augmentation de l'expulsion du Ca^{2+} par la PMCA. Il en résulte une augmentation de la vitesse maximale (V_{max}) de la pompe mais pas de l'affinité pour le calcium (K_m) [38]. La PKC phosphoryle la thr-1102 située sur le site de fixation de la CaM [39]. La phosphorylation par la PKC stimule partiellement la PMCA en réduisant l'autoinhibition du site de fixation de la CaM. Cependant, l'effet de la PKC et de la CaM s'additionnent pour lever l'autoinhibition et activer totalement la pompe [40]. La PKC peut également phosphoryler un résidu serine près de l'extrémité COOH-terminale [39]. Par contre, la phosphorylation par la PKC diminue lorsque la concentration de CaM augmente [39]. Les différentes isoformes et variants d'épissage de la PMCA sont régulés de façon différente par la PKC. Tandis que les PMCA2a, 3a, 4a, et 4b sont facilement phosphorylées par la PKC, les PMCA2b, 3b sont de mauvais substrats pour cette kinase [41].

4.4 LES PROTÉASES

Les PMCA peuvent être clivées par la calpaïne au niveau de plusieurs sites dans la protéine [33;34]. Un clivage de la seconde unité cytoplasmique de la PMCA permet à la protéine d'être active de façon permanente [42]. Le clivage de la protéine pourrait intervenir comme dernière ligne de défense de la cellule en cas d'apoptose induite par une augmentation excessive de Ca^{2+} qui active la calpaïne.

4.5 LA PROTÉINE G

La séquence située immédiatement en aval du site A présente beaucoup de similarités avec un motif consensus du site de fixation de la sous-unité $\beta\gamma$ de la protéine G trouvé dans une variété de canaux et de récepteurs membranaires [43]. Ceci suggère que les PMCA pourraient être régulées par les sous-unités α et $\beta\gamma$ de la protéine G hétéromère [44-46]. L'épissage alternatif au site A pourrait donc avoir des conséquences importantes sur l'interaction protéine G-PMCA.

4.6 L'OLIGOMÉRIISATION

Il a été montré que la Ca^{2+} -ATPase de la membrane plasmique, purifiée à partir des érythrocytes humains, peut subir une activation par oligomérisation. Cette oligomérisation est réversible, dépend de la concentration de l'enzyme, et aussi du Ca^{2+} . La concentration de l'enzyme et du Ca^{2+} affectent les proportions entre monomères et oligomères. On obtient un niveau maximal d'oligomérisation à une concentration de l'enzyme de l'ordre de 30 à 40 nM [47;48]. Le Ca^{2+} est absolument nécessaire pour l'activation de la PMCA soit par la CaM, soit par oligomérisation. La CaM active les monomères mais pas les oligomères, et aux concentrations faibles de l'enzyme, la disponibilité illimitée de CaM pourrait réduire sévèrement l'activation par oligomérisation [49]. L'activation de la PMCA par interaction des monomères avec la CaM ou par oligomérisation de l'enzyme peut se produire à des concentrations de Ca^{2+} physiologiquement appropriées ($K_{\text{Ca}^{2+}} \approx 50$ nM) [48;49]. L'oligomérisation se produit à des concentrations de Ca^{2+} plus faibles ($K_{\text{Ca}} = \text{pCa } 7.15$) que celles assurant l'activation de la calmoduline ($K_{\text{Ca}} = \text{pCa } 6.6$), et la différence peut-être physiologiquement importante, sachant que l'oligomérisation peut se produire *in vivo* [48]. Par ailleurs, d'autres études supportent l'idée selon laquelle la PMCA existe en fait sous forme de dimère *in vivo* [50;51]. L'activation de la PMCA par la calmoduline ou par oligomérisation dépend des conditions environnementales, parmi lesquelles la $[\text{Ca}^{2+}]_i$, la disponibilité de la CaM, les protéases, les phospholipides ou la phosphorylation [32;52;53]. Cependant, une étude récente a permis de montrer que la forme activée de l'enzyme, indépendamment de la CaM, est un dimère, alors que la forme activée par la calmoduline est un complexe monomère-CaM [54]. Par ailleurs, l'activation de l'enzyme par dimérisation est un processus dépendant du Ca^{2+} [48]. En plus, la balance entre monomères et dimères, et la disponibilité de la CaM déterminent l'une ou l'autre voie d'activation [48]. L'affinité du monomère pour la CaM ($K_d = 1.6\text{-}3.5$ nM) est plus élevée que l'affinité d'un monomère pour un autre ($K_d = 8\text{-}15$ nM) [47;48]. Donc, la Ca^{2+} -ATPase de la membrane plasmique est activable sous forme d'un complexe monomère-CaM ou sous forme de dimère.

5 LES INHIBITEURS DE L'ACTIVITE DES PMCAS

5.1 COMPOSÉS INORGANIQUES

5.1.1 LANTHANE

L'ion La^{3+} est un inhibiteur des pompes calciques [55-57]. Le La^{3+} agit sur les faces interne et externe de la membrane cellulaire. Dans les membranes de globules rouges isolées, le La^{3+} inhibe la pompe avec un K_i de 2-3 μM et semble être non compétitif par rapport au Ca^{2+} et à l'ATP. Il a été démontré que le La^{3+} agissait en bloquant la transition de la forme E_1P dépendant du Mg^{2+} [57].

5.1.2 VANADATE

Le vanadium pentavalent (VO_3^-) inhibe toutes les ATPases transporteuses de cations [58]. L'inhibition des pompes calciques par le vanadate a été étudiée dans les globules rouges [59-61], et dans les axones de calmar [62]. Le vanadate agit sur la face interne de la membrane plasmique. La concentration de vanadate requise pour 50 % de l'inhibition maximale est réduite par le Mg^{2+} intracellulaire et par le K^+ en présence de Mg^{2+} . Le Na^+ peut remplacer le K^+ , ce qui n'est pas le cas du Li^{3+} [61-62]. L'inhibition par le vanadate est levée pour des concentrations de Ca^{2+} extracellulaire de l'ordre du millimolaire [61-62]. En fait, le vanadate bloque la transition E_2 à E_1 , comme déjà proposé pour l'inhibition de la Na^+/K^+ -ATPase par ce même dérivé [63].

5.2 LES ANTAGONISTES DE LA CALMODULINE

Les pompes calciques peuvent opérer en l'absence de CaM. Donc, les drogues qui bloquent la CaM agissent uniquement comme inhibiteurs partiels de la pompe calcique. Les antagonistes de la CaM les plus utilisés sont la phenothiazine et en particulier la trifluoperazine [64]. Le calmidazolium [65] et le composé 48/80 [65-67] sont des inhibiteurs potentiels plus sélectifs de la CaM et sont, de ce fait, des antagonistes plus intéressants.

5.3 LES COMPOSÉS QUI RÉAGISSENT AVEC LES PROTÉINES

5.3.1 N-ÉTHYLMALÉIMIDE (NEM)

Dans les globules rouges, la NEM inhibe les pompes calciques avec une plus grande affinité que la Na^+/K^+ -ATPase. Cette inhibition est partiellement surmontée par l'addition d'ATP, de K^+ et de Na^+ . Par contre l'addition de Ca^{2+} renforce l'inhibition. L'effet du Ca^{2+} est indépendant de l'ATP. C'est donc une preuve indirecte que la fixation du Ca^{2+} avec une grande affinité sur la pompe calcique est ATP-indépendante [68].

5.3.2 LES DÉRIVÉS DE LA FLUORESCÉINE

Ces composés réagissent avec le site de fixation de l'ATP des pompes calciques [69]. Le FITC (Fluoresceine isothiocyanate) se fixe de façon non covalente à la protéine et inhibe complètement la PMCA dans les membranes de globules rouges, probablement en déplaçant l'ATP de son site en E_2 durant le cycle de réaction (Figure 2). Le FITC inhibe également la Na^+/K^+ -ATPase.

6 CONTRIBUTION DES PMCAS A LA SECRETION D'INSULINE

Nous avons montré que la cellule β pancréatique était équipée de six isoformes qui sont les rPMCA1xb, 2yb, 2wb, 3za, 3zc, 4xb. Il a été suggéré qu'il pourrait exister une différence d'activité entre les isoformes et que certaines d'entre elles pourraient jouer un rôle fondamental dans le fonctionnement de la cellule β [70].

Il a été rapporté que, dans les cellules β de souris, le glucose génère des oscillations de grande amplitude de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$ qui sont synchrones avec les oscillations de la sécrétion d'insuline. Dès lors, il a été suggéré que les oscillations de la sécrétion d'insuline étaient déterminées par les oscillations de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$ [8;9]. Dans la cellule β , on considère que les augmentations de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$ résultent de l'ouverture intermittente des canaux Ca^{2+} voltage-dépendants [6;10]. Par ailleurs, les oscillations de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$ résultent elles-mêmes d'oscillations du métabolisme du glucose [11;71]. Afin, d'examiner le rôle joué par le Ca^{2+}_i dans

le processus de sécrétion d'insuline, nous avons étudié l'effet de la surexpression de la PMCA sur les oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ et de la sécrétion d'insuline induite par le glucose. A cet effet, la PMCA2wb a été clonée à partir d'îlots pancréatiques de rat et une transfection stable a été réalisée sur les cellules insulaires BRIN-BD11 [72].

La surexpression a été établie sur le plan ARNm et protéique. Son ciblage à la membrane plasmique a été mis en évidence par immunofluorescence et par l'augmentation de l'activité de la PMCA.

En réponse à la stimulation par le K^+ , on observe une inhibition importante de la hausse de la $[Ca^{2+}]_i$ induite par le K^+ dans les cellules surexprimant la PMCA2wb par rapport au contrôle. En réponse au glucose, on observe dans les cellules contrôles des oscillations de $[Ca^{2+}]_i$ de large amplitude, alors que dans les cellules transfectées avec la PMCA2wb, on observe une réduction de l'amplitude des oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ (**Figure 2**). La suppression des oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ est accompagnée par une augmentation du métabolisme du glucose et de la sécrétion d'insuline qui continue à osciller mais avec une périodicité plus faible (**Figure 3**).

En conclusion, les oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ semblent ne pas être nécessaires pour la sécrétion d'insuline induite par le glucose et pourraient être moins favorable qu'une augmentation stable de la $[Ca^{2+}]_i$ pour une meilleure sécrétion d'insuline. Les oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ ne sont pas directement impliquées dans le processus d'oscillations de la sécrétion d'insuline mais pourraient intervenir dans sa régulation fine.

7 DISCUSSION

Récemment, il a été suggéré que, dans la cellule β , les oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ pourraient avoir divers avantages comparé à une augmentation soutenue de la $[Ca^{2+}]_i$ [29]. En effet, un signal oscillatoire pourrait avoir l'avantage de prévenir la désensibilisation de la machinerie sécrétoire de la cellule β [29]. De même, les oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$, en déterminant une sécrétion pulsatile d'insuline de la cellule β pourraient prévenir une "down régulation" ou régulation négative de l'expression du nombre de récepteurs périphériques à l'insuline. Une telle "down régulation" pourrait à son tour accroître la quantité d'insuline devant être sécrétée, avec accroissement subséquent du travail de la cellule β et complications systémiques liées à une sécrétion excessive d'insuline. Enfin, un comportement oscillatoire de la $[Ca^{2+}]_i$ permet d'éviter des élévations excessives et prolongées de cette $[Ca^{2+}]_i$, dont on sait qu'elles peuvent être toxiques pour la cellule β [29;73]. Récemment, une sécrétion oscillatoire d'insuline a été observée en présence d'une $[Ca^{2+}]_i$ stable dans diverses conditions, à savoir à concentration faible (3 mM) et élevée (20 mM) de glucose, ou quand la membrane plasmique est dépolarisée par le K^+ extracellulaire ou par le sulfamidé hypoglycémiant tolbutamide [74-76;1]. Dans ces dernières conditions, il a été proposé que la $[Ca^{2+}]_i$ joue en fait un rôle permissif et que les oscillations de la sécrétion d'insuline sont déterminées directement par les oscillations du métabolisme du glucose [74-76;1]. Néanmoins, aux concentrations intermédiaires de glucose, situation dans laquelle on observe des oscillations synchrones de la $[Ca^{2+}]_i$ et de la sécrétion d'insuline, il est considéré que les oscillations parallèles du métabolisme du glucose et de la $[Ca^{2+}]_i$ concourent à la sécrétion pulsatile d'insuline [1].

Cependant, puisque le glucose peut stimuler la sécrétion pulsatile d'insuline en absence d'oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ à concentration faible ou élevée de glucose, on peut se demander si même aux concentrations intermédiaires de glucose, les oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ ici évoquées sont indispensables à la sécrétion d'insuline. En effet, l'activité électrique en salve des îlots de souris concomitante des oscillations lentes de la $[Ca^{2+}]_i$ est observée uniquement à des concentrations extracellulaires de Ca^{2+} ($[Ca^{2+}]_o$) > 1 mM (1.5 mM pour l'activité électrique en salve [2] et 1.28 mM pour les oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ [10] et disparaît à une $[Ca^{2+}]_o$ de 1 mM [2] et 0.8 mM, respectivement [10]. Enfin, ces oscillations ne sont pas observées dans les îlots de rat, même à une $[Ca^{2+}]_o$ élevée [3]. Par conséquent, on pourrait même se demander si les oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$, telles qu'observées chez la souris, ne pourraient pas être préjudiciable à la sécrétion d'insuline comparé à une augmentation stable de la $[Ca^{2+}]_i$. En effet, par rapport à ce dernier comportement, un comportement oscillatoire comprend des périodes pendant lesquelles la $[Ca^{2+}]_i$ atteint ou passe en dessous du niveau basal.

Notre étude a permis de montrer que la suppression des oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ est accompagnée par une augmentation du métabolisme du glucose et de la sécrétion d'insuline qui continue à osciller mais avec une périodicité plus faible [72]. Donc Les oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$ ne sont pas directement impliquées dans le processus d'oscillations de la sécrétion d'insuline mais pourraient intervenir dans sa régulation fine.

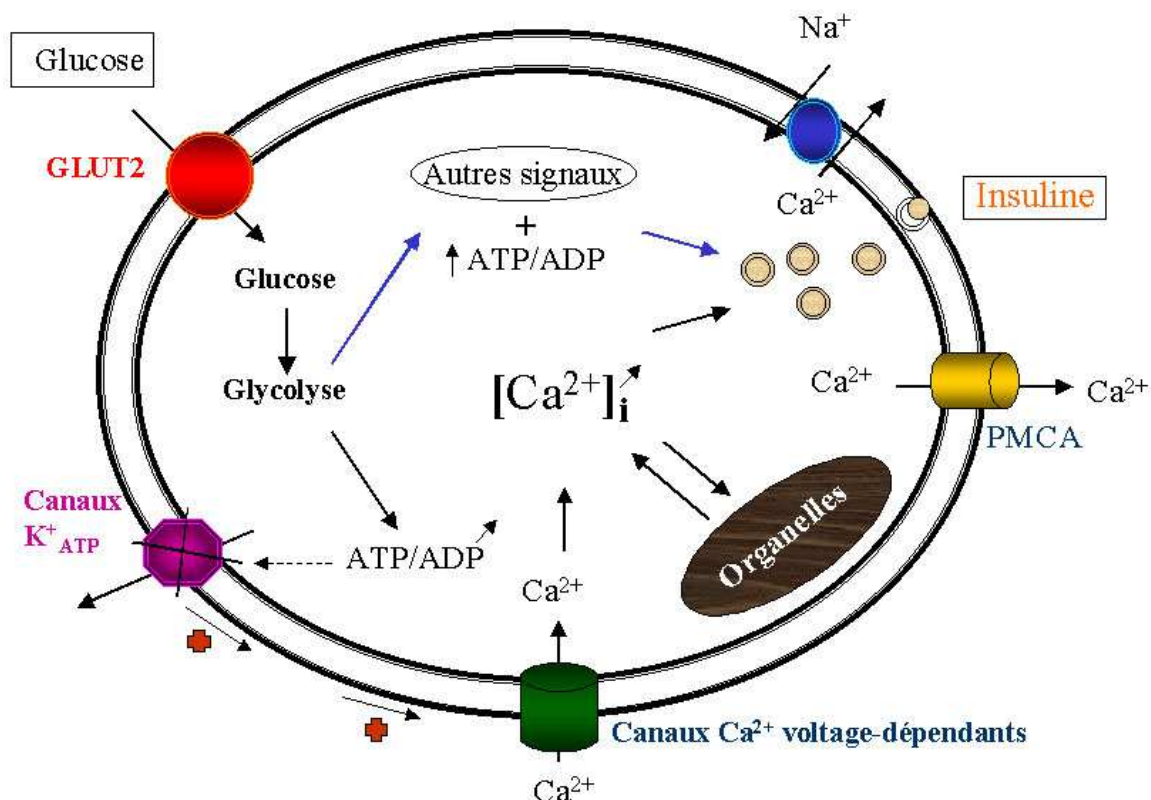


Figure 1 : Représentation schématique du processus de la sécrétion d'insuline par les voies dépendante et indépendante des canaux K_{ATP} .

Le schéma montre l'entrée du glucose dans la cellule *via* le transporteur de glucose GLUT2, ainsi que son métabolisme qui aboutit à une augmentation du rapport ATP/ADP et à la fermeture des canaux K_{ATP} . La fermeture des canaux K_{ATP} conduit à une dépolarisation de la membrane, à l'ouverture des canaux Ca^{2+} voltage-dépendants, à l'entrée de Ca^{2+} dans la cellule et enfin à l'augmentation de $[Ca^{2+}]_i$. Il s'ensuit alors une stimulation de la sécrétion d'insuline par exocytose (voie dépendante des canaux K_{ATP}). Le métabolisme du glucose conduit par ailleurs à la génération d'autres signaux non encore connus qui stimulent la sécrétion d'insuline sans augmenter la $[Ca^{2+}]_i$ (voie indépendante des canaux K_{ATP}). Les deux voies de sécrétion d'insuline travaillent en synergie.

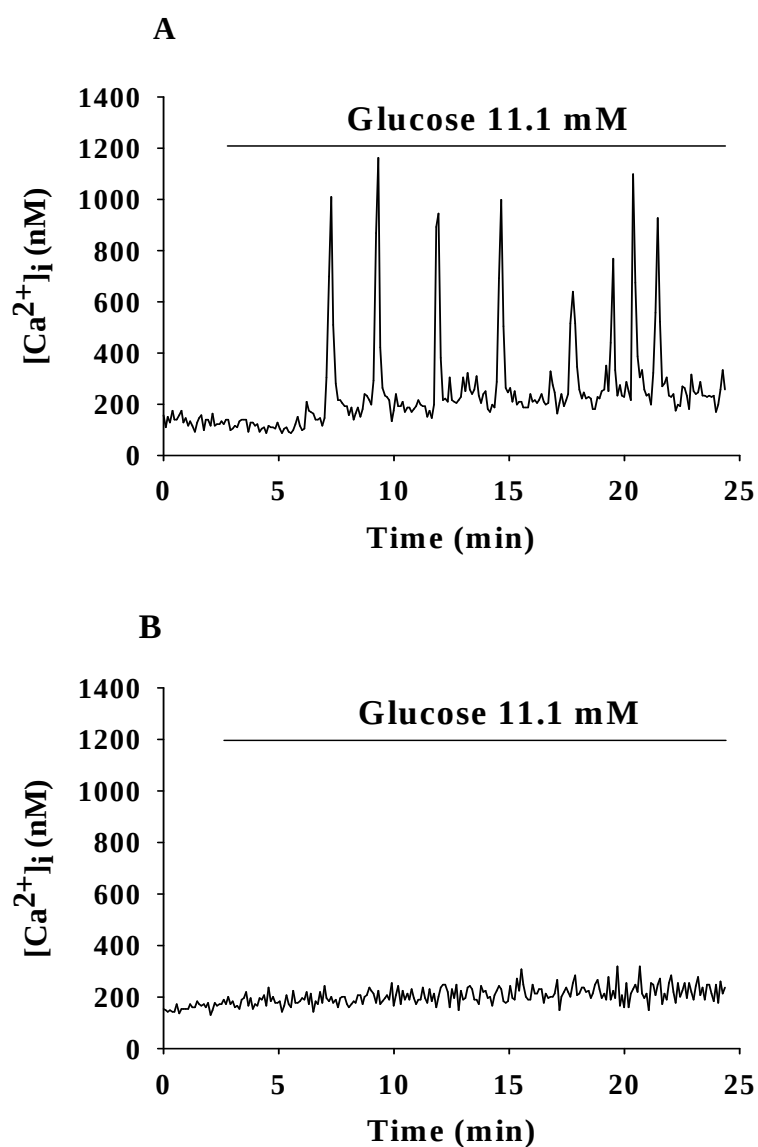


Figure 2: Analyse des effets du 11,1 mM glucose sur $[Ca^{2+}]_i$ de cellules individuelles

Les panneaux A et B présentent des tracés individuels représentatifs des différents types de réponse au glucose des oscillations de la $[Ca^{2+}]_i$. Le glucose 1,1 mM, a été ajoutés d'abord, et après 2 min de le glucose 11,1 mM.

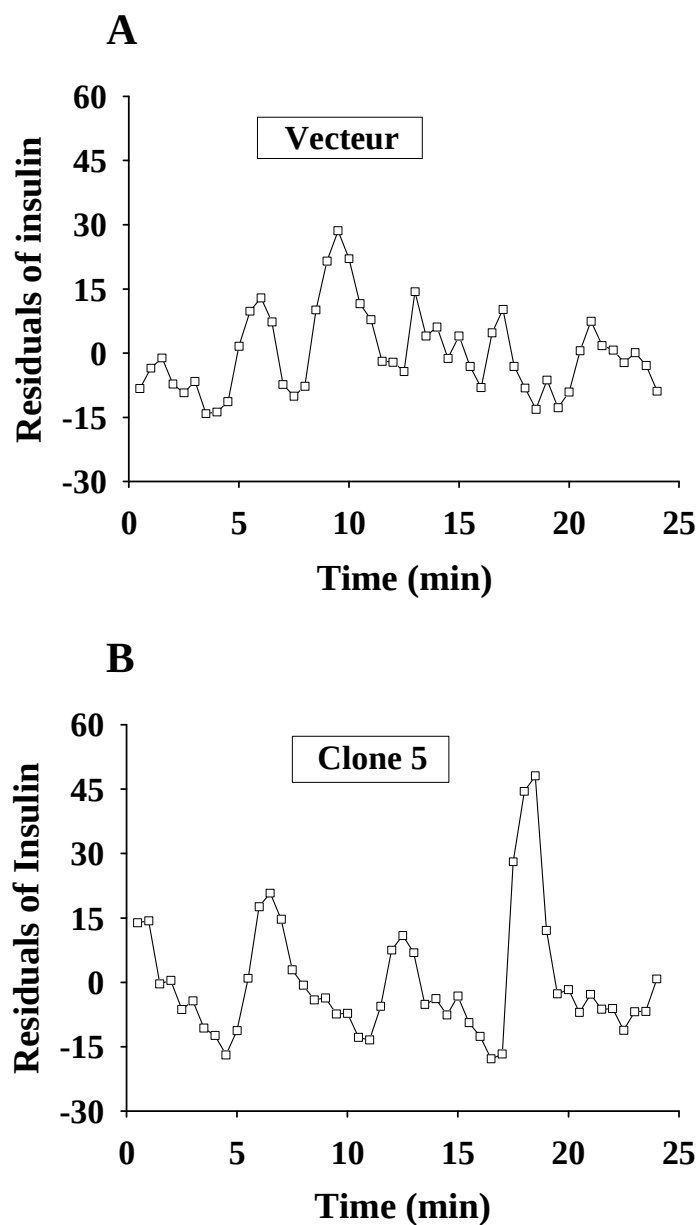


Figure 13: Le glucose induit une sécrétion pulsatile de l'insuline par des cellules BRIN-BD11 cultivées en plaques multipuits.

Libération d'insuline à partir de cellules BRIN-BD11 cultivées dans des plaques de 48 puits au cours du temps, montrent les oscillations de la sécrétion d'insuline avec une périodicité. Le Panneau A représente la cellule normale, alors que le panneau B représente la cellule qui surexprime la PMCA2.

REFERENCES

- [1] H. J. Schatzmann, "ATP-dependent Ca^{2+} -extrusion from human red cells", *Experientia*, vol. 22, pp. 364-365, 1966.
- [2] E. Carafoli, "The plasma membrane calcium pump. Structure, function, regulation", *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 1101, pp. 266-267, 1992.
- [3] E. Carafoli, "Molecular, mechanistic, and functional aspects of the plasma membrane calcium pump", *Prog. Clin. Biol. Res.*, Vol. 168, pp. 13-17, 1984.
- [4] C. B. Wollheim, and G. W. Sharp, "Regulation of insulin release by calcium", *Physiol. Rev.*, vol. 61, pp. 914-973, 1981.
- [5] A. Herchuelz, and W. J. Malaisse, *Calcium and insulin release*, In : L. J. Anghileri and A. M. Tuffet-Anghileri (Eds), The Role of Calcium in Biological Systems, Boca Ratón: CRC press, pp. 17-32, 1982.
- [6] M. Prentki, and F. M. Matschinsky, " Ca^{2+} , cAMP, and phospholipid-derived messengers in coupling mechanisms of insulin secretion", *Physiol. Rev.*, vol. 67, pp. 1185-1248, 1987.
- [7] B. Hellman, E. Gylfe, P. Bergsten, H. Johanson, and N. Wesslén, *Glucose-induced modifications of the calcium movements regulating insulin and glucagon release*, In : V. Grill and S. Effendic (Eds), Pathogenesis of Non-Insulin Dependent Diabetes Mellitus, New York: Raven Press, pp. 36-60, 1988.
- [8] S. I. Howell, *The biosynthesis and secretion of insulin*, In : J. Pickup and G. Williams (Eds), Textbook of diabetes, Blackwell Science Ltd, pp. 8.1-8.14, 1997.
- [9] M. Gembal, P. Gilon, and J. C. Henquin, "Evidence that glucose can control insulin release independently from its action on ATP-sensitive K^+ channels in mouse B cells", *J. Clin. Invest.*, vol. 89, pp. 1288-1295, 1992.
- [10] Y. Sato, T. Aizawa, M. Komatsu, N. Okada, and T. Yamada, "Dual functional role of membrane depolarization/ Ca^{2+} influx in rat pancreatic B-cell", *Diabetes*, vol. 41, pp. 438-443, 1992.
- [11] J. C. Henquin, "Triggering and amplifying pathways of regulation of insulin secretion by glucose", *Diabetes*, vol. 49, pp. 1751-1760, 2000.
- [12] S. Barg, L. Eliasson, E. Renstrom, and P. Rorsman, A "Subset of 50 Secretory Granules in Close Contact With L-Type Ca^{2+} Channels Accounts for First-Phase Insulin Secretion in Mouse beta-Cells", *Diabetes*, vol. 51 Suppl 1, pp. S74-S82, 2002.
- [13] T. D. Parsons, J. R. Coorssen, H. Horstmann, and W. Almers, "Docked granules, the exocytic burst, and the need for ATP hydrolysis in endocrine cells", *Neuron*, vol. 15, pp. 1085-1096, 1995.
- [14] S. Barg, P. Huang, L. Eliasson, D.J. Nelson, S. Obermuller, P. Rorsman, F. Thevenod, and E. Renstrom, "Priming of insulin granules for exocytosis by granular Cl^- uptake and acidification", *J. Cell Sci.*, vol. 114, pp. 2145-2154, 2001.
- [15] R. B. Sutton, D. Fasshauer, R. Jahn, and A. T. Brunger, "Crystal structure of a SNARE complex involved in synaptic exocytosis at 2.4 Å resolution", *Nature*, vol. 395, pp. 347-353, 1998.
- [16] A. Enyedi, M. Flura, B. Sarkadi, G. Gardos, and E. Carafoli, "The maximal velocity and the calcium affinity of the red cell calcium pump may be regulated independently" *J. Biol. Chem.*, Vol. 262, pp. 6425-6430, 1987.
- [17] A. Enyedi, T. Vorherr, P. James, D.J. McCormick, A. G. Filoteo, E. Carafoli, and J. T. Penniston, "The calmodulin binding domain of the plasma membrane Ca^{2+} pump interacts both with calmodulin and with another part of the pump", *J. Biol. Chem.*, Vol. 264, pp. 12313-12321, 1989.
- [18] R. Falchetto, T. Vorherr, J. Brunner, and E. Carafoli, "The plasma membrane Ca^{2+} pump contains a site that interacts with its calmodulin-binding domain", *J. Biol. Chem.*, Vol. 266, pp. 2930-2936, 1991.
- [19] R. Falchetto, T. Vorherr, and E. Carafoli, "The calmodulin-binding site of the plasma membrane Ca^{2+} pump interacts with the transduction domain of the enzyme", *Protein Sci.*, vol. 1, pp. 1613-1621, 1992.
- [20] J. Goldberg, A. C. Nairn, and J. Kuriyan, "Structural basis for the autoinhibition of calcium/calmodulin-dependent protein kinase I", *Cell*, vol. 84, pp. 875-887, 1996.
- [21] J. T. Penniston, and A. Enyedi, "Modulation of the plasma membrane Ca^{2+} pump" *J. Membr. Biol.*, Vol. 165, pp. 101-109, 1998.
- [22] B. S. Preiano, D. Guerini, and E. Carafoli, "Expression and functional characterization of isoforms 4 of the plasma membrane calcium pump", *Biochemistry*, vol. 35, pp. 7946-7953, 1996.
- [23] N. L. Elwess, A. G. Filoteo, A. Enyedi, and J. T. Penniston, "Plasma membrane Ca^{2+} pump isoforms 2a and 2b are unusually responsive to calmodulin and Ca^{2+} ", *J. Biol. Chem.*, Vol. 272, pp. 17981-17986, 1997.
- [24] A. Enyedi, A. K. Verma, R. Heim, H. P. Adamo, A. G. Filoteo, E. E., Strehler, and J. T. Penniston, "The Ca^{2+} affinity of the plasma membrane Ca^{2+} pump is controlled by alternative splicing", *J. Biol. Chem.*, Vol. 269, pp. 41-43, 1994.
- [25] P. James, M. Maeda, R. Fischer, A. K. Verma, J. Krebs, J. T. Penniston, and E. Carafoli, "Identification and primary structure of a calmodulin binding domain of the Ca^{2+} pump of human erythrocytes", *J. Biol. Chem.* vol., 263, pp. 2905-2910, 1988.
- [26] A. K. Verma, A. G. Filoteo, D. R. Stanford, E. D. Wieben, J. T. Penniston, E. E., Strehler, R. Fischer, R. Heim, G. Vogel, and S. Mathews, "Complete primary structure of a human plasma membrane Ca^{2+} pump" *J. Biol. Chem.*, vol. 263, pp. 14152-14159, 1988.

- [27] A. K. Verma, A. Enyedi, A. G., Filoteo, E. E. Strehler, and J. T. Penniston, "Plasma membrane calcium pump isoform 4a has a longer calmodulin-binding domain than 4b", *J. Biol. Chem.*, vol. 271, pp. 3714-3718, 1996.
- [28] H. Hilfiker, D. Guerini, and E. Carafoli, "Cloning and expression of isoform 2 of the human plasma membrane Ca^{2+} -ATPase. Functional properties of the enzyme and its splicing products", *J. Biol. Chem.*, vol. 269, pp. 26178-26183, 1994.
- [29] E. Carafoli, "Intracellular calcium homeostasis" *Annu. Rev. Biochem.*, Vol. 56, pp. 395-433, 1987.
- [30] L. Missiaen, L. Raeymaekers, F. Wuytack, M. Vrolix, H. de Smedt, and R. Casteels, "Phospholipid-protein interactions of the plasma-membrane Ca^{2+} -transporting ATPase. Evidence for a tissue-dependent functional difference", *Biochem. J.*, vol. 263, pp. 687-694, 1989.
- [31] V. Niggli, E. S. Adunyah, and E. Carafoli, "Acidic phospholipids, unsaturated fatty acids, and limited proteolysis mimic the effect of calmodulin on the purified erythrocyte Ca^{2+} -ATPase", *J. Biol. Chem.*, vol. 256, pp. 8588-8592, 1981.
- [32] V. Niggli, E. S. Adunyah, J. T. Penniston, and E. Carafoli, "Purified ($\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$)-ATPase of the erythrocyte membrane. Reconstitution and effect of calmodulin and phospholipids" *J. Biol. Chem.*, vol. 256, pp. 395-401, 1981.
- [33] K. K. W. Wang, A. Villalobo, and B. D. Roufogalis, "The plasma membrane calcium pump : a multiregulated transporter", *Trends Cell Biol.*, Vol. 2, pp. 22-27, 1992.
- [34] E. Carafoli, "Biogenesis: plasma membrane calcium ATPase: 15 years of work on the purified enzyme", *FASEB J.*, vol. 8, pp. 993-1002, 1994.
- [35] Monteith, G. R. and Roufogalis, B.D. "The plasma membrane calcium pump--a physiological perspective on its regulation", *Cell Calcium*, vol. 18, pp. 459-470, 1995.
- [36] F. Wuytack, and L. Raeymaekers, "The Ca^{2+} -transport ATPases from the plasma membrane" *J. Bioenerg. Biomembr.*, vol. 24, pp. 285-300, 1992.
- [37] P. H. James, M., Pruschy, T. E. Vorherr, J. T. Penniston, and E. E. Carafoli, Primary structure of the cAMP-dependent phosphorylation site of the plasma membrane calcium pump. *Biochemistry*, vol. 28, pp. 4253-4258, 1989.
- [38] K. Furukawa, Y. Tawada, and M. Shigekawa, "Protein kinase C activation stimulates plasma membrane Ca^{2+} pump in cultured vascular smooth muscle cells" *J. Biol. Chem.*, vol. 264, pp. 4844-4849, 1989.
- [39] K. K., Wang, L. C. Wright, C. L. Machan, B. G., Allen, A. D. Conigrave, and B. D. Roufogalis, "Protein kinase C phosphorylates the carboxyl terminus of the plasma membrane Ca^{2+} -ATPase from human erythrocytes" *J. Biol. Chem.*, vol. 266, pp. 9078-9085, 1991.
- [40] J. I. Smallwood, B. Gugi, and H. Rasmussen, "Regulation of erythrocyte Ca^{2+} pump activity by protein kinase C", *J. Biol. Chem.*, vol. 263, pp. 2195-2202, 1988.
- [41] A. Enyedi, N. L. Elwess, A. G. Filoteo, A. K. Verma, K. Paszty, and J. T. Penniston, "Protein kinase C phosphorylates the "a" forms of plasma membrane Ca^{2+} pump isoforms 2 and 3 and prevents binding of calmodulin", *J. Biol. Chem.*, vol. 272, pp. 27525-27528, 1997.
- [42] K. K. Wang, B. D. Roufogalis, and A. Villalobo, "Calpain I activates Ca^{2+} transport by the reconstituted erythrocyte Ca^{2+} pump", *J. Membr. Biol.*, vol. 112, pp. 233-245, 1989.
- [43] J. Chen, M. DeVivo, J. Dingus, A. Harry, J. Li, J. Sui, D. J. Carty, J. L. Blank, J.H. Exton, and R. H. Stoffel, "A region of adenylyl cyclase 2 critical for regulation by G protein beta gamma subunits" *Science*, vol. 268, pp. 1166-1169, 1995.
- [44] C. Jouneaux, Y. Audigier, P. Goldsmith, F. Pecker, and S. Lotersztajn, "Gs mediates hormonal inhibition of the calcium pump in liver plasma membranes", *J. Biol. Chem.*, vol. 268, pp. 2368-2372, 1993.
- [45] C. Jouneaux, A. Mallat, G. C. Serradeil-Le, P. Goldsmith, J. Hanoune, and S. Lotersztajn, "Coupling of endothelin B receptors to the calcium pump and phospholipase C via Gs and Gq in rat liver", *J. Biol. Chem.*, vol. 269, pp. 1845-1851, 1994.
- [46] S. Lotersztajn, C. Pavoine, P. Deterre, J. Capeau, A. Mallat, D. LeNguyen, M. Dufour, B. Rouot, D. Bataille, and F. Pecker, "Role of G protein beta gamma subunits in the regulation of the plasma membrane Ca^{2+} pump", *J. Biol. Chem.*, vol. 267, pp. 2375-2379, 1992.
- [47] D. Kosk-Kosicka, and T. Bzdega, "Activation of the erythrocyte Ca^{2+} -ATPase by either self-association or interaction with calmodulin" *J. Biol. Chem.*, vol. 263, pp. 18184-18189, 1988.
- [48] D. Kosk-Kosicka, T. Bzdega, and A. Wawrzynow, "Fluorescence energy transfer studies of purified erythrocyte Ca^{2+} -ATPase. Ca^{2+} -regulated activation by oligomerization" *J. Biol. Chem.*, vol. 264, pp. 19495-19499, 1989.
- [49] D. Kosk-Kosicka, and T. Bzdega, "Effects of calmodulin on erythrocyte Ca^{2+} -ATPase activation and oligomerization" *Biochemistry*, vol. 29, pp. 3772-3777, 1990.
- [50] L. Hymel, M. Nielsen, and K. Gietzen, "Target sizes of human erythrocyte membrane Ca^{2+} -ATPase and Mg^{2+} -ATPase activities in the presence and absence of calmodulin" *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 815, pp. 461-467, 1985.
- [51] A. M. Minocherhomjee, G. Beauregard, M. Potier, and B.D. Roufogalis, "The molecular weight of the calcium-transport-ATPase of the human red blood cell determined by radiation inactivation" *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, Vol. 116, pp. 895-900, 1983.

- [52] L. Neyses, L. Reinlib, and E. Carafoli, "Phosphorylation of the Ca^{2+} -pumping ATPase of heart sarcolemma and erythrocyte plasma membrane by the cAMP-dependent protein kinase", *J. Biol. Chem.*, vol. 260, pp. 10283-10287, 1985.
- [53] R. D. Taverna, and D. J. Hanahan, "Modulation of human erythrocyte $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ATPase activity by phospholipase A2 and proteases. A comparison with calmodulin", *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, Vol. 94, pp. 652-659, 1980.
- [54] D. L. Sackett, and D. Kosk-Kosicka, "The active species of plasma membrane Ca^{2+} -ATPase are a dimer and a monomer-calmodulin complex" *J. Biol. Chem.*, vol. 271, pp. 9987-9991, 1996.
- [55] E. E. Quist, and B. D. Roufogalis, "Determination of the stoichiometry of the calcium pump in human erythrocytes using lanthanum as a selective inhibitor" *FEBS Lett.*, vol. 50, pp. 135-139, 1975.
- [56] J. P. Rossi, P. J. Garrahan, and A. F. Rega, "Reversal of the calcium pump in human red cells", *J. Membr. Biol.*, vol. 44; pp. 37-46, 1978.
- [57] S. Luterbacher, and H. J. Schatzmann, "The site of action of La^{3+} in the reaction cycle of the human red cell membrane Ca^{2+} -pump ATPase" *Experientia*, 39, pp. 311-312, 1983.
- [58] P. L. Pedersen, and E. Carafoli, "Ion motive ATPases. I. Ubiquity, properties, and significance to cell function", *TIBS*, vol. 12, pp. 156-150, 1987.
- [59] G. H. Bond, and P. M. Hudgins, "Inhibition of red cell Ca^{2+} -ATPase by vanadate", *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 600, pp. 781-790, 1980.
- [60] H. Barrabin, P. J. Garrahan, and A.F. Rega, "Vanadate inhibition of the Ca^{2+} -ATPase from human red cell membranes" *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 600, pp. 796-804, 1980.
- [61] J. P. Rossi, P. J. Garrahan, and A. F. Rega, "Vanadate inhibition of active Ca^{2+} transport across human red cell membranes", *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 648, pp. 145-150, 1981.
- [62] R. DiPolo, and L. Beauge, "The effects of vanadate on calcium transport in dialyzed squid axons. Sidedness of vanadate-cation interactions", *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 645, pp. 229-236, 1981.
- [63] S. J. Karlish, L. A. Beauge, and I. M. Glynn, "Vanadate inhibits $(\text{Na}^+/\text{K}^+)\text{-ATPase}$ by blocking a conformational change of the unphosphorylated form", *Nature*, vol. 282, pp. 333-335, 1979.
- [64] A.F. Rega, and P.J. Garrahan, "*The Ca^{2+} pump of plasma membranes*. Boca Ratón, FL: CRC Press Inc, 1986.
- [65] K. Gietzen, "Comparison of the calmodulin antagonists compound 48/80 and calmidazolium", *Biochem. J.*, vol. 216, pp. 611-616, 1983.
- [66] J. P. Rossi, A. F. Rega, and P. J. Garrahan, "Compound 48/80 and calmodulin modify the interaction of ATP with the $(\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+})\text{-ATPase}$ of red cell membranes", *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 816, pp. 379-386, 1985.
- [67] J. P. Rossi, P. J. Garrahan, and A. F. Rega, "Differential effects of compound 48/80 on the ATPase and phosphatase activities of the Ca^{2+} pump of red cells", *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 902, pp. 101-108, 1987.
- [68] D. E. Richards, A. F. Rega, and P. J. Garrahan, "ATPase and phosphatase activities from human red cell membranes: I. The effects of N-ethylmaleimide", *J. Membr. Biol.*, vol. 35, pp. 113-124, 1977.
- [69] H. Mugica, A. F. Rega, and P. J. Garrahan, "The inhibition of the calcium dependent ATPase from human red cells by erythrosin B", *Acta Physiol. Pharmacol. Latinoam.*, vol. 34, pp. 163-173, 1984.
- [70] A. Kamagate, A. Herchuelz, A. Bollen, and F. Van Eyle, "Expression of multiple plasma membrane Ca^{2+} -ATPases in rat pancreatic islet cells", *Cell Calcium*, vol. 27, pp. 231-246, 2000.
- [71] B. F. Trump, and I. K. Berezsky, "The role of altered $[\text{Ca}^{2+}]_i$ regulation in apoptosis, oncosis, and necrosis", *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 1313, pp. 173-178, 1996.
- [72] A. Kamagate, A. Herchuelz, and F. Van Eyle, "Plasma membrane Ca^{2+} -ATPase overexpression reduces Ca^{2+} oscillations and increases insulin release induced by glucose in insulin secreting BRIN-BD11 cells", *Diabetes*, vol. 51, pp. 2773-2788, 2002.
- [73] R. J. Miller, "The control of neuronal Ca^{2+} homeostasis", *Prog. Neurobiol.*, vol. 37, pp. 255-285, 1991.
- [74] M. P. Blaustein, W. F. Goldman, G. Fontana, B. K. Krueger, E. M. Santiago, T. D. Steele, D. N. Weiss, and P. J. Yarowsky, "Physiological roles of the sodium-calcium exchanger in nerve and muscle", *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 639, pp. 254-274, 1991.
- [75] E. Carafoli, "Membrane transport of calcium: an overview", *Methods Enzymol.*, vol. 157, pp. 3-11, 1988.
- [76] E. Carafoli, "Calcium pump of the plasma membrane", *Physiol. Rev.*, vol. 71, pp. 129-153, 1991.

Amélioration de la qualité de la pomme par l'usage des engrais foliaires: Impact économique sur les revenus de l'agriculteur

[Improving the quality of the apple by the use of foliar fertilizers: Economic impact on income of the farmer]

Georges Aoun¹, Salim Kattar², Romy Moukarzel³, and Samir Medawar⁴

¹Département de Sciences générales,
Université Libanaise, Faculté d'Agronomie et Sciences Vétérinaire,
Dekwaneh, Beyrouth, Liban

²Département de Sciences Environnementales,
Université Libanaise, Faculté d'Agronomie et Sciences Vétérinaire,
Dekwaneh, Beyrouth, Liban

³Département de production végétale et d'agriculture durable,
Université Libanaise, Faculté d'Agronomie et Sciences Vétérinaire,
Dekwaneh, Beyrouth, Liban

⁴Département de Sciences Economiques,
Université Libanaise, Faculté d'Agronomie et Sciences Vétérinaire,
Dekwaneh, Beyrouth, Liban

Copyright © 2016 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: Orchards for growing apples in Lebanon occupy 19% of the fruit growing area of the country, and it is the main fruit crop of the mountain areas. The varieties introduced to Lebanon since the 50's are the "Golden Delicious" and the "Starking Delicious". At the time, all the production was sold immediately after harvest. Currently, the market demands impose a delayed sale after storage. Several diseases have appeared in storage such as the Bitter pit and scald. This has led to a loss of fruit quality and subsequently the loss of markets. Our research seeks to improve the quality of the fruits so that they become consistent with market standards while using foliar fertilizers. An analysis of the main components directly influencing the quality of the apple was conducted (malic acid, brix levels, content of calcium, nitrogen phosphorus, potassium) with the effect of these fertilizers on the Apple caliber as the criterion base in marketing. Experiments have proven that the 4 foliar fertilizers have improved the quality of fruits and have maintained their taste, sensory and physical qualities even after 4 months of storage. The economic impact of these results was assessed by estimating the expected added value that the grower will receive. The "Golden Delicious" and "Starking Delicious" orchards received an added value of 40% and 27% respectively, with a net increase in demand on the production. The Minimum Wage growth in Lebanon is 175 Euros.

KEYWORDS: Golden Delicious, Starking Delicious, malic acid, brix concentration, Calcium, Phosphorus, Potassium.

RESUME: La pomoculture libanaise occupe 19% de la surface arboricole du pays et constitue la principale culture fruitière des zones de montagne. Les variétés introduites au Liban depuis les années 50 sont le «Golden Delicious» et le «Starking Delicious». A l'époque, toute la production était commercialisée immédiatement après la récolte. Actuellement, les

exigences du marché ont imposé une vente décalée après entreposage. Plusieurs maladies ont apparu lors de l'entreposage tel le Bitter pit et l'échaudure. Ceci conduisait à une perte de la qualité des fruits et par la suite la perte des marchés. Notre axe de recherche a pour objectif d'améliorer la qualité des fruits afin qu'elle devienne conforme aux normes du marché tout en utilisant des engrais foliaires. Une analyse des principaux éléments influençant directement la qualité de la pomme a été réalisée (acide malique, taux de brix, teneur en Calcium, Azote phosphore, potassium) et l'effet de ces engrais chimiques sur le calibre de la pomme été un critère de base dans la commercialisation. Les expériences ont prouvées que les 4 engrais foliaires utilisés ont amélioré la qualité des fruits et ont conservé les qualités gustatives, organoleptiques et physiques même après 4 mois d'entreposage. L'impact économique de ces résultats a été évalué en estimant une valeur ajoutée au niveau des revenus de l'exploitant. Pour les vergers «Golden Delicious» et les vergers «Starking delicious» une valeur ajoutée respective de 40% et 27 % a été chiffrée avec une nette augmentation de la demande sur la production. Le Salaire Minimum Interprofessionnel de Croissance au Liban est de 175 euros.

MOTS-CLEFS: Golden Delicious, Starking Delicious, acide malique, taux de brix, Calcium, Phosphore, Potassium.

1 INTRODUCTION

La pomoculture constitue la première culture des zones de montagne et participe activement à la création des emplois agricoles dans ces zones. La production de pomme oscille entre 160 000 tonnes et 240 000 tonnes environ. La consommation locale s'élève à 90 000 tonnes. Au niveau économique, la vente décalée est appréciée pour obtenir un meilleur prix ce qui attribue une valeur ajoutée importante à la production. Le potentiel d'exportation est amené à s'agrandir mais il doit s'échelonner dans le temps pour des raisons de calendrier d'échange des produits agricoles entre les pays arabes. De là, l'entreposage est devenu une nécessité économique ([1]). Il doit permettre à la pomme de conserver sa qualité organoleptique physique et sanitaire. Au Liban, l'usage des engrais chimiques au sol est très répandu et se réalise d'une façon anarchique. Selon la Référence [2], les principaux engrais chimiques utilisés sont les complexes N-P-K (17-17-17). L'épandage de ce type d'engrais se réalise en Octobre pour les vergers situés à plus de 1500 mètres d'altitude, et en Février pour les vergers situés à moins de 1500 mètres. Dans les deux cas, on observe des phénomènes de lessivage importants des sols suivis par des pertes d'efficacité des fertilisants du sol ([3]). Selon la Référence [4], un taux élevé en calcaire dans le sol (tel le cas des sols libanais) ne conduit pas à une teneur élevée en calcium dans les fruits.

La carence en Calcium favorise l'apparition de ces 3 maladies : le Complexe Bitter pit ([5], [6], [7] et [8]), la déshydratation de la pomme avant qu'elle atteigne la période limite de la variété [9] et L'échaudure, maladie physiologique affectant la pomme durant la conservation ([10] et [11]). Le calcium se fixe sur les parois des cellules et les rend peu perméables conduisant à une bonne fermeté des fruits et à une réduction de la transpiration permettant ainsi à une bonne tenue lors de la conservation ([4]). Des carences dans d'autres éléments tel que le potassium et le phosphore conduisent aussi à des perturbations métaboliques observées par une diminution du diamètre du fruit et à une perte de qualité lors de la conservation ([3]) et par la suite des difficultés de commercialisations conduisant à la perte de la production.

Au Liban, les agriculteurs utilisent les engrais chimiques sans procéder à des analyses préalables. Cela conduit à une forte teneur en azote créant ainsi des complexes défavorables à l'absorption du calcium d'où l'apparition des maladies déjà citées. L'objectif de cette étude sera de tester l'effet des engrais foliaires sur l'amélioration de la qualité de la pomme au Liban après entreposage. Une analyse bien détaillée sera développée dans la partie des méthodes.

2 MÉTHODES

2.1 LE PLAN EXPÉRIMENTAL

Situé sur les rives orientales de la Méditerranée, le Liban est compris entre 35° et 36°40' de longitude Est et 33° et 34°40' de latitude Nord. Il est limité par le désert de Syrie à l'Est et représente une littorale méditerranéenne à l'Ouest; cette position géographique fait de lui un pays de contrastes qui relie l'Orient à l'Occident. Les particularités de cette position et du relief, par suite de son climat, ajoutées à celle de la nature variée du substratum géologique se traduisent par une biodiversité remarquable. Un verger de 5 hectares est retenu dans la région du Liban Nord à plus que 1500 m d'altitudes. Ce verger de pomme Golden delicious et Red delicious (Starking), âgé de 20 ans environ sera divisé en 4 zones (Fig. 1): une zone témoin et trois zones divisées chacune en 4 lots de 10 arbres.

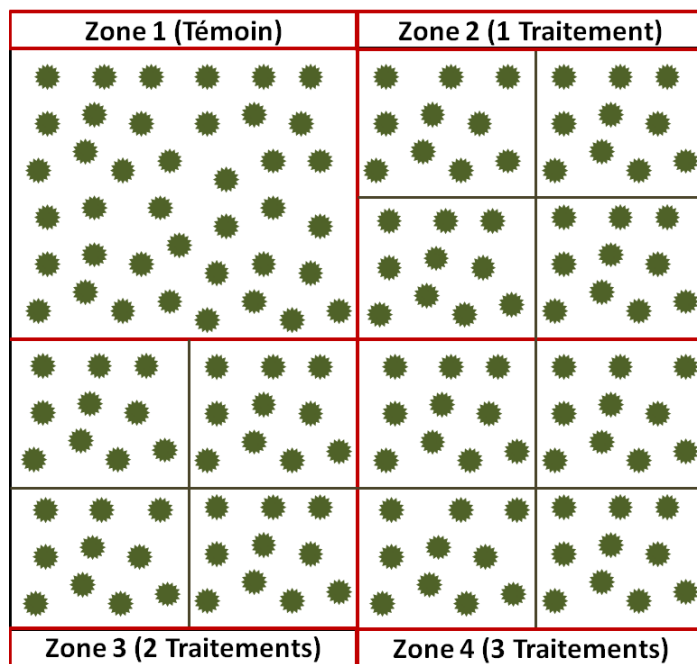


Fig. 1 Distribution schématique des zones et traitements dans le verger de pommes. Schematic ditribution of the zones and treatments in the apple orchard.

Chaque lot correspond à un type d'engrais foliaires. La première pulvérisation avait lieu au début juillet, les deux autres pulvérisations étaient espacées de 1 mois. Les engrais foliaires retenus sont les plus commercialisés sur le marché libanais. On les attribué les lettres A -B -C-D pour chaque type d'engrais dont la composition chimique est présenté dans le tableau 1.

Tab. 1 Les différents types d'engrais foliaire et leur composition chimique. Different types of foliar fertilizers and their chemical composition

Types D'engrais foliaire	Composition chimiques
A	Extrait de plantes Produits de fermentation de Lactobacilles Oligoéléments: Mn, Cu, Fe Thiamine, Nicotinamide, Pyridoxine, Riboflavine
B	N= 8ppm P (P2O5)= 8ppm K= 16ppm CaO= 1ppm Mg= 1000ppm Fe= 1500ppm Zn= 1500ppm Mn= 100ppm Cu= 100ppm Bo= 50ppm Eléments stimulateurs de la croissance végétale (acides aminés)
C	Total N= 8% NO3= 2.5% Organique N= 5.5% P (P2O5)= 3% K (K2O)= 3% Bo (B2O3)= 0.5% MnO= 2% Fe= 0.4% Cu= 0.05% Zn= 0.05% Mo= 0.1% EDTA= 5% Glucose= 2.5% Sucrose= 2.5% Acide Succinique= 0.5% Acide Citrique= 0.1% Acide Tartrique= 0.1% Acide Malique= 0.1%
D	N= 20% P= 20% K= 20% Ca= 5% Oligoelements Acide Humique

2.2 ANALYSES CHIMIQUES

Les analyses chimiques ont concerné les éléments à effet direct sur la qualité du fruit, tel exigée par l'Institution des normes libanaise (LIBNOR) sur les calibres, et les exigences du consommateur sur la qualité organoleptique. Deux échantillons de 100 pommes chacun sont tirés au hasard de chaque lot d'arbres traités des deux variétés les plus répandues au Liban, Golden délicious et Starking délicious. Un échantillon à la récolte et un échantillon après 4 mois d'entreposage à 2°C dans un frigo utilisant le fréon dans le système de froid. Trois répétitions ont été réalisées pour les analyses chimiques. Les analyses chimiques ont été effectuées une semaine après chaque traitement.

2.2.1 LE CALIBRE DES FRUITS

Le calibre des pommes a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse (0-150 x 0.02 mm) et ceci durant la période de l'application des engrais foliaires. Ces mesures servent à distinguer la variation du calibre des fruits après différentes pulvérisation.

2.2.2 LE TAUX DE BRIX (OECD, 2005)

Le taux de Brix est mesuré par un réfractomètre. Deux tranches longitudinales (de l'extrémité du pédoncule à l'extrémité du stigmate) sont coupées sur chaque fruit, la première du côté le plus coloré du fruit et la seconde du côté opposé. La tranche est pressée de manière longitudinale pour extraire un mélange de jus provenant de toutes les zones. Un nombre égal de gouttes provenant du jus préparé avec le fruit est placé sur le plateau du prisme du réfractomètre. Noter la valeur indiquée sur l'échelle du prisme arrondie à la première décimale. Deux lectures pour chaque fruit est faites.

2.2.3 LA TENEUR EN ACIDE MALIQUE ([13])

Avec les mêmes échantillons, 3 gouttes de phénolphthaléine (indicateur) sont ajoutés à la solution composée de jus de pomme. Un titrage avec la solution de NaOH 0.1M est réalisé pour chaque échantillon en versant cette solution lentement sur la solution du jus. Le point de neutralité est atteint quand la couleur de la solution devient rose stable.

Formule :

Teneur de l'acide malique (g/l) =

Où

Titre : quantité de NaOH utilisée et enregistrée sur la burette

Coefficient : acide malique 0,0067 (pommes)

2.2.4 LA TENEUR EN CA, N ET P

Les analyses chimiques de la teneur Ca, N et P ont été réalisé en respectant les techniques et les méthodes de l'AOAC (1990). Le calcium (Ca) faite par la méthode 6.012, l'azote (N) par la méthode 920.152 et le phosphore par la méthode 970.39.

3 RÉSULTATS

EFFET DES ENGRAIS FOLIAIRE SUR LE CALIBRE DES POMMES

Pour les deux variétés testées, l'usage des engrais foliaires est favorable à l'amélioration du diamètre des fruits. L'expérience confirme que l'évolution du diamètre est fonction du nombre de traitement. Le meilleur rendement est obtenu avec 3 pulvérisations. Le tableau 2 représente l'évolution du calibre des pommes après traitement par les engrais foliaires.

Tab. 2 Effet des engrais foliaires en fonction du nombre de pulvérisations sur le calibre des deux variétés de pommes. Effect of foliar fertilizers according to spray number on the calibre of two apple varieties.

Types d'engrais foliaire	Nombre de pulvérisation	Golden delicious			Red delicious		
		pourcentage du calibre des pommes (cm)					
		5<D<5.9 (deuxième choix)	6<D<7 (premier choix)	7<D Extra	5<D<5.9 (deuxième choix)	6<D<7 (premier choix)	7<D Extra
Engrais A	1	65	35			35	65
	2	54	46			16	84
	3	15	85			7	93
Engrais B	1	45	55			19	81
	2	32	68			8	92
	3		100				100
Engrais C	1	54	46			44	45
	2	16	84			29	71
	3	17	65	18		25	75
Engrais D	1	30	70			44	56
	2	22	78			32	68
	3	11	89			3	97
Témoin	Sans pulvérisation	61	7		20	45	35

EFFET DES ENGRAIS FOLIAIRE SUR LE TAUX DE L'ACIDE MALIQUE

L'acide malique a une influence sur la qualité organoleptique de la pomme. Les nouvelles variétés de pomme doivent avoir un taux équivalent et supérieur à 3 g/l. ([3]). Les variétés libanaises sont anciennes et possèdent un taux inférieur à 3g/l. De là, la pomme libanaise est réputée pour son aspect farineux après entreposage et il est impératif de conserver un taux proche de 3 g/l pour éviter le goût farineux. Trois niveaux d'analyses ont été réalisés pour évaluer le taux de l'acide malique, en cours de développement, à la récolte et 4 mois après entreposage. Les résultats sont portés dans les tableaux 3 et 4.

Tab. 3 Evolution de la teneur en acide malique (g/l) selon le stade de développement des deux variétés utilisées, (parcelle témoin). Changes in malic acid content (g/l) according to the stage of development of the two varieties used (control plot).

	Teneur en acide malique (g/litre)	
	Golden delicious	Red delicious
Stade I de développement Diamètre 3 cm	14,12	10,4
Stade I de développement Diamètre 4.5 cm	4,5	4,02
Stade I de développement à la récolte	3,14	3,16

Tab. 4 Teneur en acide malique (g/l) à la récolte et après la récolte en fonction du type d'engrais foliaire sur les deux variétés de pommes. Content of malic acid during harvest and after 4 months of harvest according to the type of foliar fertilizer on the two apple varieties.

Type d'engrais foliaire	Teneur en acide malique (g/l) à la récolte		Teneur en acide malique (g/l) 4 mois après la récolte	
	Golden delicious	Red delicious	Golden delicious	Red delicious
Engrais A	3.85	3.15	2.85	2.65
Engrais B	3.65	3.55	3.1	2.95
Engrais C	3.7	3.2	2.7	2.8
Engrais D	3.4	3.25	2.4	2.25
Témoin	3.14	3.16	2.34	2.26

EFFET DES ENGRAIS FOLIAIRE SUR LE TAUX DE BRIX (INDICE REFRACTOMETRIQUE)

Le taux de Brix représente le pourcentage de la matière sèche soluble. Il a une importance dans l'amélioration de la qualité organoleptique du fruit. Il correspond au taux des sucres totaux exprimés en grammes/litre. Pour la variété Golden

delicious il varie entre 13 et 15% et pour la variété Red delicious, le taux de Brix se situe entre 11 et 15% ([3]). Nous avons suivi ce taux lors du développement des fruits. Les résultats sont portés dans les tableaux 5 et 6.

Tab. 5 Evolution du taux de Brix selon le stade de développement des deux variétés utilisées, (parcelle témoin). Changes of Brix levels depending on the stage of development of the two varieties used (control plot).

	Taux de Brix	
	Golden delicious	Red delicious
Stade I de développement Diamètre 3 cm	9.2	9.6
Stade I de développement Diamètre 4.5 cm	12.8	13.7
Stade I de développement a la récolte	14.3	15.1

Tab. 6 Teneur du taux de Brix à la récolte et après 4 mois de la récolte en fonction du type d'engrais foliaire sur les deux variétés. Content of the Brix levels at harvest and after 4 months of the harvest depending on the type of foliar fertilizer on both varieties.

Type d'engrais foliaire	Teneur du taux de Brix à la récolte		Teneur du taux de Brix après 4 mois de la récolte	
	Golden delicious	Red delicious	Golden delicious	Red delicious
Engrais A	15.1	16.2	14.7	15.1
Engrais B	14.9	15.7	14.5	14.9
Engrais C	15.3	15.9	14.6	14.6
Engrais D	14.7	15.3	13.8	14.5
Témoin	14.3	15.1	13.2	14.1

EFFET DES ENGRAIS FOLIAIRE SUR LE TAUX DE CALCIUM (MG/100G)

Selon la Référence [11], le taux de calcium doit être supérieur à 5 mg/100g de poids frais. Pour une teneur inférieur, les possibilités de développer le Bitter pit et l'échaudure sont confirmées. Lorsque la teneur de calcium est supérieur à 6 mg/100g de matière fraîche on écarte toute possibilité de maladie de conservation, pour cela nous n'avons pas réalisé des analyses de calcium après entreposage. Les résultats sont portés dans le tableau 7.

Tab. 7 Effet des engrais foliaire sur la teneur en calcium à la récolte, mg/100g. Effect of foliar fertilizer on the calcium content at harvest mg/100g.

Type d'engrais foliaire	Nombre de pulvérisation	Red delicious	Golden delicious
Engrais A	1	6.8	7.3
	2	7.4	7.8
	3	7.66	8.2
Engrais B	1	6.7	6.9
	2	7.8	7.3
	3	8.3	7.92
Engrais C	1	6.7	6.57
	2	7.1	6.9
	3	7.6	7.2
Engrais D	1	6.9	6.6
	2	7.2	7.2
	3	7.45	7.84
Témoin	Sans pulvérisation	5.3	5.5

EFFET DES ENGRAIS FOLIAIRE SUR LE TAUX D'AZOTE (MG/100G).

L'azote est un élément essentiel dans la croissance des végétaux en pomoculture, une teneur en azote avoisinante les 50 mg/100g de matière fraîche a une influence sur l'amélioration de la couleur, la fermeté et le calibre des fruits. Les résultats sont portés dans le tableau 8.

Tab. 8 Effet des engrais foliaire sur la teneur en Azote à la récolte et après 4 mois d'entreposage. Effect of foliar fertilizer on the nitrogen content at harvest and after 4 months of storage.

Type d'engrais foliaire	Nombre de pulvérisation	Teneur en Azote à la récolte		Teneur en Azote 44 4mois après l'entreposage	
		Red delicious	Golden delicious	Red delicious	Golden delicious
Engrais A	1	41.5	45.6	39.8	42.6
	2	46.2	48.1	43.1.2	46.2
	3	49.6	52.1	47.6	49.4
Engrais B	1	48.1	53	45.6	50.7
	2	52	58.3	52	55.8
	3	54.3	61.1	54.3	58.6
Engrais C	1	43.2	48.1	40.6	46.6
	2	47.6	51.2	44.8	48.2
	3	49.8	54.5	47.3	51.2
Engrais D	1	41.9	45.2	38.9	41.2
	2	44.6	47.2	41.5	45.6
	3	47.9	55.8	45.9	52.2
Témoin	Sans pulvérisation	43.1	48.1	40.4	44.6

EFFET DES ENGRAIS FOLIAIRE SUR LE TAUX DE PHOSPHORE (MG/100G)

Le phosphore facilite l'absorption du calcium. Ce dernier est un élément de base dans la constitution des lipides, des protéines et des acides nucléiques. Une carence en phosphore induit une mauvaise valorisation de l'azote et du potassium. L'analyse s'est réalisée à la récolte et 4 mois après l'entreposage (Tab.9).

Tab. 9 Effet des engrais foliaire sur la teneur en phosphore à la récolte et après 4 mois d'entreposage. Effect of foliar fertilizers on the phosphorus content at harvest and after 4 months of storage.

Type d'engrais foliaire	Nombre de pulvérisation	Teneur en phosphore à la récolte		Teneur en phosphore 4 mois après la récolte	
		Red delicious	Golden delicious	Red delicious	Golden delicious
		10.3	9.7	9.3	8.9
	2	10.5	10.6	9.8	9.7
	3	10.8	11.5	10.2	10.2
Engrais B	1	9.6	9.2	8.8	8.2
	2	10.2	9.6	9.4	8.9
	3	11.1	10.2	10.2	9.8
Engrais C	1	9.7	9.7	8.6	8.5
	2	10.4	10.2	9.4	9.7
	3	10.9	10.9	9.9	10.1
Engrais D	1	10.3	9.8	9.6	8.6
	2	10.7	10.4	10.1	9.6
	3	11.2	10.8	10.4	10.1
Temoïn	Sans pulvérisation	9.4	9.1	8.6	8.7

EFFET DES ENGRAIS FOLIAIRE SUR LE TAUX DE POTASSIUM (MG/100G)

Le potassium est un activateur de synthèse des protéines, favorise la photosynthèse et les réactions métaboliques et améliore aussi la couleur et les qualités gustatives. Selon les Références [3] et [12]), une concentration élevée de potassium peut bloquer l'assimilation du calcium et magnésium et favoriser l'apparition du Bitter pit durant la conservation. Pour cela, l'importance du potassium est lors de la croissance du fruit. Pour cette raison, ce facteur est analysé lors de la récolte. En cours d'entreposage son rôle est réduit. La concentration du potassium est plus élevée dans les fruits colorés que dans les fruits verts. De là, la concentration est plus importante dans les variétés Red delicious (Tab.10).

Tab. 10 Effet des engrais foliaire sur la teneur en potassium à la récolte

Type d'engrais foliaire	Nombre de pulvérisation	Red delicious	Golden delicious
Engrais A	1	115.6	63.8
	2	123.75	85.6
	3	138.7	88.35
Engrais B	1	119.6	76.15
	2	122.3	77.51
	3	156.3	93.88
Engrais C	1	121	61.2
	2	125.1	73.4
	3	137.35	97.2
Engrais D	1	107.4	73.4
	2	126.4	77.51
	3	139.5	82.95
Témoin	Sans pulvérisation	125.1	70.71

4 DISCUSSION

Les qualités organoleptiques d'un fruit et son potentiel à la conservation dépendent de sa teneur en minéraux et de l'équilibre ionique dans la matière végétale. Les nouvelles variétés de pomme ont été sélectionnées pour répondre à cet équilibre ionique et supporter de longues périodes d'entreposage. Les deux variétés de pomme les plus répandues au Liban sont les variétés Golden delicious et Starking delicious (Red delicious). L'usage des engrais foliaires est devenu une nécessité pour améliorer la qualité des fruits à la récolte et leurs permettre de traverser la période d'entreposage sans subir des dégâts. L'usage des engrais foliaires a réussi de rétablir cet équilibre en effet:

L'acide malique, principal élément pour conserver les qualités organoleptiques de la pomme, a subi une augmentation permettant au fruit de conserver une valeur proche de 3 après 4 mois d'entreposage, dans ce cas, la pomme reste ferme et croquante.

Le taux de brix n'a pas subi une modification représentative. Les 4 types d'engrais foliaires utilisés ont marqué un taux de calcium supérieur à 7,5. On est loin du seuil de 5 mg/100g de matière sèche nécessaire selon la Référence [12], pour éliminer les risques de Bitter pit et de l'échaudure. Les résultats après 4 mois d'entreposage sont presque similaires à celle de la récolte L'azote,

Le potassium et le phosphore sont des éléments essentiels qui rentrent dans la structure des molécules biologiques (acides aminés, protéines, acides nucléiques etc.). Ces molécules biologiques rentrent dans la structure de la membrane cellulaire et des métabolismes secondaires qui élaborent les arômes et les substances de réserves des fruits.

IMPACT ECONOMIQUE DE L'APPLICATION DES ENGRAIS FOLIAIRES.

Au l'orée du 21 ième siècle, le consommateur est devenu de plus en plus exigeant sur la qualité de ses denrées alimentaires, de même, les normes imposées par les organismes internationaux sur la qualité des fruits déterminent son prix.

Les normes de classification de la pomme se divisent en 4 catégories:

Classe extra: calibre ≥ 7 cm

Première classe: $6\text{cm} \leq \text{calibre} \leq 7\text{cm}$

Deuxième classe: $5\text{cm} \leq \text{calibre} \leq 6\text{cm}$

Classe industrielle: calibre $\leq 5\text{cm}$

Les commerçants payent le prix de la pomme en fonction de son calibre. Ainsi la moyenne du prix d'un kilo de pomme pratiqués sur les 3 dernières années, départ exploitation, est:

Classe extra: 0.51 Euro

Première classe: 0.35 Euros

Deuxième classe: 0.28 Euros

Classe industrielle: 0.16 Euros

De là, l'objectif économique des agriculteurs est d'atteindre une production plus orientée vers les catégories extra et première classe que vers les autres classes. De là l'usage des engrais foliaires a permis aux pomiculteurs d'améliorer la qualité et par la suite d'augmenter leur prix de vente. La moyenne de production d'un hectare de pomme pour la variété Golden delicious est de 20 tonnes, tandis que la variété starking delicious est de 25 tonnes. En se basant sur le tableau 1 et 2, une tonne de chaque variété se repartie comme suit:

Variété: Golden delicious

Une tonne de pomme golden non traitée (témoin) a produit:

Classe extra: -----

Première classe: $70 \text{ kg} \times 0.35 = 24.5 \text{ Euros}$

Deuxième classe: $610 \text{ kg} \times 0.28 = 170.8 \text{ Euros}$

Classe industrielle: $320 \text{ kg} \times 0.16 = 51.2 \text{ Euros}$

Total prix d'une tonne de pomme golden non traitée = 248.97 Euros.

Pour les pommes traitées avec de l'engrais foliaires, nous avons réalisé une moyenne des 4 types d'engrais utilisés. Ainsi une tonne de pomme Golden traitée se repartie comme suit :

Classe extra: $36 \text{ kg} \times 0.51 = 18.36 \text{ Euros}$

Première classe: $862 \text{ kg} \times 0.35 = 301.7 \text{ Euros}$

Deuxième classe: $102 \text{ kg} \times 0.28 = 28.56 \text{ Euros}$

Classe industrielle: -----

Total prix d'une tonne de pomme golden traitée par des engrais foliaires est 392.82 Euros

De même, pour les pommes traitées avec de l'engrais foliaires, nous avons réalisé une moyenne des 4 types d'engrais utilisés. Ainsi une tonne de pomme starking traitée se repartie comme suit:

Classe extra: $918 \text{ kg} \times 0.51 = 468.18 \text{ Euros}$

Première classe: $82 \text{ kg} \times 0.35 = 28.7 \text{ Euros}$

Deuxième classe: -----

Classe industrielle: -----

Total prix d'une tonne de pomme starking traitée par des engrais foliaires est 499.36 Euros.

Par simple calcul, l'agriculteur a amélioré ses revenus d'un hectare de pomme Golden de 1977.11 Euros/ha pour un coût de pulvérisation de 96 euros/hectare soit un bénéfice de 1881.11 Euros. Pour la pomme starking, les revenus d'un hectare ont été améliorés de 2599.60 Euros, sachant que le SMIC au Liban est de 175 Euros.

5 CONCLUSION

La pomoculture constitue la première culture de montagne et la principale source de revenu des agriculteurs. La non-conformité de la production de pomme aux normes a déclassé la production et le pourcentage des catégories deuxième et industriel est devenu dominant par rapport aux catégories extra et premier choix. Le renouvellement du verger est une opération onéreuse car les agriculteurs ne possèdent aucun soutien ou subvention. L'usage des engrais foliaires est très limité par manque de formation et d'information agricole. Notre étude a confirmé l'importance de cette pratique pour améliorer la qualité de la pomme et assurer une valeur ajoutée et surtout des débouchés pour la production.

REMERCIEMENT

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à l'Université Libanaise faculté d'Agronomie et Sciences Vétérinaire pour le financement de ce projet et pour avoir mis à notre disposition les bases de données, les moyens de recherches et les accès aux laboratoires et cela nous a aidé bien à la réalisation de ce travail.

REFERENCES

- [1] Saadé, *L'exportation des produits agricoles libanais*. CREAL Beyrouth, 49 p, 1993.
- [2] Médawar S., *La pomme, techniques de production*. Publication ILDES, Liban 45 p, 2000.
- [3] Soing P., *Fertilisation des vergers, Environnement et qualité*, CTIFL, 72 p, 1999.
- [4] Tomala k., Orchard factors affecting fruit storage quality and prediction of harvest date of apples, *Acta Horticulturae*, 485: 373-381, 1999.
- [5] Geofrion R., Le bitter pit des pommes, *Phytoma*, La défense des végétaux, Vol. 528 :49-53, 2000.
- [6] Garman P. and Mathis W.T., Studies of minerals as related to occurrence of "Baldwin" spot in Connecticut, *conn. Agr. Expt. Sta. Rev.* 607:5- 19, 1956.
- [7] Faust M., Shear C.E., Corking disorders of apple, *Botanic review*, 34,441-469, 1968.
- [8] Fergusson I.B., Watkins C.B., Bitter pit in apple fruit, *HortScience*. 289-355, 1989.
- [9] Geofrion R., La déshydratation de la pomme Golden delicious pendant sa conservation. *Phytoma - La défense des végétaux*. Vol. 442 :25-29, 1992.
- [10] Bondoux P., *Maladies de conservation des fruits à pépins: pommes et poires*, 135 p, 1992.
- [11] Chapon J.F, 1995. *Pomme: raisonner la lutte anti échaudure*. Infos- Ctifl n° 108, 32-35, 1995.
- [12] Vaysse et al. *La pulvérisation foliaire de Calcium*, infos-CTIFL n° 90, 31-33, 1993.
- [13] Trillot M. et al. *Pomme: les variétés*. pp. 22-24, 71-76, 157-159, 1993.

Socioeconomic perception and knowledge of the consumption of *Ablo*, a cereal food fermented of Benin

Jultesse S. B. BANON¹, Innocent YAOU BOKOSSA¹, Célestin C. K. TCHEKESSI¹, Pivot SACHI¹, Anayce DJOGBE¹, Roseline BLEOUSSI¹, and Guy Apollinaire MENSAH²

¹Unit of Research in Sanitary Safety of Food (URSSA), Laboratory of Microbiology and Food Technologies (LA.MI.T.A), Department of Plant Biology, Faculty of Sciences and Technics (FAST), University of Abomey-Calavi (UAC), Benin

²National institute of the Agricultural Research of Benin (INRAB), 01 BP 884 principal receipt, Cotonou 01, Benin

Copyright © 2016 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 Ablo is a cereal food fermented. It is considered like a humid, slightly, salty and sugary bread, cooked steam and sold under shape of ball. The objective of the survey is to have present quantitative and qualitative data on the consumption of Ablo in Benin. The methodology adopted to consist in doing an investigation of land in some townships of the center (Abomey, Bohicon, Covè) and of the south (Abomey-Calavi, Comè, Cotonou) Benin by the consumers of Ablo. The results of our investigations showed that the Ablo is a food descended of the informal sector of street food. The consumers of Ablo are of all age and all socio-professional category. The consumers are of three categories to know the population, the promoters of feast and the hotels and restaurants. The Ablo is consumed to the snack for the majority and is served to hot accompanied of pimento or frying more of fish or meat fried.

KEYWORDS: *Ablo*, Benin, investigation, socio-economy, consumption.

1 INTRODUCTION

A sufficient food constituted of several types of products permits the satisfaction of the needs of the organism. The cereals (corn (*Zea mays*), sorghum (*Sorghum bicolor*), rice (*Oryza sativa*), wheat (*Triticum spp*), thousand (*Pennisetum spp.*)) make integral part of the food tradition of the peoples of Africa, in particular of Benin. They are used alone or in combination, sometimes in substitution in numerous traditional culinary preparations. Indeed, in the big cities of Benin, the tendency to the combination or to the substitution of the cereals concerns many traditional foods as Gowé, Akpan, *Ablo*, ... [1].

Ablo, slightly sugary humid bread, produce from the dough fermented of corn or rice, procure substantial income to the transforming women ([2]; [3]). This humid bread in the shape of wad is very consumed very in Benin, especially in the big city ([4]; [5]; [6]; [7]; [8]).

The sector of the traditional transformation of the food commodity plays a strategic role in the national food security by the transformation of the local products; the food provision by the preparation of food locally known on the cultural plan and the use of the women of which the transformation of foods being their main source of income in the urban zone [9].

The daily income generated by the trade of street food raised an amount between 1.500 and 15.000 francs CFA by seller [10]. The contemporary life style is very distant of what made itself in the past. Thus, hurried by the time, the increase of the number of unmarried people, mono-parent family and women that work, drove to deep changing in the preparation of food and the habit of consumption.

The sector of the street food takes a dimension however all particular in the African urban center where the fast urbanization and the economic difficulty encouraged the increase of the number of seller of food on the public way [11].

However, it is a sector of activity implying important add money and supplier of job to a large proportion of the population, including women and the whole family ([12; [13]; [14]).

According to the [11], the sanitary safety of street food is crucial. It concerns food in general and fermented food in particular. This sector has been defined by the [11] as the sector especially producing foods and drinks loan to be consumed, prepared and sold by sellers, in the street and in the other similar public places. By this channel, the system of urban restoration also offers a lot of traditional foods to base of the local products that of the dish and the new practices either improved, adapted to the need and the weak income many urban residents.

The survey initiated to collect the present information relative to the consumption of *Ablo*. It has for objective to have quantitative and qualitative data on the consumption of *Ablo* in Benin.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 MATERIALS

The investigations have been done in some townships of the center (Abomey, Bohicon and Covè) and of the south (Abomey-Calavi, Comè and Cotonou) Benin by the consumers of *Ablo* with the help of a questionnaire integrating questions of order sociocultural and economic. The figure 1 above presents the positioning of the investigation zones on the card of Benin.

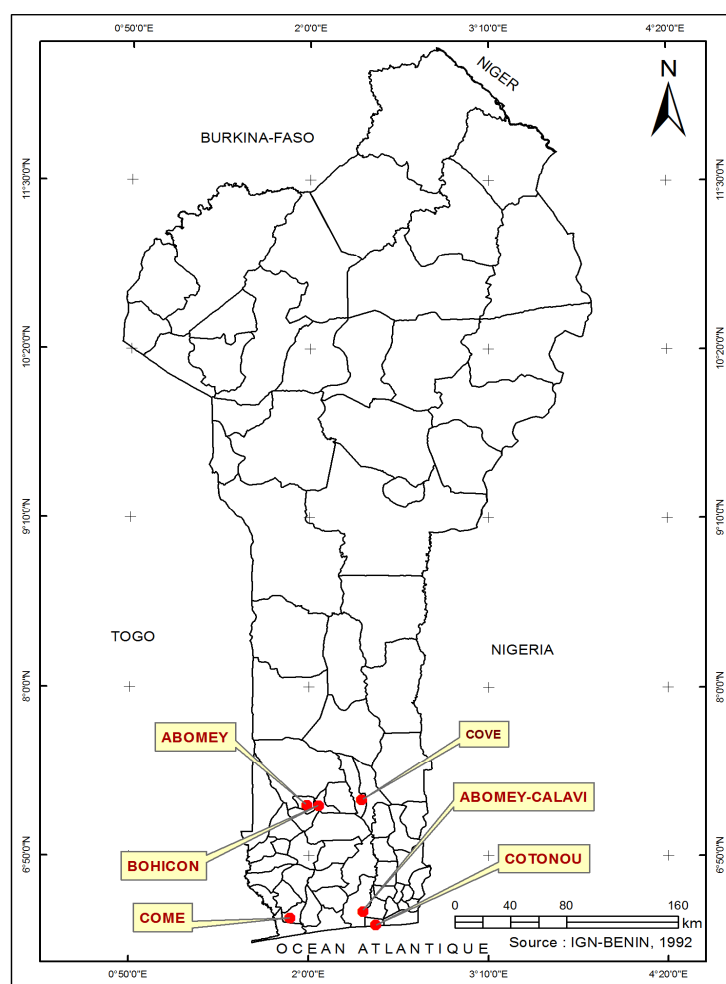


Fig. 1. Card of positioning of the investigation zones

2.2 METHODS

2.2.1 SAMPLING OF THE INVESTIGATIONS

The adopted methodology has been centered on investigations of land that took place mainly in four phases under shape of semi - structured interviews on the base of a questionnaire. The four phases were the following: the exploratory phase, the phase of sampling, the phase of collection of the data and the phase of analysis of the data. The number of them investigated has been determined from the formula of [15]:

$$N = U_{1-\alpha/2}^2 \times \frac{pi(1-pi)}{d^2}$$

N : size of the sample

pi : proportion of transforming " specific n " by type of data on the whole " NT " of the actors of the path (pi = n/NT)

d : margin of the mistake fixed to 5%.

U_{1-α/2}: value (1,96) of the normal law table for a line of confidence of 95%.

The size of the sample gotten was of 73 consumers of Ablo. The proportion of the consumers of Ablo investigated by township is indicated above in the table1.

Table 1. Distribution of respondents by municipality

Municipality	Population	Number of women	Rate of poll	Consumers	Percentage of respondents
Abomey	92 825	47 990	0.05	4	5.17
Abomey-Calavi	655 965	34 003	0.38	28	37.50
Bohicon	170 604	89 474	0.10	7	9.90
Comè	79 665	41 407	0.05	4	5.17
Cotonou	678 965	353 590	0.39	28	39.70
Covè	50 235	26 251	0.03	2	2.60
Total	1 728 166	892 715	1	73	100

Source: [16]

2.2.2 STATISTICAL ANALYSIS

The software Microsoft Excel XP has been used to do the descriptive statistics calculations. The software MINITAB served to analyze the data of investigation. The retained significance level is of 5% (p <0.05).

3 RESULTS

Ablo is a dough fermented steam firing. Originally, the *Ablo* is prepared from the corn following a traditional process including a stage of spontaneous fermentation of the mixture gotten from the mawè and water. According to the producers and sellers, the *Ablo* is comparable to humid bread presenting a whitish color, a pleasant aroma and a sugary and slightly acidic flavor.

The original technology of production using the corn solely came of the Mina and of the Watchis from the departments of the Mono and the Couffo to the south of Benin. These populations are border of the neighboring Togo and transmitted thanks to the brewing the technology of production to the Togolese population.

Intended to consumption to the domestic scale in the worry to vary the dish, the *Ablo* became thereafter a commercial product. The merchandising influenced the evolution of the technology with the introduction of another raw material notably rice used like substituting partial or complete and of ingredients as salt, sugar, the flour of wheat and the yeast.

The figures 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 12 and 13 present the sociocultural and economic information below relative to the consumption of *Ablo*.

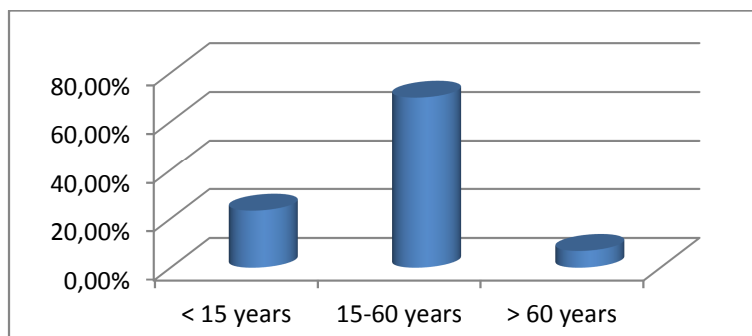


Fig. 2. Diagram of distribution of consumers according to age

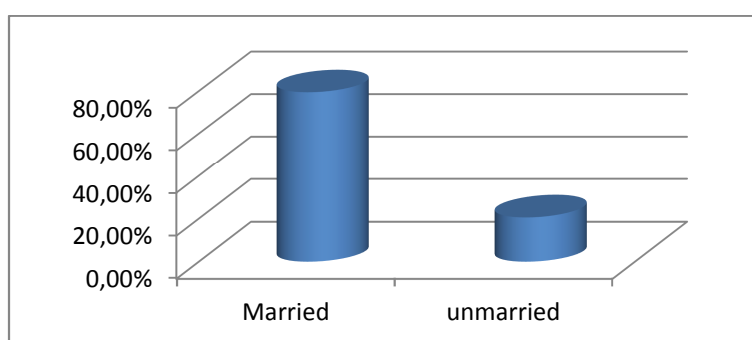


Fig. 3. Diagram of distribution of consumers according to their matrimonial situation

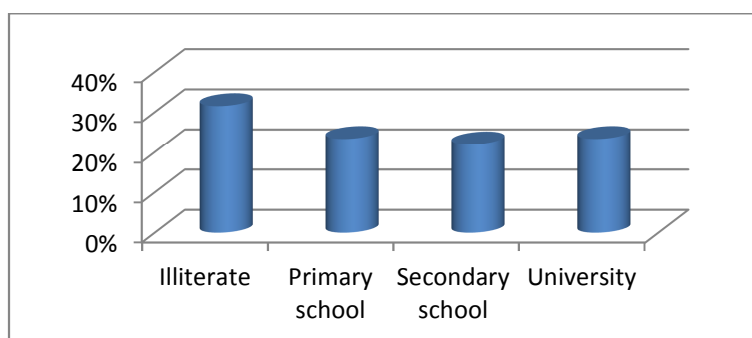


Fig. 4. Diagram of distribution of consumers according to education

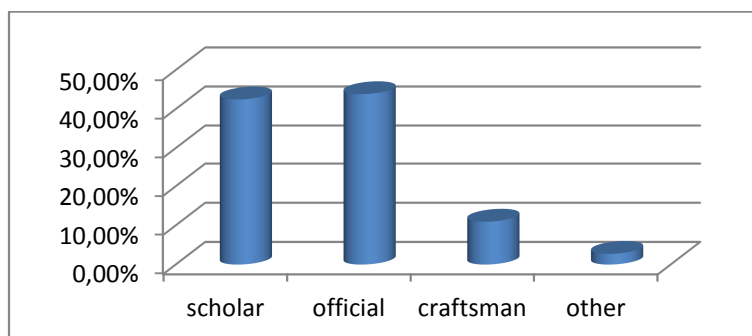


Fig. 5. Diagram of distribution of consumers according to their social status

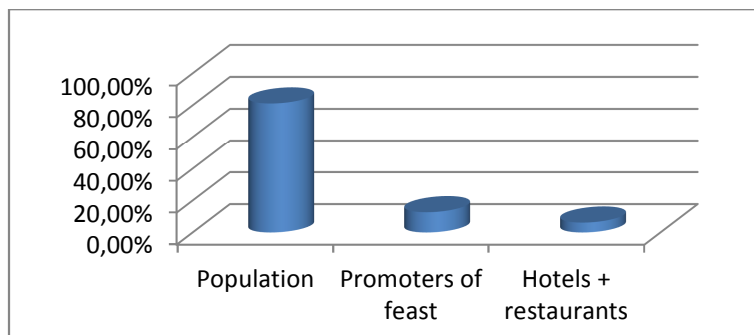


Fig. 6. Diagram of distribution of consumers

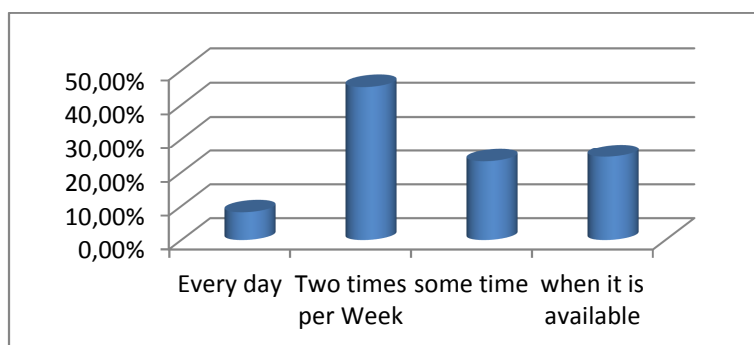


Fig. 7. Diagram of distribution of consumers according to their frequency of consumption

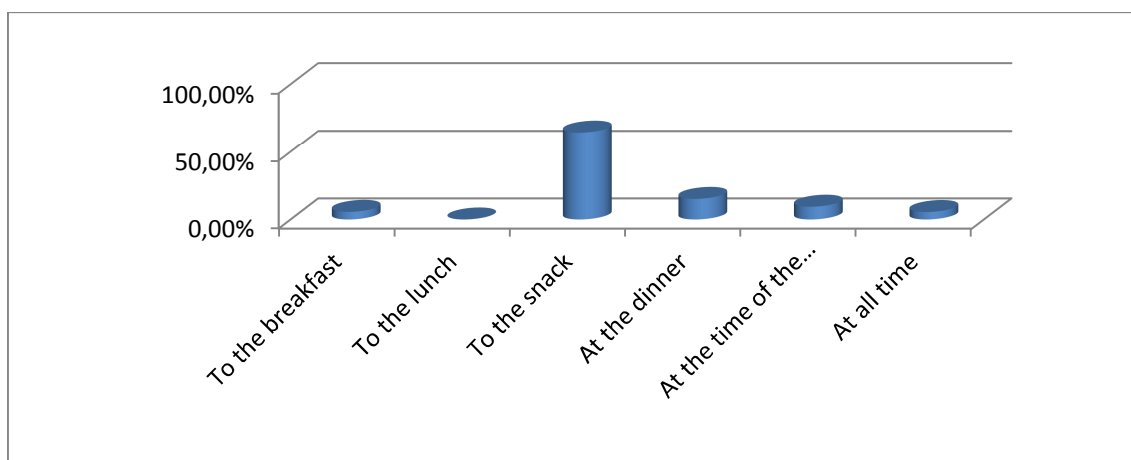


Fig. 8. Diagram of distribution of consumers according to opportunity of consumption

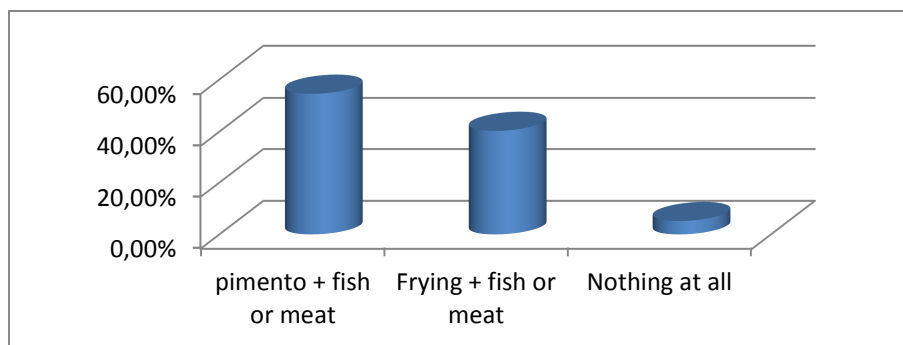


Fig. 9. Diagram of distribution of consumers according to dish of accompaniment

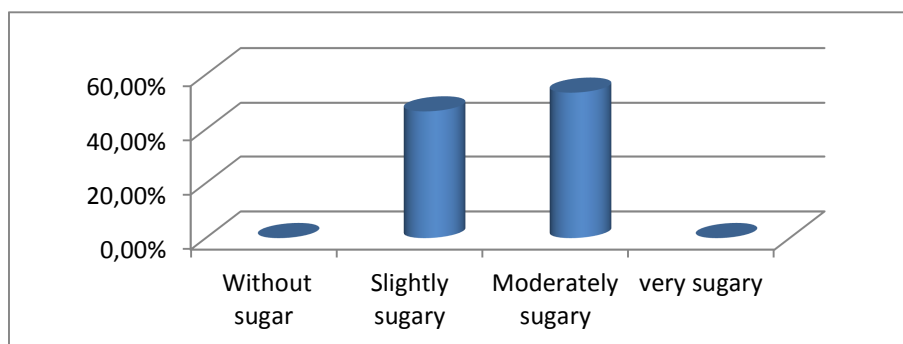


Fig. 10. Diagram of distribution of consumers according to appreciation of the sugar rate

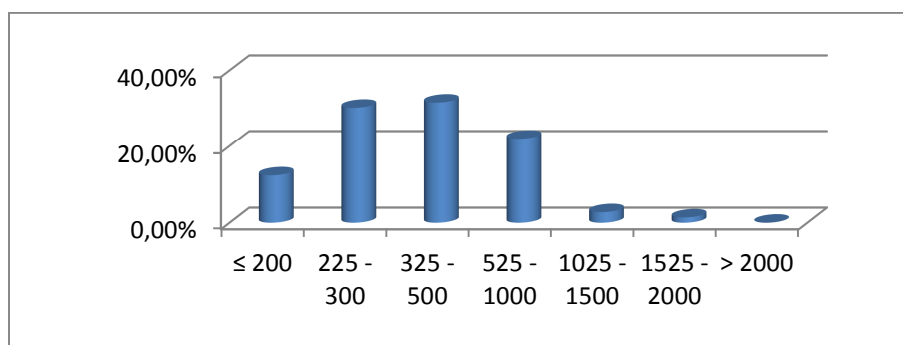


Fig. 11. Diagram of distribution of consumers according to quantity bought in FCFA to every consummation

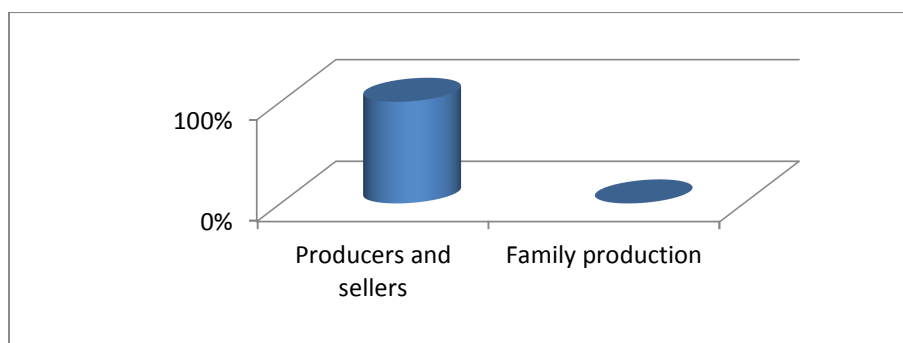


Fig. 12. Diagram of distribution of consumers according to source of procurement

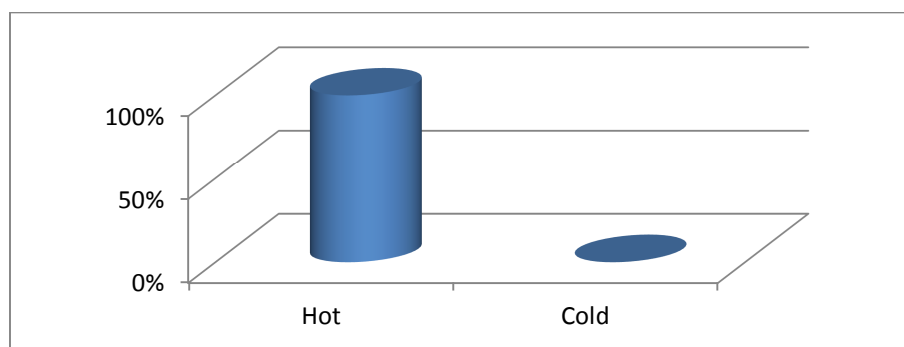


Fig. 13. Diagram of distribution of consumers according to temperature of consumption

4 DISCUSSION

The results of investigation show that the *Ablo* is a food descended of the informal sector of street food. The consumers of *Ablo* are of all age (figure1) and of all socio - professional category (figure5). It explains the obstruction of the population for the *Ablo* and confirms the results of ([3]; ([17])). They are for most bridegrooms (79.45%). The majority (32%) is illiterate. It is due to the fact that the population of Benin is in majority illiterate. These results are compliant to those of [16] who showed that the population of Benin is close to 60% illiterate.

The population, the promoters of feast and the restaurants and hotels represent 81.16%, 12.66% and 6.18% of the consumers respectively. The weak proportion (6.18%) of the restaurants and hotels are due to the fact that the product is not part of their menu. Thus, the *Ablo* is sold in these centers that on order of the users.

45.20% of the consumers take the *Ablo* two times per week (figure7) and 64.38% consume it to the snack (figure8). What justifies the behavior of the producers in urban surroundings that begin the production around 16 hours PM. These results are compliant to those of [3].

They consume the *Ablo* only or accompanied of pimento or frying more meat or fish (face 9). The majority (54.33%) use pimento. This behavior especially explains itself by the fact that pimento is offered free by the seller whereas frying is paying. Indeed, the manufacture of frying requires more ingredients.

53.42% of the consumers prefer that the *Ablo* is fairly sweetened. The majority often has an included consumption between 225 and 1000 francs CFA (figure11). They get a stock all (figure12) among the producers and sellers and consume it to hot (figure13). It explains the behavior of the producers and sellers of *Ablo* who adopted some means to preserve the product hot. Thus, the *Ablo* is preserved in icebox in urban surrounding and in sachet in Comè.

5 CONCLUSION

The survey shows that the *Ablo* is a food descended of the informal sector of street foods. The consumers of *Ablo* are of all age and all socio - professional category. The consumers are of three orders to know: the population, the promoters of feast and the hotels and restaurants. The *Ablo* is consumed to the snack for the majority and is served hot accompanied of pimento or frying more fish or meat fry.

REFERENCES

- [1] Agro, D. A., optimisation des conditions de fermentation de la pâte pour la préparation de l'ablo a base du riz. Mémoire de Master, soutenu à la FAST/UAC, 56 p, 2013.
- [2] Dossou J, Osseyie G, Kodjo F, Ahokpè K. et Odjo S.D.P., Evaluation des procédés traditionnels de production du ablo, un pain humide cuit à la vapeur, au Bénin. Int. J. Biol. Chem. Sci. 5(3): 953-967, 2011.
- [3] Bokossa I. Y., Banon J. B. S, Tchekessi C. K. C., Dossou-Yovo P., Adeoti K. et Assogba E., Evaluation socio-économique de la production de *Ablo*, une pâte de maïs fermentée du Bénin. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin. Numéro spécial, 35-40, 2013.
- [4] Ahoyo A. N. R., Djinadou A. K. A., Adégbola Y. P., Allagbe C.M., Gotoéchan M. H., Adjanohoun A. et Mensah G. A., Technologies améliorées de production, de conservation et de transformation du maïs existantes au Bénin. Résumé du

- document Technique et d'Information. MAEP/ProCAD/PPAAO/CNS-Maïs et INRAB/Bénin. 117 p. Dépôt légal N° 6947 du 04 novembre 2013, 4ème trimestre 2013, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin ISBN : 978 – 99919 – 1 - 612 – 5 En ligne (on line) sur le site web : <http://www.slire.net>, 2013.
- [5] Dansou V., Utilisation de variétés locales de riz pour la production de Ablo au Bénin. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de conception. Option : Génie de Technologie Alimentaire. Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi 77 p, 2013.
- [6] Houssou A.P., Dansou V. et Mensah G. A., Utilisation des variétés localement cultivées de riz pour la production du ablo au Bénin. Fiche Technique N° 2. Dépôt légal N° 7652 du 16/12/2014, 4ème trimestre, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin – ISBN : 978 – 99919 – 0 – 262 – 3. 17 p, 2014.
- [7] Aboudou A., Akissoé N., Mestres C. et Hounhouigan D. J., Optimisation de la fermentation en milieu semi-solide pour la production d'ablo, pain cuit à la vapeur d'Afrique de l'ouest. Journal of Applied Biosciences 82:7469– 7480 ISSN 1997– 5902, 2014.
- [8] Houssou P., Dansou V., Agro A., Hounyèvou klotoé A. et Akissoé N., Mise au point et test d'un cuiseur à vapeur et d'un fermenteur pour la production du Ablo. Rapport d'activité projet 4/PPAAO/CNS-Maïs. 21 p, 2015.
- [9] Nago M. C. et Hounhouigan D. J., La technologie traditionnelle de transformation du maïs en pâte fermentée au Bénin. Rapport de recherche N°1, FSA-IRAT- CEE, 30 p, 1990.
- [10] FAO, Documents et rapports de projets sur le secteur informel de l'alimentation. FAO, Rome, Italie, 43 p, 1996.
- [11] FAO, Les Bonnes pratiques d'hygiène dans la préparation et la vente des aliments de rue en Afrique – outils pour la formation. FAO : Rome, 2007, 176 p, 2007.
- [12] Aholou-yeyi, A. M., Evaluation du système technique artisanal de production de *Ablo*, un pain cuit à la vapeur. Thèse. Ing. Agr, FSA/UAC, 61p, 2007.
- [13] Banon, S.B.J., Evolution de la flore microbienne au cours de la fermentation d'un produit alimentaire fermenté du Bénin: cas de *Ablo*. Mémoire de Master, soutenu à la FAST/UAC, 57 p, 2012.
- [14] Tchekessi C.K.C., Bokossa Yaou I., Hounkpatin G.J.F., Banon J., Adigun N., Sachi P., Agbangla C., Etude socio-économique et technologique de fabrication des boulettes de céréales pour la production d'une boisson fermentée de type probiotique consommée au Bénin. International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 9(3), pp. 1323-1335, 2014.
- [15] Dagnelie P., Statistique théorique et appliqué. De Boeck et Larcier, Paris, vol. 2, 659 p, 1998.
- [16] INSAE. Résultats du quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH4), République du Bénin, 8 p, 2013.
- [17] Ahokpe, K. F., Valorisation des aliments traditionnels locaux : Evaluation des procédés traditionnels de préparation de *Ablo*, une pate fermentée cuite à la vapeur. Thes. Maît., FAST/UAC, 51P, 2005.

EPURATION DES EAUX USEES PAR LAGUNAGE A MICROPHYTES EN AFRIQUE TROPICALE: CAS DE LA STATION DE TRAITEMENT DE ZONGO-ZENON A PARAKOU (NORD-BENIN)

[REFINING LIQUID WASTE BY MICROPHYTES LAGOONING IN TROPICAL AFRICA: CASE OF THE REFINING STATION OF ZONGO-ZÉNON IN PARAKOU (NORTHERN BENIN)]

Abdoul-Ramane ABDOULAYE¹, Y. M. A. Ramanou ABOUDOU¹, Isidore YOLOU¹, and Salifou KPERA ZIME²

¹Département de Géographie et Aménagement du Territoire,
Université de Parakou, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines,
Parakou, Bénin

²Direction des Services Techniques,
Mairie de Parakou,
Parakou, Bénin

Copyright © 2016 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: A study based on liquid waste refining has been carried out on a three-basin channel (one anaerobic, one optional, and one of maturation) of microphytes lagooning at the liquid wastes refining station from the Arzèkè market in Parakou (Benin), from June to August 2014. Quality determining measurements have been used for ten weeks on samples collected following a daily frequency for some, and a weekly frequency for others. The average refining yields have reached 82.39% in MES, 86.04% in DBO5 and 86.18% in DCO. The MES supplemental concentrations of the refined effluent are positive in 50% of the used measurements following recommended rejection norms by the European Union directives (< 150 mg/l/1). Elimination of the phosphor is low and unstable with a 19.75% in PO_4^{3-} average yield. Azotic pollution reduction has reached 53.98% in ammoniac azote, at times going beyond 75%. Globally, the Azote and phosphor elimination is low, and the supplemental contents remain quite high compared to the accepted limit for an effluent rejection in a sensitive eutrophication ecosystem. Lowering the bacterial pollution is important, reaching 6.32 ulog in overall coliforms and 5.24 ulog for *Escherichia Coli*. But the supplemental contents (3, 71 ulog) remain higher than the WHO norm (< 3 ulog) for a non-restrictive re-use in irrigation. As for the salmonellas, studies have revealed that station adopt a partial refinement going from 40 to 50%.

KEYWORDS: Performance, channel, concentration, yield, effluent, lowering.

RESUME: Une étude portant sur l'épuration des eaux usées a été menée sur une filière de trois bassins (un anaérobie, un facultatif et un de maturation) de lagunage à microphytes à la station d'épuration des eaux usées du marché international de Parakou (Bénin) de juin à août 2014. Des mesures d'indicateurs de qualité ont été effectuées pendant 10 semaines sur des échantillons prélevés suivant une fréquence journalière pour certains et hebdomadaire pour d'autres. Les rendements épuratoires moyens atteignent 82,39% en MES, 86,04% en DBO5 et 86,18% en DCO. Les concentrations résiduelles en MES de l'effluent traité répondent dans 50% des mesures effectuées aux normes de rejet recommandées par la directive de l'Union Européenne (< 150 mg/l/1). L'élimination du phosphore est faible et instable avec un rendement moyen de 19,75% en PO_4^{3-} . La réduction de la pollution azotée atteint en moyenne 53,98% en azote ammoniacal, se chiffrant par moment au-dessus de 75%. De manière globale, l'élimination de l'azote et du phosphore est faible et les teneurs résiduelles restent assez

élevées par rapport à la limite tolérable pour un rejet d'effluent dans un écosystème sensible à l'eutrophisation. L'abattement de la pollution bactérienne est important allant jusqu'à 6,32 ulog en coliformes totaux et 5,24 ulog pour *Escherichia Coli*. Mais les teneurs résiduelles (3,71 ulog) restent tout de même supérieures à la norme OMS (< 3 ulog) pour une réutilisation non restrictive en irrigation. Concernant les salmonelles, les études ont montré que la station assure une élimination partielle allant de 40 à 50 %.

MOTS-CLEFS: Performance, filière, concentration, rendement, effluent, abattement.

1 INTRODUCTION

Nombreux sont les pays tropicaux, en particulier ceux du tiers monde qui ne bénéficient pas de stations d'épuration. Cependant ces pays ne peuvent plus évoluer sans que l'aspect assainissement soit pris en compte par les pouvoirs politiques. En effet, dans le souci de garantir une meilleure santé publique et de protéger l'environnement pour un développement durable, le besoin de promouvoir l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles s'avère important et doit être pris en compte par les autorités administratives et politiques. Cependant le système qui serait le mieux adapté pour l'épuration des eaux usées dans ces pays tropicaux devrait prendre en compte les conditions climatique, sociale, politique et économique [1].

L'inadaptation des systèmes intensifs appliqués pour l'épuration des eaux usées dans certaines villes d'Afrique (boues activées) par rapport au niveau de technicité a constitué un handicap majeur dans de nombreux cas [2]. Diverses études sur des systèmes de traitement des eaux usées ont révélé que les technologies intensives qui représentaient 76% des stations construites en Afrique francophone en 1993, sont inadaptées dû à plusieurs facteurs comme le coût d'exploitation élevé, la non-disponibilité des pièces de rechange, le manque d'expérience et de la non-appropriation technologique du personnel en charge de la gestion de ces systèmes [3]. Le principal défi consiste à développer les options de traitement qui soient à la fois efficaces et techniquement adaptées aux conditions environnementales et financières des pays africains.

Selon [4], le procédé d'épuration par lagunage a vu le jour en Afrique de l'Ouest vers la fin des années 80 et connaît un intérêt grandissant auprès des décideurs politiques africains pour sa souplesse dans l'exploitation, la gestion et l'intégration dans ce contexte socio-économique. Selon le même auteur, au niveau expérimental, les procédés de lagunages montrent de bonnes perspectives d'implantation, mais aucune station n'a encore réellement fonctionné à grande échelle, pour des raisons d'ordre économique et d'un manque d'appui politique.

A l'instar de certains pays de l'Afrique francophone, le Bénin dispose de trois systèmes de traitements des eaux usées à savoir:

- le système intensif à boue activée du CNHU Hubert K. MAGA de Cotonou
- les systèmes extensifs d'EKPE, du Marché International ARZEKE de Parakou
- les systèmes extensifs de TAKON (Porto-Novo) et de Wanssirou-Gah (Parakou) non encore mise en service.

La station d'épuration des eaux usées du Marché International ARZEKE de Parakou, objet de la présente étude rencontre d'importants problèmes d'exploitation: faible production d'eau usée, colmatage de la conduite principale menant l'eau usée à la station de traitement entraînant de fréquentes nuisances olfactives, fréquentes casses au niveau des conduites drainant les eaux usées vers la station, manque d'entretien de la station entraînant un fort taux de boue dans le bassin anaérobie. C'est donc pour apporter notre contribution que la présente étude a été initiée afin d'optimiser le fonctionnement de cette station.

L'objectif de la présente étude est d'évaluer les performances épuratoires de la station d'épuration des eaux usées du Marché International Arzèkè de Parakou.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 PRESENTATION GENERALE DU MILIEU D'ETUDE

La ville de Parakou est située entre 9°18 et 9°22 de latitude Nord et 2°33 et 2°37 de longitude Est [5]. Les données publiées [6] montrent que la population de la ville de Parakou a connu une augmentation spectaculaire. La population qui n'était que de 14 000 habitants en 1961 est passée à 60 000 et 103.577 respectivement en 1979 et 2002 pour plus de 254 254 habitants en 2013. Cette augmentation de la population entraîne forcément un accroissement des besoins et de la demande en denrées alimentaires frais. Les agriculteurs, attirés par le développement de la ville de Parakou à la recherche d'emplois plus rémunérateurs, trouvent à travers le maraîchage des opportunités pour assurer leur survie sur le plan économique.

2.1.2 DESCRIPTION DES CONDITIONS CLIMATIQUES

Dans un système lagunaire, le climat affecte, de façon directe, les processus biologiques qui s'y déroulent, et par conséquent, le rendement épuratoire des lagunes. A l'aide des données climatiques recueillies entre 2001 et 2014 par [7] pour la région de Parakou, nous pouvons étudier les principales conditions climatiques intervenant dans le bon fonctionnement du lagunage naturel, à savoir : la température, l'ensoleillement, la pluviométrie et l'évaporation. Le climat de la commune de Parakou est de type soudano-Sahélien avec deux saisons : une saison pluvieuse s'étendant d'Avril à Octobre et une saison sèche allant de mi-octobre à mi-avril. Elle est caractérisée par une humidité maximale annuelle qui est de 97% et enregistrée dans le mois de septembre alors que l'humidité minimale est de 20% et enregistrée entre janvier –février. La température annuelle maximale est de 36,7 °C dans le mois de mars et la température minimale annuelle est de 18,5°C dans le mois de décembre. L'évaporation annuelle maximale est de 245,5 mm en mars et l'évaporation minimale est de 103,3 mm en août. La hauteur d'eau annuellement enregistrée varie entre 1.000 mm et 1.500mm pour 75 à 140 jours effectifs de pluie.

2.1.3 PRESENTATION DE LA STATION D'ÉPURATION

Créée en 1996 avec le concours de la Caisse Française de Développement (CFD), la station d'épuration des eaux usées de Parakou, d'une superficie de 1738 m², est dimensionnée pour recevoir une charge de 23,5kg du Demande Biochimique en Oxygène (DBO5/j) et traiter environ 27 m³ d'eaux usées brutes par jour en provenance du décanteur primaire venant des WC et douches du marché international Arzèkè de Parakou. Elle est située entre 09°20' et 9°20'03'' longitude Nord et 02°37'30'' et 02°37'33'' latitude Est et est adjacente à des terres agricoles (sites maraîchers) (Figure 1).

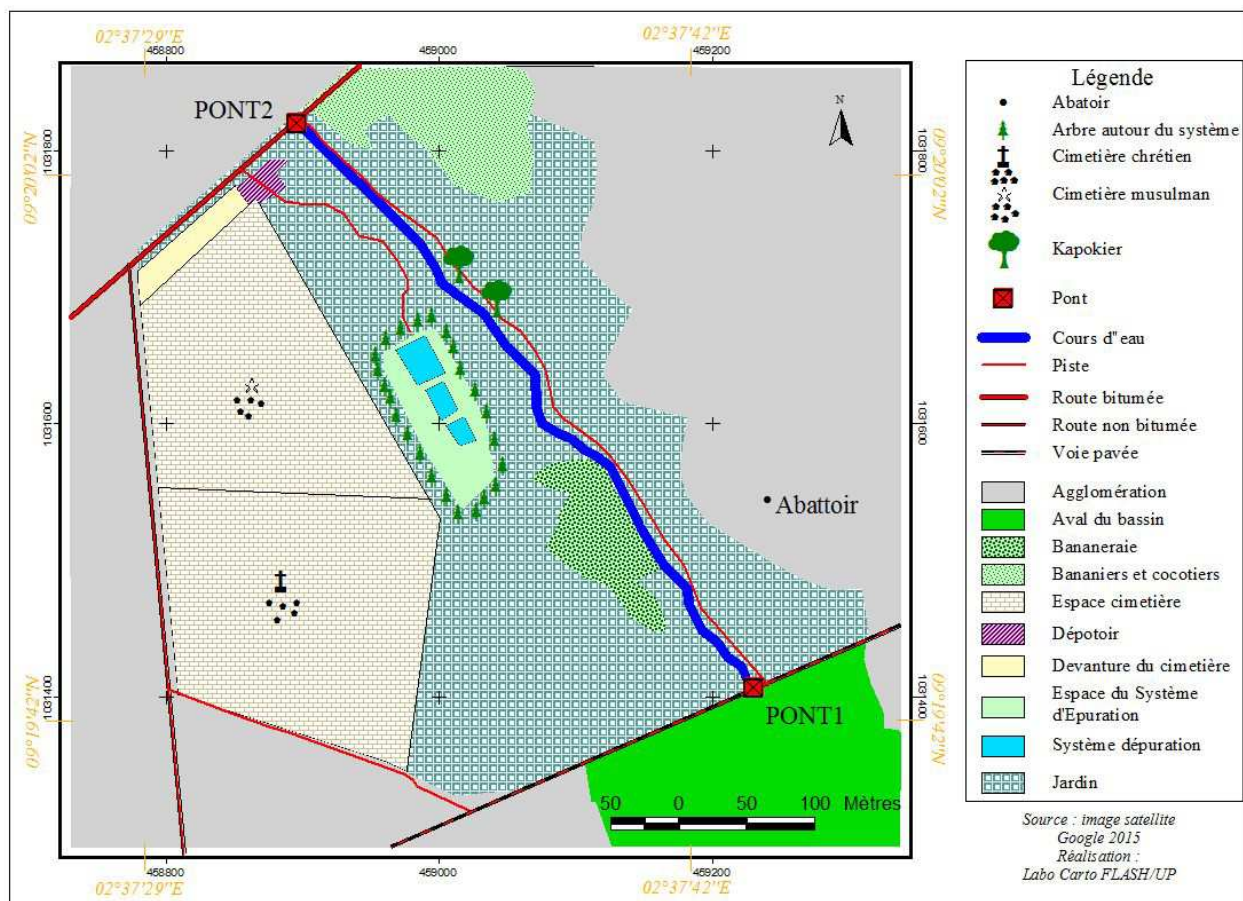


Figure 1 : Situation géographique du lagunage naturel de Parakou.

Elle comporte trois (03) bassins disposés en série (B1=bassin mixte aérobie-anaérobie, B2= bassin facultatif et B3= bassin de maturation) (Figure 2), séparés par des digues en béton armé d'un mètre de largeur et communiquant entre eux par des tuyaux polyvinylchlorure (PVC).

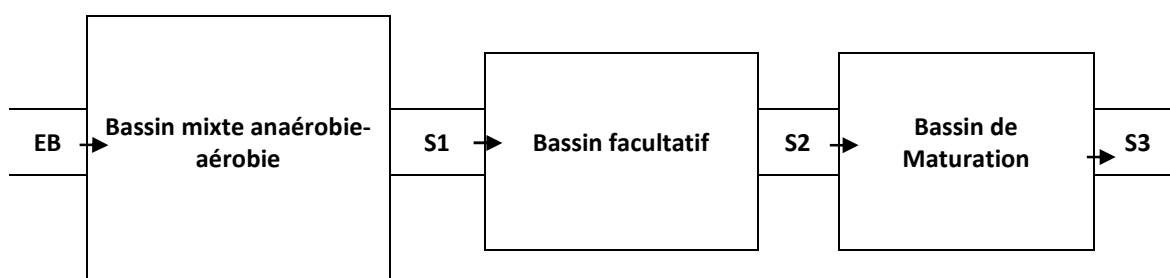


Figure 2 : Schéma descriptif du lagunage naturel de Parakou.

EB=Eau Brute décantée ; S1=Sortie Bassin1 ; S2=Sortie Bassin2 ; S3=Sortie Bassin3

Les dimensions initiales des bassins sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1: Dimensions et caractéristiques des trois bassins du lagunage de Parakou

Bassin	Profondeur utile (m)	Surface utile (m ²)	Volume utile (m ³)	Caractéristiques
Bassin primaire anaérobie-aérobie				-Appelé lagune de décantation -Bassin mixte anaérobie-aérobie
Zone aérobie	1,40	790	961	
Zone anaérobie	2,00	-	580	
Bassin secondaire aérobie	1,40	474	551	-Bassin secondaire aérobie facultatif -Son rôle principal est la minéralisation des boues.
Bassin de maturation	1,40	474	551	-Bassin de Maturation -Son rôle est l'affinage de l'épuration.

Source : Données du terrain, aout 2014

Les eaux usées circulent par simple gravité d'un bassin à l'autre ; elles se déversent par trop plein dans l'autre. La forme géométrique des bassins ainsi que l'emplacement des ouvrages de communication ont été conçus afin d'éviter les zones d'eaux mortes et les écoulements préférentiels. Le fonctionnement du système est divisé en deux phases principales : une phase primaire de décantation-digestion anaérobie dans le bassin B1 où la matière organique solide est dégradée et liquéfiée ; une phase secondaire de lagunage proprement dite dans les bassins B2 et B3. Au cours du cheminement de l'eau dans cette partie, deux (02) composantes essentielles contribuent à l'épuration : les micro-organismes qui décomposent la matière organique et les microphytes qui absorbent ces substances issues de la dégradation microbienne tout en leur fournissant un microclimat favorable à leur croissance (métabolites, O₂ dissous, etc.).

2.2 METHODES

2.2.1 ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DES DIFFERENTS BASSINS D'EPURATION

Les paramètres couramment utilisés pour le dimensionnement des bassins d'épuration en traitement secondaire sont principalement : la charge organique, le temps de séjour hydraulique et la charge hydraulique. Le temps de séjour est intimement corrélé à la charge hydraulique et correspond en général à la durée optimale de contact des polluants à dégrader avec les microorganismes responsables de l'épuration dans les bassins. Les performances épuratoires sont aussi bien influencées par les facteurs biogéochimiques que par l'hydraulique et les conditions climatiques. En effet, le temps de séjour hydraulique est l'un des principaux paramètres qui contrôlent la répartition de l'eau dans la totalité du volume des bassins, et le temps de contact entre la microfaune (bactéries, protozoaires, micro-invertébrés) et la pollution à dégrader. Les conditions climatiques jouent également un rôle important sur l'hydraulique des bassins. Il s'agit ici d'évaluer le débit d'eaux usées à l'entrée de la station et de déterminer le temps de séjour des eaux usées dans les différents bassins.

2.2.1.1 DONNÉES COLLECTÉES

• MESURE DU DÉBIT

Le débit hydraulique journalier d'eaux usées a été déterminé trois fois par jour (matin entre 7h - 8 h, midi entre 12h - 13h et l'après-midi entre 17h - 18h) pendant deux semaines discontinues à l'aide d'un récipient gradué de 7 litres de contenance et d'un chronomètre à l'entrée du bassin de tête.

• DÉTERMINATION DU TEMPS DE SÉJOUR

Le calcul du temps de séjour a tenu compte du volume d'encombrement des bassins, de la pluviométrie, de l'évaporation, du volume réel stade projet et du débit déterminé.

— MESURE DE L'ENCOMBREMENT

Cette mesure a consisté à :

- ✓ discrétiser le bassin de tête en **dx.dy avec dx=2m et dy=2m**
- ✓ relever la profondeur de l'eau à chaque nœud et la hauteur dénoyée du bassin

La hauteur d'encombrement (Z_i) a été estimée en utilisant la formule : $Z_i = H - h_i - P_i$ avec P_i profondeur ou lame d'eau, h_i hauteur dénoyée au nœud i , H profondeur projet du bassin (3,40 m). Les données de pluviométrie et d'évaporation ont été obtenues grâce à la station ASECNA de Parakou suivant la période de l'étude.

– DÉTERMINATION DU TEMPS DE SÉJOUR RÉEL

$TS = V / Q = P_i \times S / Q$ avec P_i = profondeur ou lame d'eau ; S = Surface utile qui est de 790 m² et Q = débit moyen journalier.

2.2.2 EVALUATION DE LA QUALITE DE L'EAU DES BASSINS

Dans toute station d'épuration des eaux usées il est nécessaire d'effectuer des analyses de l'eau brute et de l'eau traitée afin de déterminer différents paramètres tels que les paramètres physicochimique et bactériologiques permettant d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement. Les analyses ne sont valides que si le prélèvement et l'échantillonnage ont été entourés de soins suffisants; la séquence prélèvement-échantillonnage-conservation-analyse constitue alors une chaîne cohérente pour laquelle on aura conscience de ne négliger aucun maillon.

2.2.2.1 METHODOLOGIE D'ÉCHANTILLONNAGE ET DE MESURE

Il a été adopté un échantillonnage composite et des mesures hebdomadaires sur une période de 10 semaines (juin 2014 - juillet 2014). Les échantillons sont prélevés à l'entrée et à la sortie de chaque bassin afin de suivre la part d'épuration à chaque stade, et la capacité épuratoire de l'ensemble de la station.

Les paramètres physico-chimiques globaux (Température, O₂ dissous, pH, conductivité) ont été mesurés in situ respectivement au moyen d'un oxythermomètre (Oxi 330i, WTW), d'un pH-mètre (H13292 ATC Conductivity) et d'un conductivimètre (HANNA) sur des échantillons ponctuels prélevés 3 fois par jour (matin entre 7h - 8 h, midi entre 12h - 13h et l'après-midi entre 17h - 18h) (Tableau 2).

Tableau 2 : Paramètres analysés et méthodes utilisées

Paramètres	Unités	Réactifs/Méthodes d'analyse/Appareils	Références
pH	-	pH-mètre	H13292 ATC Conductivity
O ₂ et T	mg/l - °C	Oxythermomètre	Oxi 330i, WTW
Conductivité	µS/cm	Conductivimètre	HANNA
MES	mg/l	Filtration sur filtre GFC et séchage à 105°C	AFNOR, T90-105
DBO ₅	mg/l	Méthodes manométriques	Méthode standard
DCO	mg/l	Méthode par digestion	Programmes Hach Réacteur 3 - 150 / 20- 1500 et 200 - 15.000
N-NH ₄ ⁺	mg/l	Méthode Nessler	Programmes Hach
N-NO ₃	mg/l	méthode colorimétrique	Programmes Hach
PO ₄₃ -	mg/l	Méthode Molybdovanadate	Programmes Hach

Source : Données du terrain, aout 2014

Les paramètres physico-chimiques et biologiques (la DBO₅, la DCO, les MES, l'Azote, phosphore) ont été mesurés sur des échantillons composites journaliers prélevés une fois par semaine et ceci pendant 10 semaines à l'entrée et à la sortie de chaque bassin. Pour les matières en suspension (MES), la méthode de mesure adoptée est celle de la pesée différentielle par filtration sur filtre GFC et séchage à 105°C (AFNOR, T90-105). La demande chimique en oxygène est analysée par oxydation en excès au dichromate de potassium à chaud en milieu acide (méthode AFNOR). La DBO₅ a été évaluée par la méthode manométrique basée sur le principe WARBURG.

Pour le bassin facultatif et le bassin de maturation, les mesures de la DBO₅ sont effectuées aussi bien sur les échantillons bruts que sur les échantillons filtrés. Une estimation de la DBO₅ en Kg/jour a été faite en utilisant la formule suivante :

$$DBO5 \text{ (Kg/j)} = \text{Débit (l/j)} * DBO5 \text{ (Kg/l)}$$

Le phosphore total est mesuré sur des échantillons bruts après minéralisation en milieu acide tandis que les nitrates sont mesurés sur les échantillons filtrés par la méthode colorimétrique au moyen du spectrophotomètre (HACH) DR/2010. Le dosage du NTK est fait par distillation précédé d'une minéralisation en milieu acide de l'azote organique en azote ammoniacal.

Les analyses bactériennes (Coliformes totaux, *E. coli*, Salmonelles) ont été faites sur des échantillons composites avec une fréquence d'une fois par semaine pendant 10 semaines. Les coliformes thermotolérants sont dénombrés sur des milieux de cultures spécifiques : Chrom-agar ECC à 37°C (Tableau 3).

Tableau 3: Caractéristiques et méthodes de mise en évidence de quelques bactéries

	Coliformes totaux	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella spp</i>
Milieu liquide à 37°C en 24h	-	-	Rappaport Vassiliadis Bouillon selenite
Milieu solide en 24h	Chrom-agar ECC à 37°C	Chrom-agar ECC à 37°C	Hektoen à 37°C
Techniques utilisées	Ensemencement direct en surface	Ensemencement direct en surface	Enrichissement : Striation
Observation	Colonies rouges	Colonies bleues	Colonies vertes à centre noir

Source : Données du terrain, aout 2014

2.2.3 ANALYSE ET TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

Le traitement des données a été réalisé grâce aux logiciels Excel et SPSS. Les données ont été saisies dans Excel et transportées par la suite dans SPSS pour une analyse descriptive (moyenne, écart-type, maximum et minimum) et une Analyse en Composantes Principales. Les données collectées ont été comparées aux normes internationales et béninoises

3 RESULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES DE L'INFLUENT BRUT

Les caractéristiques de l'influent brut admis en tête de la filière sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4: Composition des eaux usées brutes admises dans le lagunage naturel de Parakou de juin à août 2014

Paramètres	m	se	Extrema	Nombre d'échantillons
Débit (m ³ /j)	30,48	3,14	26,08–36,29	42
pH	7,54	0,11	7- 8	10
Conductivité (μS/cm)	1777,00	77,65	1310 - 2030	10
TDS (ppm)	888,60	38,82	655 - 1015	10
Température (°C)	28,89	0,30	27,4 - 30,3	10
Couleur (Pt-Co)	4805,00	842,90	2050 - 10875	10
Turbidité (FTU)	1576,80	355,16	300 - 3150	10
pH	7,54	0,11	7- 8	10
Conductivité (μS/cm)	1777,00	77,65	1310 - 2030	10
MES (mg/l)	2010,00	453,00	200 - 4300	10
DCO (mg/l)	6699,00	1321,75	1280 - 14400	10
DBO5 (mg/l)	1152,50	293,39	250 - 2825	10
NO ₃ ⁻ (mg/l)	266,90	47,38	14,71 - 462	10
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,45	0,10	0,08 - 0,98	10
NH ₄ ⁺ (mg/l)	199,76	19,75	147,06 - 331,53	10
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	129,53	19,40	19 - 206	10
Coliformes Totaux (ulog)	6,18	4,59	5,24 – 6,34	10
<i>E. coli</i> (ulog)	5,24	4,56	4,99 – 5,43	10

n= nombre d'échantillons analysés ; m=moyenne ; se=erreur standard ; ulog = Unités logarithmiques

Source : Données du terrain, aout 2014

La charge polluante moyenne de l'influent brut est très élevée (2010 mg MES/l, 6699 mg DCO/l et 1152,50 mg DBO5/l). Les valeurs de pH évoluent dans une gamme de 7 - 8. La température moyenne est de $28,89 \pm 0,30^{\circ}\text{C}$ avec un minimum de $27,40^{\circ}\text{C}$ enregistré dans le mois d'août et un maximum de $30,30^{\circ}\text{C}$ enregistré dans le mois de juin. L'oxygène dissous varie de 0,07-2,93 mg/l avec une moyenne de $0,85 \pm 0,33$ mg/l. Le plus faible taux d'oxygène a été enregistré vers fin août. Le TDS a varié d'une période à une autre avec une moyenne de 888,60 ppm. Proportionnelle à la quantité des sels ionisables dissous, la conductivité constitue une bonne indication du degré de minéralisation d'une eau. Dans l'influent brut, elle est en moyenne de 1777 microsiemens/cm. Les eaux usées brutes présentent des charges en coliformes totaux variant de $1,72 \times 10^5$ – $2,20 \times 10^6$ UFC avec une valeur moyenne de $1,51 \times 10^6$ UFC soit 6,18 ulog. Pour les germes d'*E. coli*, on a relevé des valeurs comprises entre 4,99 à 5,43 ulog.

3.2 EVOLUTION DE LA DCO ET DE MES

En superposant l'évolution de l'oxygène à celle de la DCO, on voit que les fortes concentrations en oxygène dissous sont observées lorsque la DCO totale est faible. A la sortie du bassin de tête, bassin contaminé, on assiste à une augmentation de la DCO au début de l'étude. Une autre augmentation est observée en mois d'août (figure 3).

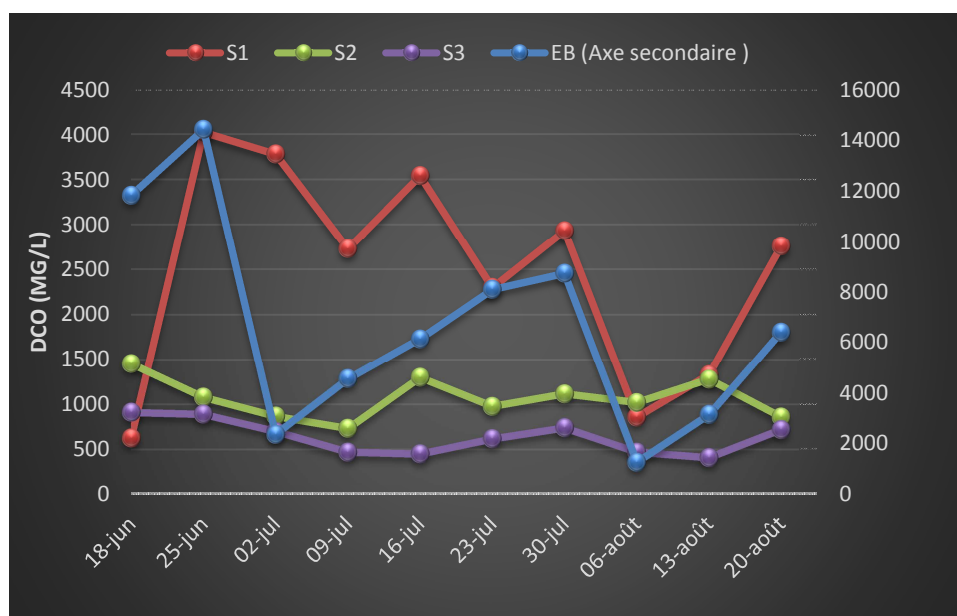


Figure 3: Variation des concentrations en DCO aux sorties des trois bassins de lagunage de Parakou au cours de la période de l'étude.

EB=Eau Brute décantée ; S1=Sortie Bassin1 ; S2=Sortie Bassin2 ; S3=Sortie Bassin3

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

Les teneurs en MES de l'eau brute et de l'eau sortie des différents bassins présentent de grandes variations (400 à 3600 mg/l) au cours de la période d'étude. L'eau brute présente de fortes teneurs en MES au début de l'étude (4300 mg/l) et vers fin juillet (3600 mg/l) (figure 4).

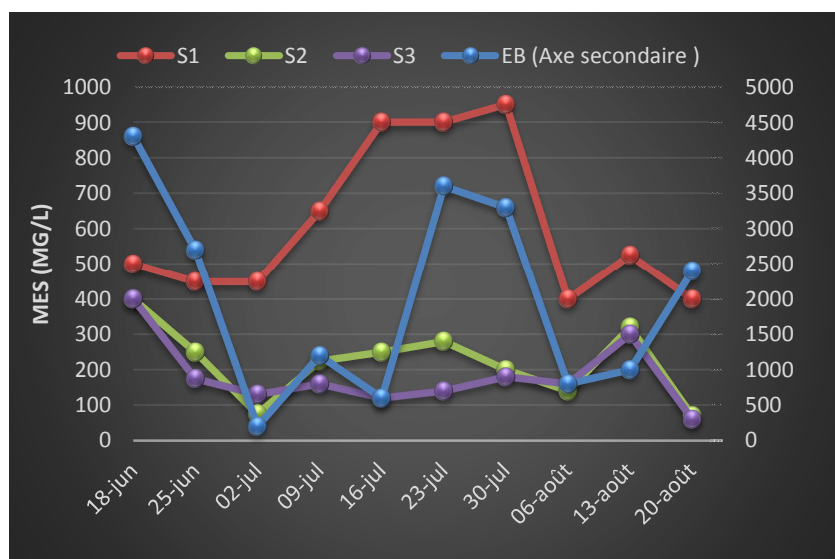


Figure 4 : Variation des concentrations en DCO aux sorties des trois bassins de lagunage de Parakou au cours de la période de l'étude

EB=Eau Brute décantée ; S1=Sortie Bassin1 ; S2=Sortie Bassin2 ; S3=Sortie Bassin3

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

3.3 EVOLUTION DE L'AZOTE ET DU PHOSPHORE

L'évolution de l'azote ammoniacal et des ortho-phosphates durant de la période de l'étude est présentée dans les figures 5 et 6. Pour tous les effluents, on observe une stabilité relative dans le mois de juillet pour les deux paramètres. Les teneurs en azote ammoniacal varient de 147,06 à 285,09 mg/l, de 89,01 à 233,49 mg/l, de 63,86 à 147,06 mg/l respectivement aux sorties des bassin 1, bassin 2 et bassin 3. Quant aux teneurs d'ortho-phosphates, on observe une augmentation plus ou moins régulière au niveau des trois effluents avec de fortes valeurs vers la fin du mois d'août (197 mg PO₄/l, 232 mg PO₄/l et 265 mg PO₄/l respectivement aux sorties des bassin 1, bassin 2 et bassin 3).

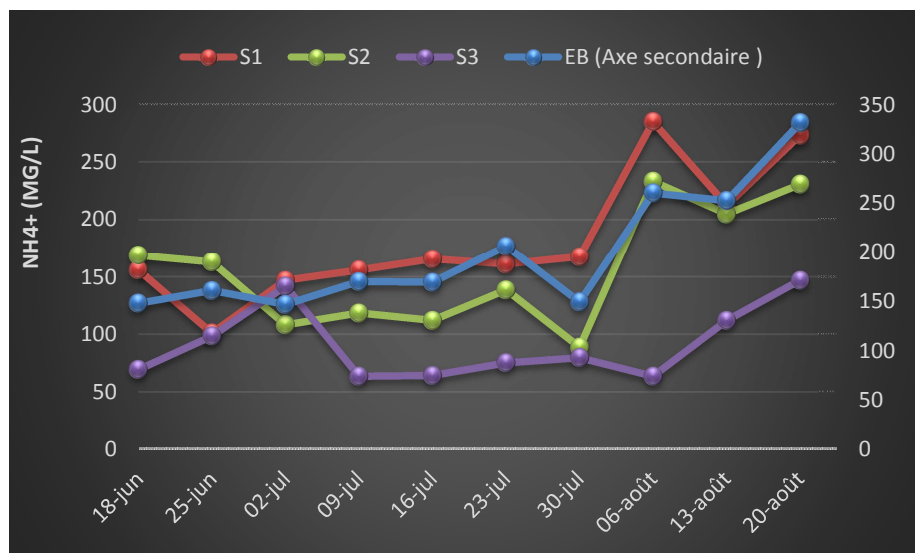


Figure 5: Variation des concentrations en Azote ammoniacal aux sorties des trois bassins de lagunage de Parakou au cours de la période de l'étude

EB=Eau Brute décantée ; S1=Sortie Bassin1 ; S2=Sortie Bassin2 ; S3=Sortie Bassin3

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

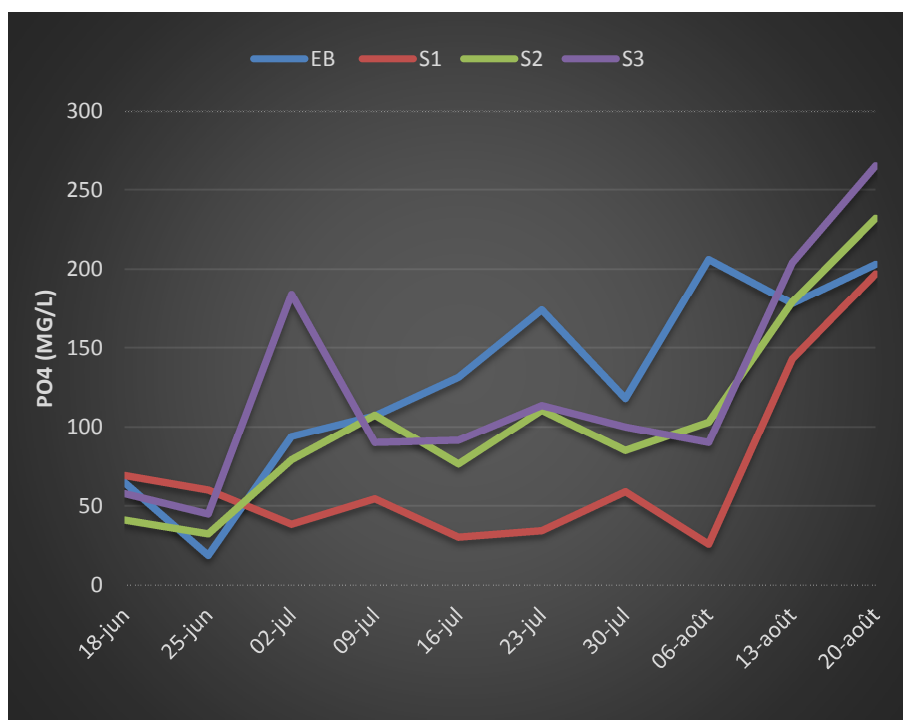


Figure 6: Variation des concentrations en Ortho-phosphates aux sorties des trois bassins de lagunage de Parakou au cours de la période de l'étude

EB=Eau Brute décantée ; S1=Sortie Bassin1 ; S2=Sortie Bassin2 ; S3=Sortie Bassin

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

3.4 RENDEMENTS ÉPURATOIRES

3.4.1 ELIMINATION DE LA CHARGE ORGANIQUE

Le tableau 5 présente respectivement les abattements et rendements épuratoires moyens en MES, DBO5, DCO des effluents.

Tableau 5 : Abattements moyens en MES, DBO5 et DCO de l'effluents de juin à août 2014

Paramètres	Valeurs extrêmes	m	se	n
MES	160-3940 (34,84 - 97,50)*	1876,33 (82,39)*	18,86	10
DBO5	200-2655 (52-98,23)*	1070,5 (86,04)*	13,53	10
DCO	1270-13849 (63,20 - 93,82)*	6041,4 (86,18)*	10,53	10

n= nombre d'échantillons analysés ; m=moyenne ; se=erreur standard ; *= performance en %

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

La figure 7 montre l'évolution des paramètres indicateurs de la pollution dans les différents bassins le long des deux filières de traitement. Globalement, on note une forte réduction des polluants dans les trois bassins.

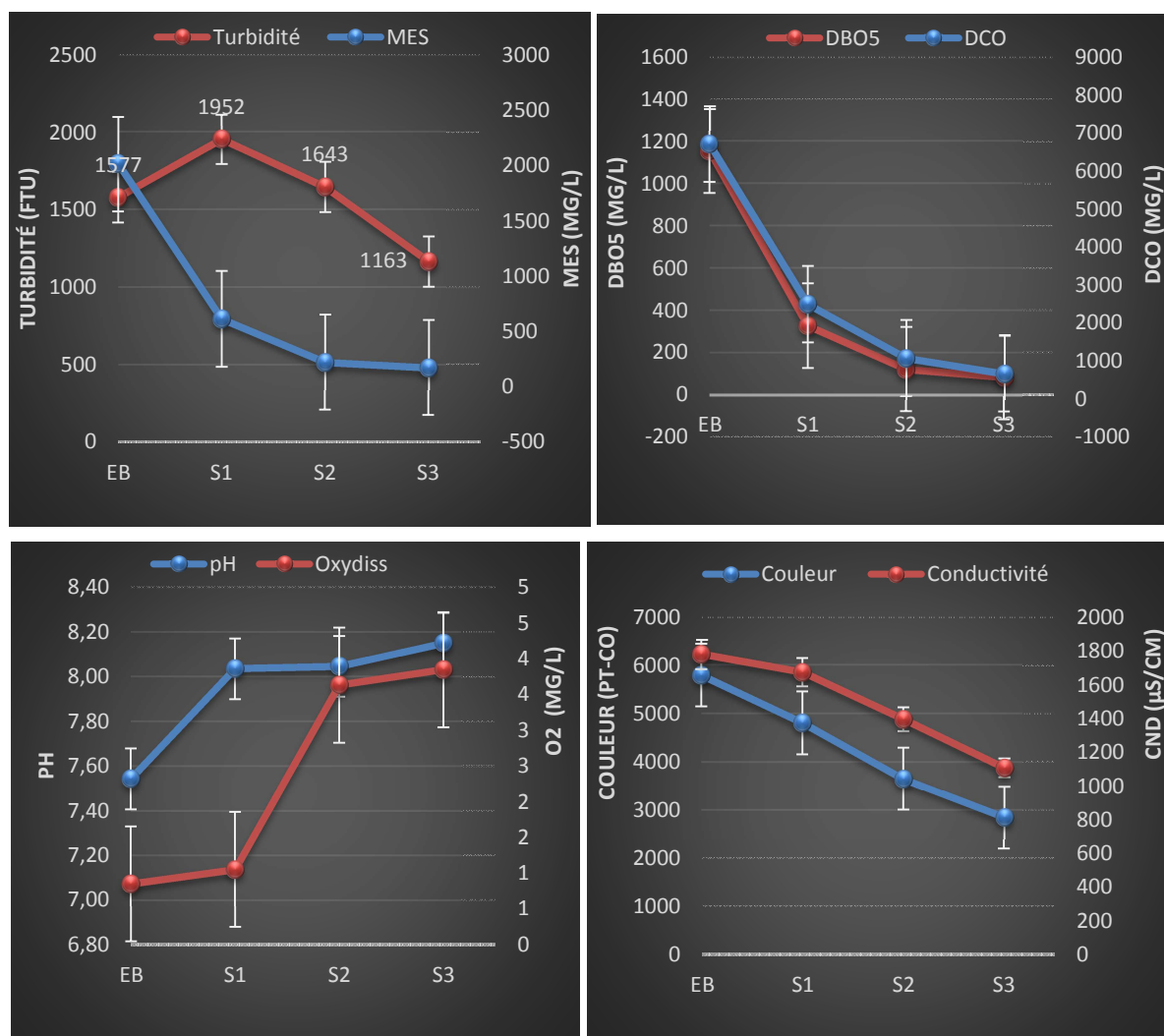


Figure 7 : Profils de quelques paramètres caractéristiques de la pollution le long des bassins de lagunage de Parakou de juin à août 2014

EB=Eau Brute décantée ; S1=Sortie Bassin1 ; S2=Sortie Bassin2 ; S3=Sortie Bassin3

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

La DBO5 atteint des valeurs beaucoup plus importantes dans le bassin facultatif que dans le bassin de maturation, respectivement de $120 \pm 12,20$ mg/l et $82 \pm 11,91$ mg/l. Les concentrations résiduelles en DBO5 de l'effluent traité varient entre 50 et 170 mg/l. Les rendements moyens d'abattement de la pollution sur la période de suivi sont de 82,39% pour les MES, 86,04% pour la DBO5 et 86,18% pour la DCO. Pour la DBO5 et la DCO, les rendements d'épuration suivent une même allure dans le temps avec une stabilité dans le mois de juillet. Ces valeurs restent dans les intervalles de (52% - 98,23%) et de (63,20% - 93,82%) respectivement pour la DBO5 et la DCO (Figure 8).

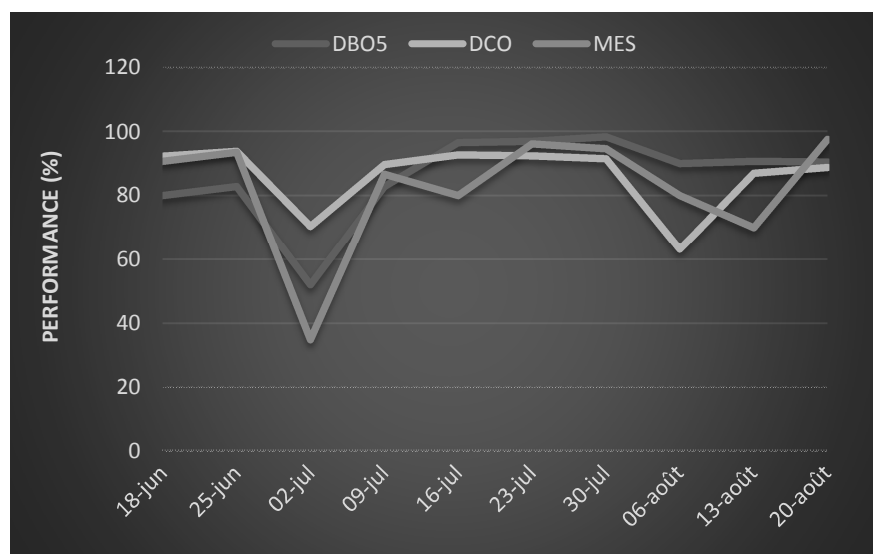


Figure 8 : Rendements épuratoires en DBO5, DCO et MES des bassins de lagunage de Parakou durant la période de l'étude.

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

La stabilité du rendement épuratoire de la filière pour ces deux paramètres est confirmée par l'évaluation des écarts types et des coefficients de variation qui sont respectivement de 13,53% et 15,72% pour la DBO5, 10,53% et 12,22% pour la DCO. Dans 90% des mesures de la DBO5 sur l'effluent traité, les performances épuratoires ont été supérieures à 80% ($n = 9$). Par contre, pour les MES, on observe de grandes fluctuations pour l'abattement global à la sortie de la station (Figure 6-9). A la sortie du bassin de maturation (S3), on relève une variation importante des concentrations en MES avec un coefficient de variation de 22,89% et la teneur moyenne est de 133,67mg/l avec un minimum observé de 40 mg/l et un maximum de 360 mg/l. La qualité de l'effluent à la sortie en terme de MES répond aux normes de rejet recommandées par la directive de l'Union Européenne (< 150 mg/l). Ceci est le cas dans 50% des mesures effectuées ($n=5$).

3.4.2 ELIMINATION DES NUTRIMENTS

Etant donné que l'ammonium est la forme dominante d'azote, nous faisons l'hypothèse que son élimination traduit également celle de l'azote total. L'élimination de l'azote a été analysée sous trois formes à savoir : l'azote ammoniacal, l'azote nitreux et l'azote nitrique. Pour le phosphore, ce sont les ortho-phosphates qui ont été analysés. Les figures 9 et 10 présentent respectivement les concentrations et les rendements en phosphore durant la période de l'étude.

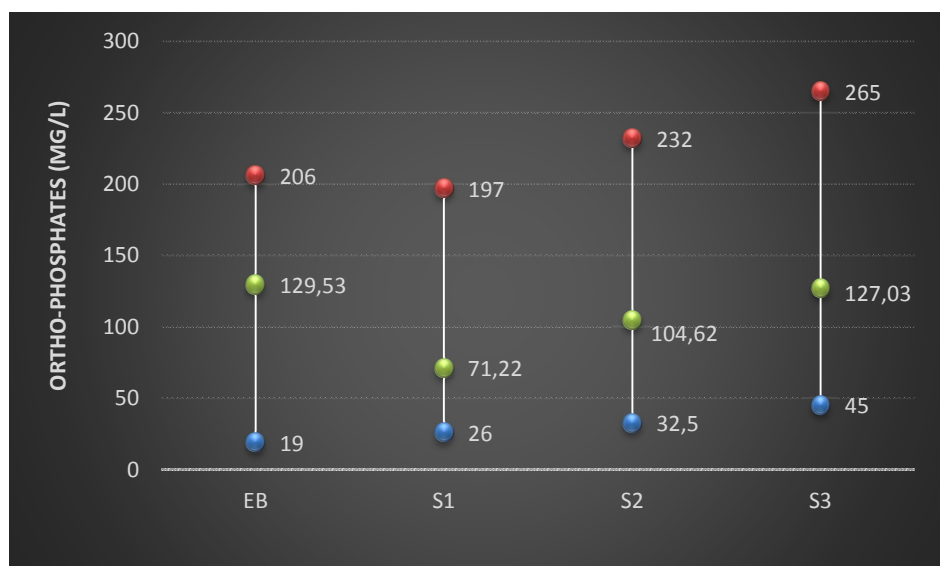


Figure 9 : Teneurs en Ortho-phosphates de l'eau brute et aux sorties des bassins de lagunage de Parakou de juin à août 2014.

EB=Eau Brute décantée ; S1=Sortie Bassin1 ; S2=Sortie Bassin2 ; S3=Sortie Bassin3

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

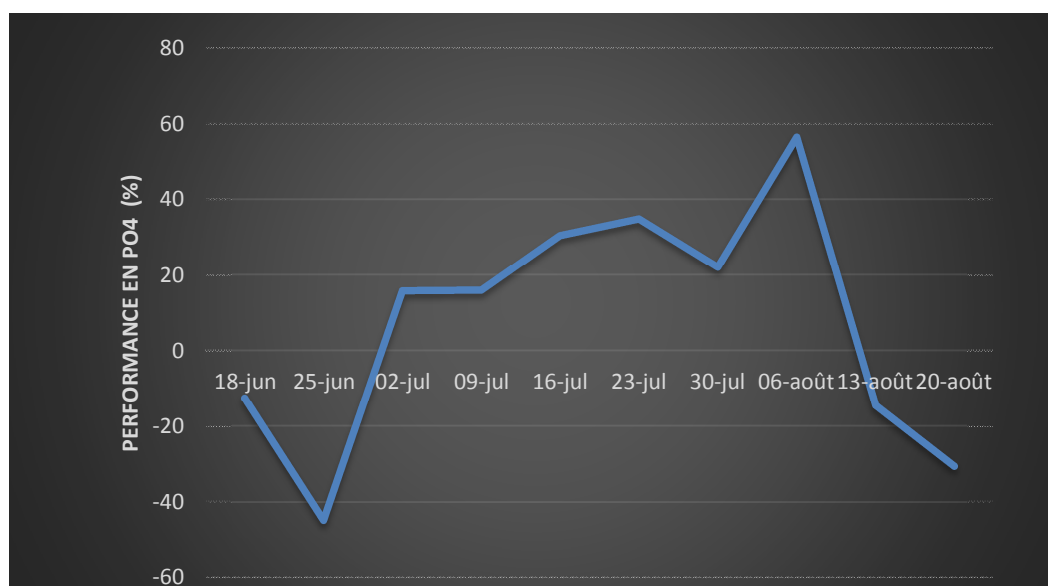


Figure 10: Rendements épuratoires en phosphore des bassins de lagunage de Parakou durant la période de l'étude.

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

Les teneurs résiduelles en ortho-phosphates de l'effluent à la sortie de la station varie de 45 à 265 mg/l avec une moyenne de 127,03 mg/l. Le niveau d'élimination du phosphore est globalement faible et instable avec un rendement d'élimination moyen de 19,75% pour les ortho-phosphates. Cette instabilité est confirmée par l'évaluation des écarts types et des coefficients de variation qui sont respectivement de 31,75% et 7,45. Les rendements négatifs en ortho-phosphates ont souvent été observés notamment durant les périodes d'encombrement des bassins et plus particulièrement dans le bassin anaérobie. Ceci a été observé en juin et fin août (n=4).

Les figures 10 et 11 présentent respectivement les concentrations en phosphore et en azote (moyenne, minimum et maximum) mesurées dans l'eau brute et aux sorties des bassins durant la période de l'étude. La figure 15 présente les rendements épuratoires en azote ammoniacal et en nitrate durant cette période. L'eau traitée présente en sortie des teneurs

moyennes en azote ammoniacal et azote nitreux élevées (de l'ordre de 91,91 mg/l et 0,71 mg/l respectivement) (figure 11 et 12). Les rendements épuratoires en azote atteignent en moyenne 53,98%, se chiffrant par moment au-dessus de 75%. Les concentrations résiduelles en nitrates de l'effluent traité sont élevées (avec une moyenne de 160,32 mg/l et un maximum de 242 mg/l). Les rendements épuratoires en nitrates évoluent inversement à ceux d'azote ammoniacal avec une moyenne de 39,93% (figure 11).

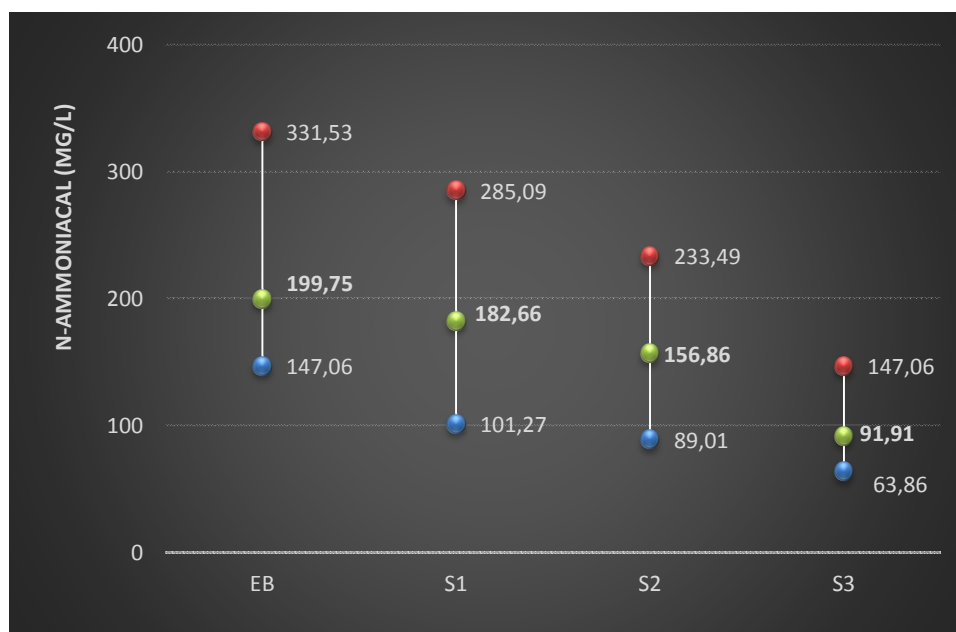


Figure 11: Teneurs en azote ammoniacal de l'eau brute et de l'effluent aux sorties des bassins de lagunage de Parakou de juin à août 2014

EB=Eau Brute décantée ; S1=Sortie Bassin1 ; S2=Sortie Bassin2 ; S3=Sortie Bassin3

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

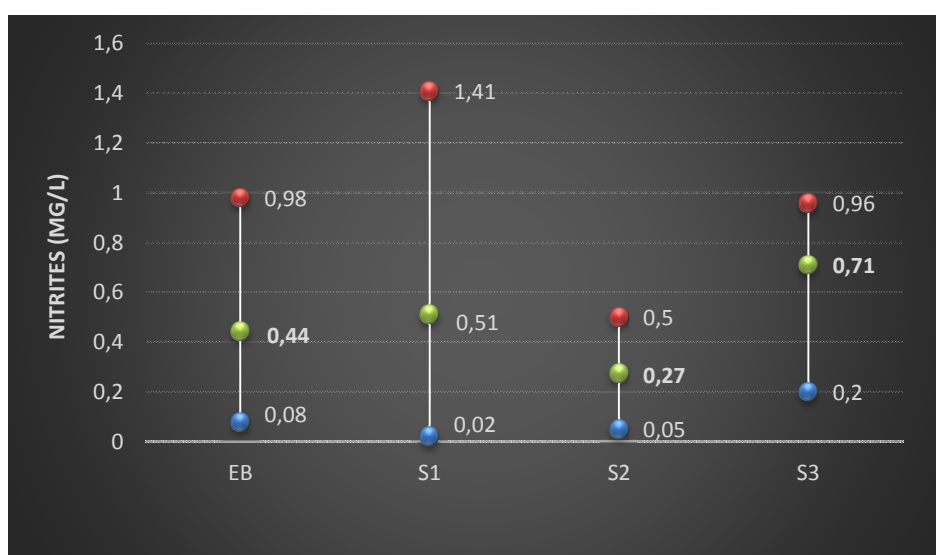


Figure 12 : Teneurs en nitrites de l'eau brute et de l'effluent aux sorties des bassins de lagunage de Parakou de juin à août 2014

EB=Eau Brute décantée ; S1=Sortie Bassin1 ; S2=Sortie Bassin2 ; S3=Sortie Bassin3

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

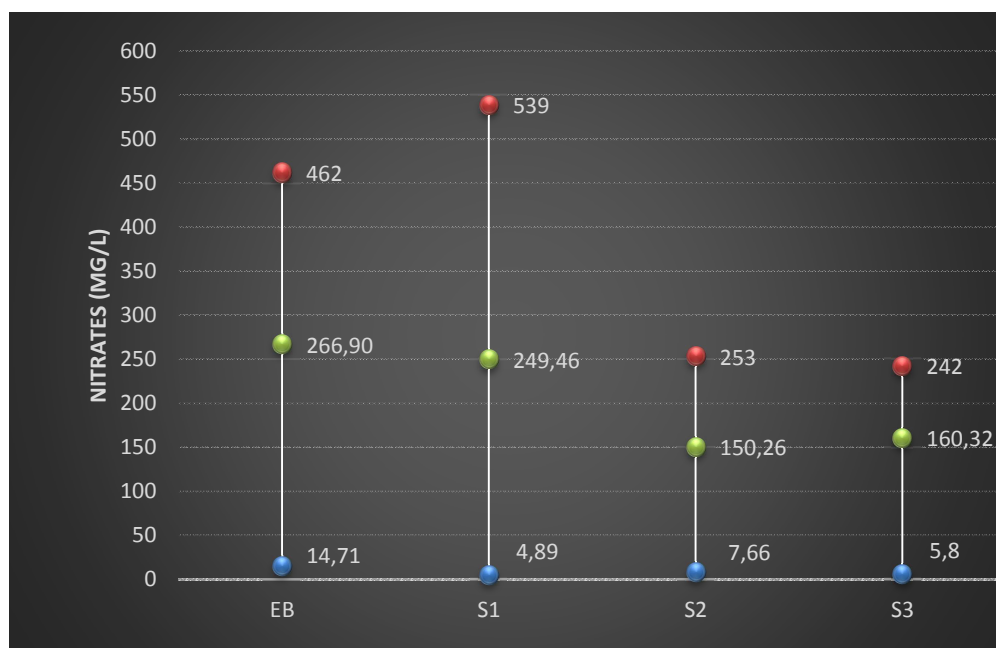


Figure 13: Teneurs en nitrates de l'eau brute et de l'effluent aux sorties des bassins de lagunage de Parakou de juin à août 2014

EB=Eau Brute décantée ; S1=Sortie Bassin1 ; S2=Sortie Bassin2 ; S3=Sortie Bassin3

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

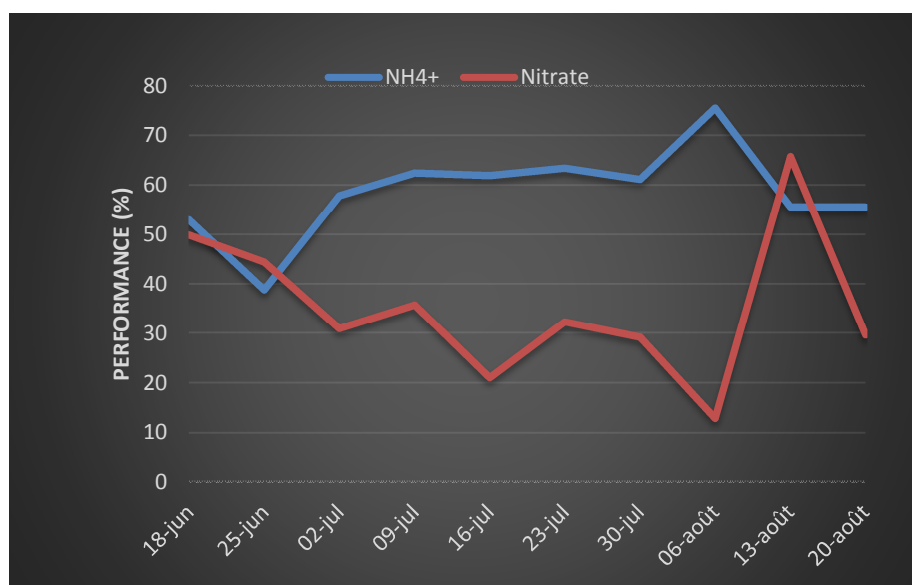


Figure 14: Rendements épuratoires en azote ammoniacal et en nitrate des bassins de lagunage de Parakou durant la période de l'étude

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

3.4.3 ELIMINATION DE LA POLLUTION BACTÉRIENNE

L'abattement de la pollution bactérienne et parasitaire a été évalué avec comme indicateurs d'une part, les coliformes totaux et les germes d'*Escherichia Coli* et d'autre part par la présence des salmonelles. Le tableau 6 présente les valeurs moyennes, maximum, minimum d'Unités Format Colonies (UFC) mesurées sur 10 échantillons durant la période de l'étude sur l'eau brute et l'effluent à la sortie de chaque bassin. Les eaux usées brutes présentent des charges en coliformes totaux

variant de $1,72 \times 10^5$ à $2,20 \times 10^6$ UFC /100 ml avec une valeur moyenne de $1,51 \times 10^6$ UFC/100 ml. Dans l'effluent traité à la sortie de la filière, la teneur résiduelle en coliformes totaux est en moyenne de $4,92 \times 10^3$ UFC/100 ml soit 3,69 ulog, avec un minimum de $2,48 \times 10^3$ UFC/100 ml soit 3,39 ulog et un maximum de $8,95 \times 10^4$ UFC/100 ml soit 4,95 ulog. On a ainsi enregistré au cours de la période de l'étude des valeurs résiduelles en coliformes totaux avec un maximum de $2,72 \times 10^3$ UFC/100 ml (3,43 ulog) en fin juin correspondant à une élimination de 85,68% (Figure 15).

Tableau 6 : Coliformes totaux dénombrés en UFC/100ml dans les échantillons par niveau d'épuration de juin à août 2014

Echantillons	Valeurs extrêmes	m	n
EB	$1,72 \times 10^5 - 2,20 \times 10^6$	$1,51 \times 10^6$	10
S1	$9,64 \times 10^4 - 2,00 \times 10^6$	$3,40 \times 10^5$	10
S2	$1,01 \times 10^4 - 1,28 \times 10^5$	$8,40 \times 10^4$	10
S3	$2,48 \times 10^3 - 8,95 \times 10^4$	$4,92 \times 10^3$	10
Rendement moyen (%)	85,68 - 94,29	89,55	10

n= nombre d'échantillons analysés; *m*=moyenne; EB=Eaux Brutes ; S1=Sortie Bassin n°1 ; S2= Sortie Bassin n°2 ; S3= Sortie Bassin n°3

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

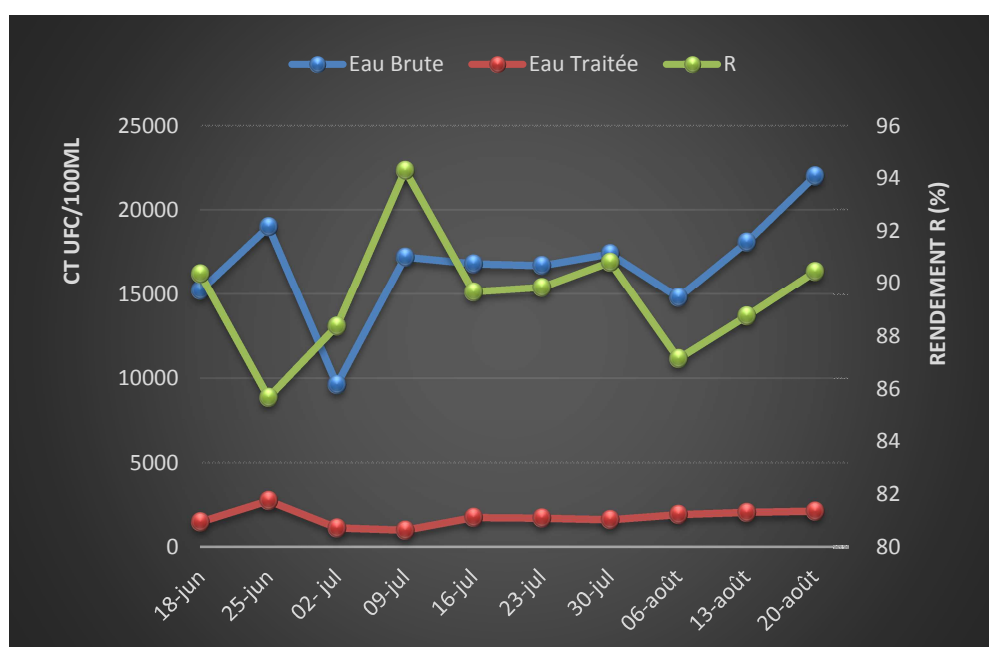


Figure 15: Variation des concentrations en Coliformes totaux/100 ml de l'influent brute, l'effluent traité, le rendement (R) épuratoire des bassins de lagunage de Parakou au cours de la période de l'étude

CT=Coliformes Totaux

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

Les analyses ont révélé sur la présence de germes d'*Escherichia Coli* et de trois espèces différentes de *Salmonella* (*S. typhi*, *S. typhimurium* et *S. Enteritidis*). La charge de l'eau brute en germes d'*Escherichia Coli* est de l'ordre de $1,73.10^5$ UFC/100 ml (Tableau 7).

Tableau 7: Germes d'*Escherichia coli* dénombrés en UFC/100ml par niveau d'épuration de juin à août 2011

Echantillons	Valeurs extrêmes	m	n
EB	$9,82 \times 10^4 - 2,72 \times 10^5$	$1,73 \times 10^5$	10
S1	$1,12 \times 10^4 - 2,45 \times 10^4$	$1,63 \times 10^4$	10
S2	$1,80 \times 10^3 - 1,06 \times 10^4$	$7,13 \times 10^3$	10
S3	$3,40 \times 10^2 - 3,48 \times 10^3$	$1,07 \times 10^3$	10
Rendement moyen (%)	59,26 - 92,67	81,33	

n= nombre d'échantillons analysés; *m*=moyenne; *EB*=Eaux Brutes; *S1*=Sortie Bassin n°1; *S2*=Sortie Bassin n°2 ; *S3*= Sortie Bassin n°3

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

Dans l'effluent traité à la sortie de la filière, la teneur résiduelle d'*Escherichia Coli* est en moyenne de $1,07.10^3$ UFC/100 ml soit 3,03 ulog, avec un minimum de $3,40.10^2$ UFC/100 ml (soit 2,53 ulog) et un maximum de $3,48.10^3$ UFC/100 ml (soit 3,54 ulog). On a ainsi enregistré au cours de la période de l'étude des valeurs stables élevées d'abattement d'*Escherichia Coli* dans le mois de juillet avec un maximum de 92,67% (Figure 16).

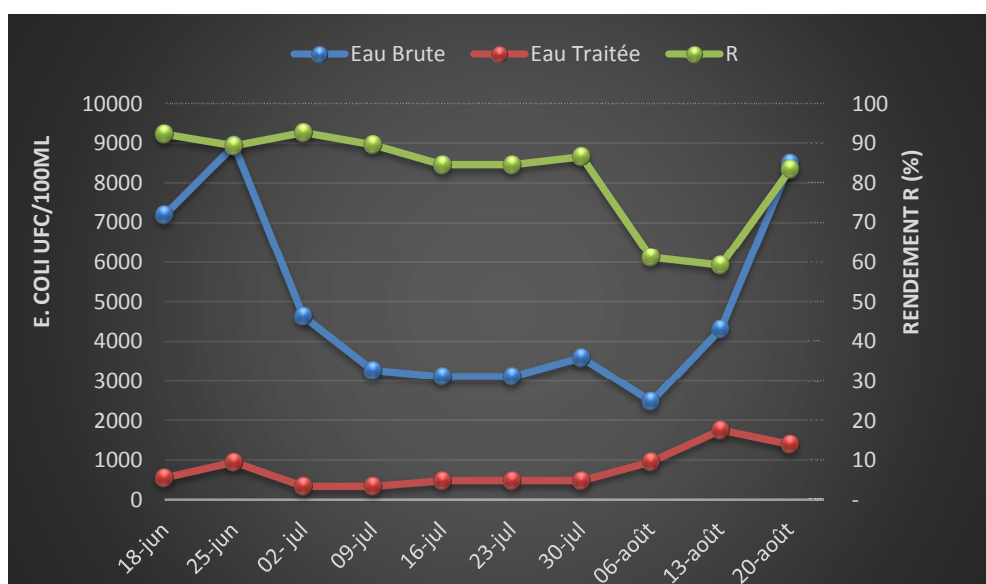


Figure 16: Variation des concentrations en germes d'*Escherichia coli*/100ml de l'influent brute, l'effluent traité, le rendement épuratoire (R) des bassins de lagunage de Parakou au cours de la période de l'étude

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

Pour les salmonelles, on a relevé des fréquences de 100% pour les trois espèces dans les eaux brutes (Figure 17). Trois espèces de Salmonelles ont été retrouvées dans les 10 échantillons d'eaux brutes prélevées (Fréquence = 100%). Durant l'étude, nous constatons une baisse de la fréquence des salmonelles. Ainsi, à la sortie de la filière, les salmonelles sont partiellement éliminées à hauteur de 40% à 50% (Figure 17).

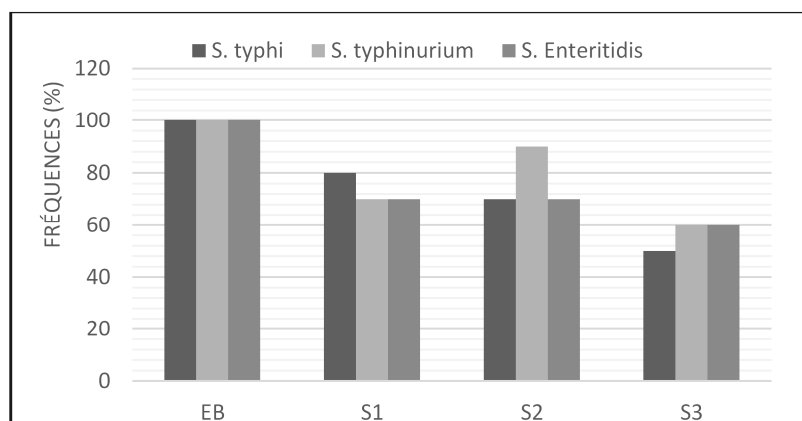


Figure 17 : Fréquences d'apparition de différentes espèces de Salmonelles des bassins de lagunage de Parakou de juin à août 2014

EB=Eau Brute décantée ; S1=Sortie Bassin1 ; S2=Sortie Bassin2 ; S3=Sortie Bassin3

Source : Données d'enquêtes, aout 2014

4 DISCUSSION

4.1 CARACTÉRISTIQUES DE L'INFLUENT BRUT

Il est responsable de la forte concentration des polluants. La charge moyenne appliquée est d'environ 35 kg de DBO5/jour. Dimensionnée pour recevoir une charge de 23,5kg de DBO5/j et un volume de 27 m³/j, les bassins de lagunage de Parakou reçoivent aujourd'hui une charge supplémentaire de plus de 10 kg de DBO5/jour. L'augmentation des charges à l'entrée de la station est probablement imputable à trois raisons principales:

- une mauvaise estimation des débits dès la conception du système car la mesure est instantanée et est effectuée par un relevé chronométré du temps nécessaire au remplissage d'un récipient gradué. Cette méthode ne prend pas en compte des débits de pointe;
- une augmentation des rejets due à un accroissement probable de la fréquentation du marché, car le marché de Parakou, est un lieu d'attraction pour les populations rurales;
- une défaillance du réseau d'égouts de la station.

Une mesure du comblement du fonds effectuée dans le bassin de tête a permis d'enregistrer un dépôt de boues de l'ordre de 2 m au cours de l'étude, montrant ainsi le comblement total de la zone anaérobie du bassin de tête. Ce comblement inhibe la dégradation de la matière organique par fermentation anaérobie dans ce bassin [8].

Les valeurs de la DCO sortent de la gamme des valeurs de référence pour les eaux usées d'origine domestique avec un rapport moyen de DCO/DBO5 de 5,81 > 5 [9]. Il s'agit d'un influent brut difficilement biodégradable donc toxique [10], [11]. Avec des coefficients de variation pour les MES, la DCO, et la DBO5 respectivement de 23%, 20% et 25%, on est dans une situation de forte variabilité de la qualité de l'influent admis en tête de station, en rapport avec le rythme saisonnier de fréquentation du marché. Les valeurs de pH évoluent dans une gamme de 6 - 9; ce qui est de nature à favoriser le développement bactérien nécessaire à la dégradation biologique des polluants organiques [12]. Les eaux usées brutes présentent des charges en coliformes totaux variant de 1,72 x 10⁵ à 2,20 x 10⁶ UFC /100 ml. Cette charge est du même ordre de grandeur que celle généralement rencontrée dans les effluents urbains [13], [14].

4.2 ELIMINATION DE LA CHARGE ORGANIQUE

Les concentrations résiduelles en DBO5 de l'effluent traité sont supérieures au seuil maximum de 25 mg/l suggéré par la réglementation européenne [15]. L'abattement de la DCO évolue très peu dans les bassins. On peut expliquer ce ralentissement dans l'élimination de la DCO par le fait que les fractions difficilement biodégradables et dissoutes deviennent importantes au cours de l'épuration. En effet, cette phase intervient lorsque la grande partie de MES est éliminée dans les bassins.

Dans 90% des mesures de la DBO5 et la DCO sur l'effluent traité, les performances épuratoires ont été supérieures à 80%, ce qui est très encourageant. Ces résultats sont meilleurs à ceux rapportés dans la littérature où les auteurs ont obtenus des rendements inférieurs à 60 % pour la DCO et la DBO5. Ces rendements sont obtenus pour des charges organiques très variables et pour des temps de séjour compris entre 10 et 27 jours en conditions tropicales [16], [17], [18], [19], [20], [4]. Nos travaux montrent également que la station peut être recommandée pour le traitement d'effluents à fortes charges organiques, destinés à être réutilisés en agriculture [21]. De même, nos rendements obtenus sont similaires à ceux trouvés par [2] qui ont rapporté un rendement moyen de 87% et de 81% respectivement en DBO5 et en DCO dans la station de traitement des eaux usées par lagunage de 2ie (Ouagadougou). Les rendements épuratoires moyens atteignent 82% en MES. Cette valeur est supérieure à celle rapportée par [2] dans des conditions similaires (66 %) sur la station d'épuration du 2ie (Ex EIER). La qualité de l'effluent à la sortie répond aux normes de rejet recommandées par la directive de l'Union Européenne en terme de MES (< 150 mg de MES/l). Ceci est le cas dans 50% des mesures effectuées (n=5).

4.3 ELIMINATION DES NUTRIMENTS

L'effluent traité présente en sortie des teneurs moyennes en azote ammoniacal faibles par rapport à la norme béninoise qui est de 200mg/l. Ces valeurs sont élevées par rapport à la limite tolérable de 5mg/l d'azote kjeldah proposée par [22] et [23] pour un rejet d'effluent dans un écosystème sensible à l'eutrophisation. L'abattement de l'ammonium est régulier pour l'ensemble des bassins. Les rendements épuratoires moyens atteignent respectivement 53,98% et 39,93% pour l'ammonium et les nitrates. L'ammonium est éliminé soit par nitrification (oxydation de l'ammonium en nitrate) puis dénitrification (réduction des nitrates en azote gazeux, N₂), soit par volatilisation (transformation de l'ammonium en ammoniac), soit par le prélèvement des plantes. Chacune de ces réactions est dépendante de l'état d'oxydation du milieu et de la disponibilité en oxygène dissous [24], [25], [26]. En négligeant ici les quantités qui peuvent être prélevées par la biomasse bactérienne ou par volatilisation (pH neutre), on pourrait expliquer la stabilité des concentrations dans le mois de juillet par : une absence de nitrification, une dénitrification rapide ou une assimilation des nitrates produits (par les plantes). Cette période peut aussi correspondre à la phase d'acclimatation de la biomasse nitrifiante, mais on n'observe pas de stabilisation dans l'évolution de l'ammonium au même moment, ce qui permet d'écarter cette hypothèse.

Les teneurs résiduelles en ortho-phosphates de l'effluent à la sortie de la station sont très élevées (2,56 mg de PO₄/l) par rapport à la limite tolérable de 0,1mg/l pour [23]. Le niveau d'élimination du phosphore est globalement faible et instable. Les rendements négatifs en ortho-phosphates ont souvent été observés notamment durant les périodes d'encombrement des bassins [27] et plus particulièrement dans le bassin anaérobie. Tout comme l'azote, le phosphore est un constituant essentiel pour le développement des plantes, sa disponibilité ayant une influence directe sur leur croissance. Donc, sa disponibilité dans l'effluent traité serait un atout important dans une perspective de réutilisation en agriculture.

4.4 ABATTEMENT DE LA POLLUTION BACTERIENNE

Les eaux usées brutes présentent des charges en coliformes totaux variant de $1,72 \times 10^5$ à $2,20 \times 10^6$ UFC /100 ml avec une valeur moyenne de $1,51 \times 10^6$ UFC/100 ml. Cette charge est du même ordre de grandeur que celle généralement rencontrée dans les effluents urbains [13], [14]. Sur la base de la classification adoptée par [10], cette charge correspond à la composition bactériologique type des effluents bruts d'eaux usées de la catégorie de charge faible à moyenne. Dans l'effluent traité la charge résiduelle en coliformes totaux a varié entre $2,48 \times 10^3$ ufc/100 ml (3,39 ulog) et $8,95 \times 10^4$ ufc/100 ml (4,95 ulog). Ceci correspond à une élimination de l'ordre de 5,23 à 6,32 ulog. Selon les normes de [23], les eaux épurées ne peuvent faire l'objet de réutilisation en irrigation non restrictive que pour des charges en coliformes totaux inférieures à 1000/100ml (3 ulog). Ainsi, les résultats issus de cette étude menée sous climat soudanien restent peu satisfaisants pour l'élimination des coliformes totaux selon cette norme malgré l'abattement maximal de 94,29% durant l'étude. Les résultats de cette étude sont toutefois similaires par rapport à ceux obtenus par [11] sur une filière similaire en climat tropical humide (Colombie). Avec un temps de séjour total de 12 jours, ils rapportent des concentrations résiduelles en coliformes fécaux de l'ordre 3,81 ulog. Des études menées dans plusieurs stations expérimentales en Afrique de l'Ouest montrent des réductions similaires (de 4 à 7 unités logarithmiques) pour des filières de traitement combinant 2 ou 3 bassins de lagunage en série et ayant des temps de séjour supérieurs à 20 jours [28],[29], [20]. Les principaux facteurs identifiés par ces auteurs comme ayant une influence directe sur l'abattement de ces bactéries sont : le rayonnement solaire, le pH et la température de l'eau du bassin. D'autres facteurs tels que la charge en DBO5, les concentrations en oxygène dissous semblent avoir respectivement des effets positifs et négatifs sur la survie des coliformes totaux des bassins de lagunage [30],[18] qui a pourtant travaillé la même filière (comprenant 2 bassins en série) que [31] a observé un faible abattement de 2 unités logarithmiques au 2ie. Ceci montre que pour les mêmes temps de séjours et des charges hydrauliques similaires, l'augmentation de la charge organique influence négativement l'abattement des coliformes totaux.

Dans l'effluent traité à la sortie de la filière, la teneur résiduelle d'*Escherichia Coli* est en moyenne de $1,07 \times 10^3$ CFU/100 ml soit 3,03 ulog, ce qui correspond à un abattement moyen de $1,72 \times 10^3$ CFU/100 ml (5,24 ulog) soit une élimination de 81,33%. La valeur résiduelle obtenue est largement au-dessus des normes de [23] qui fixe la limite de 1000 ufc/100ml pour l'irrigation de légumes (y compris ceux qui sont susceptibles d'être consommés crus). On note qu'à la sortie de la filière les salmonelles sont partiellement éliminées à hauteur de 40% à 50%. Vu ces résultats d'élimination des salmonelles, l'effluent de sortie de la filière ne peut être réutilisés en agriculture de restriction (recommandation de [23] pour la réutilisation Agricole des eaux usées).

5 CONCLUSION

Cette étude a permis de suivre les performances épuratoires d'une filière de trois bassins de lagunages à microphytes sous climat soudanien. Les résultats présentent des rendements épuratoires satisfaisants pour l'élimination des matières en suspension en accord avec les normes de rejet des effluents de lagunage recommandées par l'union européenne pour ce paramètre (< 150 mg/l). L'élimination de la DBO5 reste partielle et les valeurs résiduelles de la DBO5 (50-170 mg/l) sont en grande partie au-dessus des limites des teneurs (< 25 mg/l) recommandées par l'union européenne. L'élimination des nutriments (en azote et en phosphore) est très faible. Les concentrations résiduelles restent très élevées dans l'effluent traité et pourraient constituer un grand risque d'eutrophisation pour des rejets en milieu sensible. Cependant, ils constitueront un apport intéressant de fertilisation en nutriments azotes et phosphores dans le cas d'une réutilisation en agriculture urbaine. L'abattement de la pollution bactérienne n'est pas satisfaisant. La charge résiduelle moyenne en coliformes totaux dans l'effluent traité reste encore élevée par rapport à la norme OMS pour une irrigation non restrictive.

REFERENCES

- [1] Kôkôh Rose EFFEBI, Lagunage anaérobie : modélisation combinant la décantation primaire et la dégradation anaérobie. Thèse de doctorat : Université de Liège Campus d'ARLON, Département Sciences et Gestion de l'Environnement. 235 p, 2009
- [2] Maïga A.H., Konaté Y., Wethe J., Denyigba K., Zoungrana D. et Togola L., Performances épuratoires d'une filière de trois étages de bassins de lagunage à microphytes sous climat sahélien : cas de la station de traitement des eaux usées de l'EIER. Sud Sciences & Technologies, n° 14. 9p, 2006
- [3] CIEH (Comité Inter-Africain d'études Hydrauliques), "Etude comparative des systèmes d'épuration collectifs dans le contexte africain". CIEH; Ouagadougou. 66 p, 1993
- [4] Koné D., Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'ouest et du centre: état des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement. Thèse de Doctorat/École Polytechnique Fédérale de Lausanne. 194 p, 2002
- [5] Abdoulaye. A., Oyédé, Un site urbain de l'Afrique tropicale confronté aux contraintes naturelles et anthropiques : le cas de la ville de Parakou au Bénin. *Revue BenGéo*, N°5, Département de Géographie, UAC, 16 p, 2009
- [6] INSAE, Analysis of the results of the RGPB: population projections and prospective study of social demand in Benin, Cotonou, Benin, 113p, 2013
- [7] ASECNA, Journal des pluies maximales journalières de la station synoptique de Parakou, Bénin 2014.
- [8] Saggat M.M. and Pescod M.B., Modelling the performance of anaerobic wastewater stabilization ponds. Wat. Sci. Techn. H.W. Pearson and F.B Green (Editors), 31.pp. 171-183, 1995
- [9] Radoux M., "Epuration des eaux usées par Hydrogène reconstituée." *Tribune de l'eau* 42(8): 62-68, 1995
- [10] Metcalf et Eddy, Inc., Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, 3rd ed., McGraw-Hill International Editions, New York, USA. 15p, 1991
- [11] Madera C.A., Pena M.R., and Mara D.D, Microbiological quality of a waste stabilization pond effluent used for restricted irrigation in Valle Del Cauca, Colombia. Wat. Sci. Tech., 45 (1), pp139-143, 2002
- [12] Henze DA, Cameron WE, Barrionuevo G. Dendritic morphology and its effects on the amplitude and rise-time of synaptic signals in hippocampal CA3 pyramidal cells. J Comp Neurol. 369:331-344, 1996
- [13] Lazarova V., Savoye P., Janex M.L., Blatchley E.R and Pommepay M, Advance wastewater Disinfection technologies: State of the art and perspectives. Recycling and reuse. 2° International conference. Resources and Environmental: Priorities and challenge.14-16 September, Milan, Italy, 354-362, 1998
- [14] Nigim H.H., Hashlamoun W.A., Aldadah J.Y., and Vassel J.L., Potential implication of subsurface drip irrigation with primary treated wastewater. WA regional symposium on water recycling in Mediterranean region. Iraklio, Greece, 26-29 September. Preprint Book 2: 171-174. 2002

- [15] Council of the European Communities Council Directive 91/271/EEC concerning urban wastewater treatment. Official Journal of the European Communities L135, 40-52, 1991 http://www.europa.eu.int/comm/environment/water/urban_waste/directiv.html (30 May, 1991)
- [16] Menguele J-C., Contribution à l'analyse critique du dimensionnement de la station de traitement des eaux usées de l'EIER. Analyse des performances de la filière bassin facultatif – bassin de maturation. Rapport de recherche, EIER/GS, Ouagadougou, 20p, 1990
- [17] Darriulat C, Bassins de stabilisation en climat sahélien : comportement physico-chimique et description de la biomasse pour une charge donnée. Travail pratique de diplôme. Travail de diplôme / EPFL; Lausanne, 1991
- [18] Klutsé A., Epuration des eaux usées domestiques par lagunage en zone soudano sahélienne (Ouagadougou, Burkina Faso). These de Doctorat, Université Montpellier II. 160 p, 1995
- [19] Laouali G., Delisle C. E., Vincent G., Couillard D. and Laouali S., "Experimental study of wastewater treatment by facultative ponds and free hydrophytes in Niger." *Water Quality Research Journal of Canada* 31(1): 37-50, 1996
- [20] Laouali S.M. et Idder T, Expériences pilote (Aquadev- UAM Niamey) de traitement des eaux usées urbaines par lagunage Séminaire International sur l'Assainissement Urbain en Afrique, Dakar-Gorée, 18-12, 2000
- [21] Koné D., Cissé G., Seignez C. and Holliger C, "Le lagunage à laitue d'eau (Pistia stratiotes) à Ouagadougou : une alternative pour l'épuration des eaux usées domestiques destinées à l'irrigation." *Cahiers Agricultures* 11: 39-43, 2002
- [22] Ayers R.S. and Westcott, D.W., *Water Quality for Agriculture*. FAO *Irrigation and Drainage Paper* No. 29. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, 1985
- [23] OMS, Lignes directrices pour un usage sûr des eaux usées et des excréta en agriculture et en aquaculture. Genève. Organisation Mondiale de la Santé. 3.3. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 19. No. 12. pp. 61-64, 1989
- [24] Brix H., "Functions of Macrophytes in Constructed Wetlands." *Water Science and Technology* 29(4): 71-78, 1994
- [25] Brix H., "Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?" *Water Science and Technology* 35(5): 11-17, 1997
- [26] Reddy K.R. and d'Angelo E.M., Biochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed wetlands. 5th Proc Internl Conf. Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna, keynote Address 1, pp. 1-21, 1996
- [27] Reddy K. R., Agami M. and Tucker J. C. "Influence of nitrogen supply rates on growth and nutrient storage by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) plants." *Aquat. Bot.* 36(1): 33-43, 1989
- [28] Guène O. and Touré, C. S., "Fonctionnement du lagunage naturel au Sahel." *La Tribune de l'eau* 44 (552): 31-42, 1991
- [29] Niang S., Diop B. S., Mbeguere M. and Radoux M., "Urban wastewater purification by natural epuration systems in Sahel countries: The experimental plant of Camberene (Dakar-Senegal)." *Vecteur Environment* 29(5): 31-36, 1996
- [30] Bahlaoui M., Lagunage à haut-rendement expérimental: Dynamique de différents groupes bactériens et performances épuratrices sanitaires. Thèse de doctorat, Université de Montpellier, Montpellier. 164 p, 1990
- [31] Guène O., Contribution à l'étude du fonctionnement et de la modélisation de l'épuration de la pollution carbonée et microbienne des lagunes naturelles sous climat sahélien : cas de la STEP pilote de l'EIER. Rapport de recherche pour le cycle d'études post grades en Ingénierie de l'environnement EPFL Lausanne. Novembre, 65 pages, 1989.

MODELISATION PHYSIQUE ET MATHEMATIQUE DE L'ECOULEMENT SANGUIN DANS L'ANEVRISME DE L'AORTE ABDOMINALE

Mbaya Ilunga Edouard¹, Mansiantima Lutete Doris², and Boale Bomolo Paulin³

¹Assistant à l'Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kinshasa, RD Congo

²Assistant à l'Université Pédagogique Nationale de Kinshasa, RD Congo

³Chef des Travaux à l'Université de Kinshasa de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2016 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 Aneurysm is an expansion or distension of the wall of a blood vessel, however, this study is based on the abdominal aorta, a segment of the aorta that gives rise to the celiac trunk that divides into gastric arteries, liver and spleen. We designed physical model with the software Solidwokes. This software has allowed us to visualize the Abdominal Aortic Aneurysm, we have noticed an increase in the diameter of the aorta where less than 50% over the normal aorta. The mathematical models of blood flow in the abdominal aorta aneurysmed were made based on the exploitation of Navier Stokes equations, for the finite difference method and that of the law of conservation of momentum. These math modes show that in the Abdominal Aortic Aneurysm it has increase the upstream pressure of blood and decrease downstream.

KEYWORDS: modeling, physical, mathematical, blood, Aneurysm, Abdominal Aorta.

RESUME: L'Anévrisme est une dilatation ou distension anormale de la paroi d'un vaisseau sanguin. Cependant, la présente étude se base à l'aorte Abdominale, un segment de l'Aorte qui donne naissance au tronc coélique qui se divise en artères gastriques, hépatique et splénique. Nous avons conçu son modèle physique avec le logiciel SolidWokes. Ce logiciel nous a permis de visualiser l'Anévrisme de l'Aorte Abdominale, nous avons remarqué une augmentation du diamètre de l'aorte d'au moins 50% par rapport à son diamètre normal. Les modèles mathématiques de l'écoulement sanguin dans l'aorte Abdominale anévrismée ont été réalisés sur base de l'exploitation des équations de Navier Stokes, par la méthode de différences finies et celle de la loi de conservation de l'impulsion. Ces modèles mathématiques ont démontré que dans l'Anévrisme de l'Aorte Abdominale il ya augmentation de la pression sanguine en amont et diminution en aval.

MOTS-CLEFS: Modélisation, Physique, Mathématique, sang, Anévrisme, Aorte Abdominale.

INTRODUCTION

Depuis plusieurs décennies, le corps humain était considéré par les scientifiques comme un système dont le fonctionnement ne peut être étudié qu'au moyen des lois physiques. De nos jours, la mathématique en biologie et en médecine est en plein essor[1]. De plus en plus les praticiens des mathématiques purs et appliquées s'y intéressent, de façon symétrique de plus en plus les biologistes et les médecins ressentent le besoin d'une telle approche, et font appels à des techniques mathématiques et informatiques pour analyser les variations des paramètres de fonctionnement des organes qui composent le corps humain. Ces différents organes sont alimentés par le sang, un liquide de couleur rouge qui circule dans le corps à travers les vaisseaux. Force est de constater qu'en présence des pathologies vasculaires, les paramètres de circulation sanguine varient. Cependant, l'étude de la variation des grandeurs physiques et mathématiques dans l'Anévrisme de l'aorte Abdominale, une dilatation permanente localisée segmentaire avec perte du parallélisme des

bords du diamètre de l'aorte Abdominale[2 – 8], a retenu notre attention, dans l'objectif de contribuer à l'établissement de son modèle physique et mathématiques capables de décrire la pression linéaire dans le conduit en fonction de la vitesse d'écoulement et la pression pariétale. De ces deux écoulements, celui de la pression linéaire présente une vitesse d'écoulement stationnaire, pendant que l'autre présente une vitesse d'écoulement dépendant du temps.

MÉTHODES ET MATÉRIELS

Dans ce travail, les techniques expérimentales capables de traduire la réalité directement accessible à notre thème de recherche à l'échelle de laboratoire constituent la principale méthode utilisée pour examiner le comportement de l'écoulement sanguin dans l'Anévrisme de l'Aorte Abdominale (AAA). Le logiciel SolidWokes sera aussi exploité dans la partie de la modélisation physique dans ce travail, pour prouver qu'il y a la cohérence entre la revue de la littérature spécialisée et les résultats expérimentaux.

L'étude bibliographique récente et fouillée faite sur les divers domaines ayant une implication directe ou indirecte avec cette recherche est investiguée, critiquée et complétée. La récolte et la répartition de l'évolution des pathologies vasculaires déjà utilisés dans le paramètre de l'aorte abdominale, à travers le monde ont servi comme retour d'expériences en cette matière sensible.

MODELISATION PHYSIQUE DE L'ANEVRISME DE L'AORTE ABDOMINALE

D'une manière générale, la modélisation est définie par le système étudié appelé système primaire et le modèle appelé système secondaire. Ce qui revient à comprendre que la modélisation est une simplification de la réalité[9]. Il est essentiel de retenir que dans le cadre de cet article, la modélisation physique n'est autre chose que la représentation de l'Aorte Abdominale Anévrismée sous forme d'un dessin afin d'analyser son comportement. Nous signalons que le modèle physique sera réalisé à partir du logiciel Solidwokes, et pour y arriver nous partirons d'un des mesures d'un spécimen réel de l'Anévrisme de l'Aorte Abdominale obtenu auprès des médecins et d'autres personnes de la discipline. Les dimensions prélevées nous ont permis de dresser le tableau 1 ci-dessous :

TABEAU 1 : Données relatives à l'Anévrisme de l'Aorte Abdominale[10]

N°	VALEURS DU DIAMETRE (m)	VALEURS DE SECTIONS (m ²)
1	0.024901960784314	0.000400000000000
2	0.024411764705882	0.000400000000000
3	0.024509803921569	0.000394285714286
4	0.024901960784314	0.000400000000000
5	0.025882352941176	0.000394285714286
6	0.026862745098039	0.000400000000000
7	0.026372549019608	0.000428571428571
8	0.026372549019608	0.000451428571429
9	0.026862745098039	0.000457142857143
10	0.026372549019608	0.000457142857143
11	0.025882352941176	0.000451428571429
12	0.025882352941176	0.000451428571429
13	0.026372549019608	0.000451428571429
14	0.026568627450980	0.000457142857143
15	0.026666666666667	0.000502857142857
16	0.026666666666667	0.000508571428571
17	0.026666666666667	0.000514285714286
18	0.026862745098039	0.000514285714286
19	0.027843137254902	0.000508571428571
20	0.028823529411765	0.000531428571429
21	0.030784313725490	0.000571428571429
22	0.032745098039216	0.000600000000000
23	0.035686274509804	0.000685714285714
24	0.037647058823529	0.000771428571429
25	0.039117647058824	0.000874285714286
26	0.040098039215686	0.000971428571429
27	0.050392156862745	0.001028571428571
28	0.050931372549020	0.002038685714286
29	0.039117647058824	0.001057142857143
30	0.038627450980392	0.001028571428571
31	0.037647058823529	0.000988571428571
32	0.036176470588235	0.000942857142857
33	0.033725490196078	0.000851428571429
34	0.032254901960784	0.000742857142857
35	0.030784313725490	0.000657142857143
36	0.029803921568627	0.000565714285714
37	0.027352941176471	0.000514285714286
38	0.026372549019608	0.000428571428571
39	0.025882352941176	0.000400000000000
40	0.025980392156863	0.000394285714286
41	0.026078431372549	0.000388571428571
42	0.024901960784314	0.000400000000000

Le tableau 1 concerne les données relatives à l'Anévrisme de l'Aorte Abdominale(AAA). Ces données indiquent particulièrement les différentes dimensions des tronçons du diamètre et de leurs sections. Nous constatons qu'il n'y a pas de grands écarts entre ces valeurs. Ces dernières ont une évolution en dents de scie.

Partant de ces mesures et après conception dans le logiciel Solidwokes, les résultats du modèle physique sont présentés par la figure 1 ci-dessous :

AORTE À L'ÉTAT PATHOLOGIQUE (ANÉVRISME)

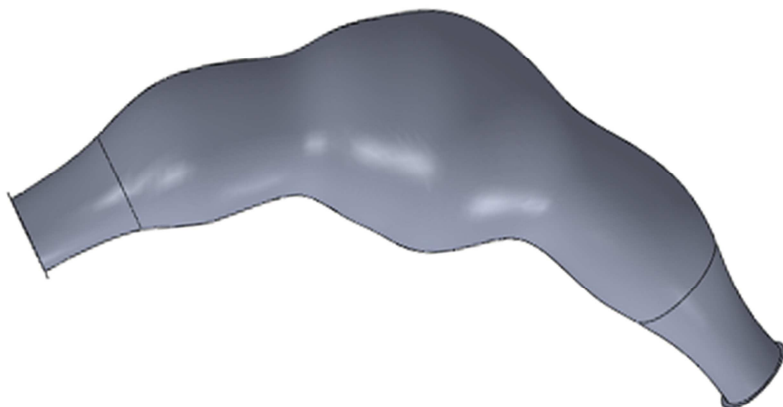


Figure 1. : L'Aorte Abdominale Anévrismée

La figure 1 est le modèle physique de l'Anévrisme de l'Aorte Abdominale. Ce modèle illustre la forme de l'aorte abdominale atteinte par l'anévrisme, ses différentes coupes se présentent de la manière suivante (figures 2, 3 et 4).

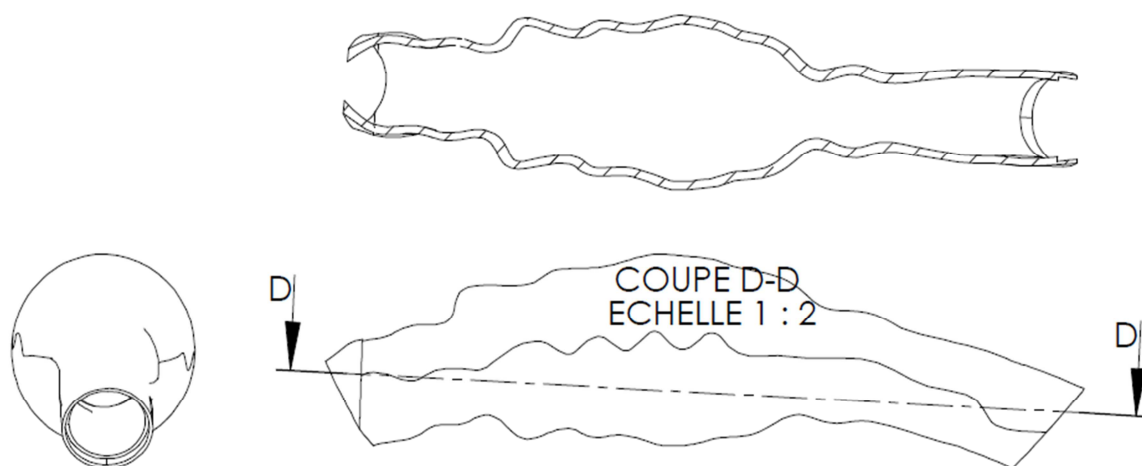


Figure 2.

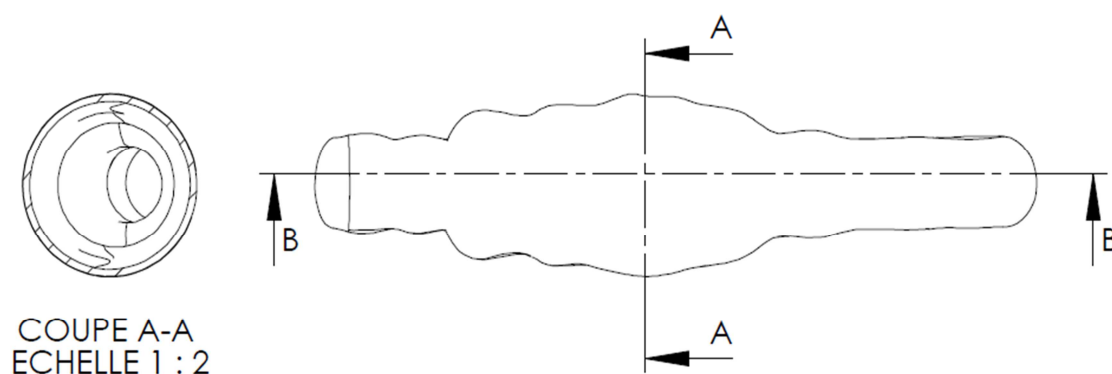
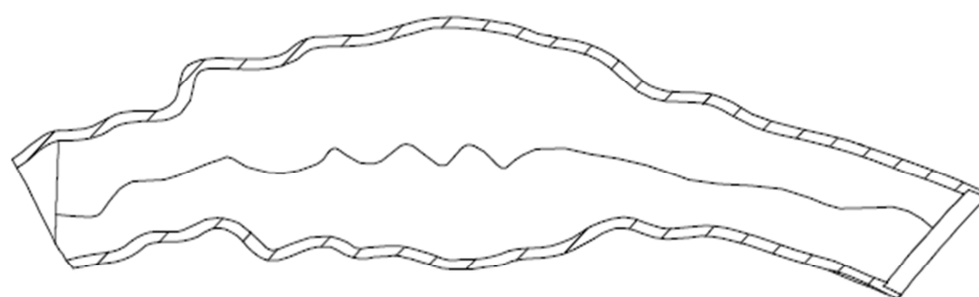


Figure 3.



COUPE B-B
ECHELLE 1 : 2

Figure 4.

La figure 1 montre la forme de l'Aorte à l'état pathologique (Anévrisme).ses différentes coupes sont représentées par les figures 2, 3 et 4. Nous observons que l'Aorte à l'état pathologique (Anévrisme), a la forme d'une conduite à section variable.

MODELISATION MATHEMATIQUE

La modélisation mathématique étant une représentation d'un système sous forme d'équations mathématiques afin d'analyser son comportement. Il est important de savoir que la description mathématique d'un fluide en mouvement se fait au moyen des fonctions déterminant la distribution de sa vitesse $V = v(x,y,z,t)$, sa pression et de sa densité.

Ces fonctions sont définies par les relations suivantes :

$$V = v(x,y,z,t)$$

$$P = p(x,y,z,t)$$

$$\rho = \rho(x, y, z, t)$$

ces trois fonctions (vitesse, pression, densité) déterminent complètement l'état d'un fluide en mouvement et sont généralement des fonctions des coordonnées x,y,z et du temps t , ce qui conduit à dire que $v(x,y,z,t)$ est la vitesse du fluide dans chaque point x,y,z de l'espace à l'instant t .

Le sang humain est aligné dans le rang des fluides incompressibles (non newtonien), or les fluides incompressibles sont gouvernés par les expressions d'Euler [11], à savoir :

$$1) \oint \rho v df \quad (1)$$

$$2) -\frac{\partial}{\partial t} \int \rho dv \quad (2)$$

Egalant les deux expressions, on obtient l'équation de Navier Stokes [12 – 16] :

Équation de continuité

$$\left\{ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \operatorname{div} v + v \operatorname{grad} \rho = 0 \right. \quad (3)$$

Équation de mouvement

$$\left\{ \frac{\partial v}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{v} + \vec{\nabla} p = \frac{1}{Re} \nabla^2 \mu \vec{\nabla} \cdot \vec{v} = 0 \right. \quad (4)$$

Parce qu'il s'agit de l'écoulement du sang, nous prenons en compte l'équation de mouvement. La résolution de cette équation de Navier Stokes et de l'équation de conservation de l'impulsion dans un écoulement que nous avons abordé au point 3.2 de cet article, nous permet d'obtenir les modèles d'équations capables de gouverner le système qui caractérisent l'objet de notre étude.

Ces équations sont à savoir :

EQUATION DE NAVIER STOKES

L'équation de Navier Stokes pour les fluides incompressibles étant :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{v} = -\frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p + \mu \nabla^2 \vec{v} \quad (5)$$

$\vec{v}$: vitesse du fluide en m/s

ρ : Masse volumique en kg/m³

P : pression du fluide en N/m²

μ : viscosité cinématique du fluide

Sachant que le premier membre de l'équation est une dérivation partielle ou dérivé matériel, en considérant que l'écoulement est stationnaire c.à.d. ne dépend pas du temps, la vitesse est constante, ces hypothèses nous conduisent à dire que le premier membre de l'équation peut être égalé à zéro(0).

$$0 = -\frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p + \mu \nabla^2 \vec{v} \quad (6)$$

$$\rightarrow \frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p = \mu \nabla^2 \vec{v} \quad (7)$$

En considérant que l'écoulement se fait pleinement dans une direction de y à cause de la différence de pression qui existe entre l'entrée et la sortie de l'artère, l'équation (7) de Navier Stokes prend la forme suivante:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{1}{\eta L} (P_1 - P_2) \quad (8)$$

Où

η : Viscosité absolue ;

L : longueur entre P_1 et P_2 .

Cette équation est le modèle mathématique de notre artère qui relie la pression à la vitesse.

Elle peut être exploitée et traitée par des méthodes numériques, parmi lesquelles nous citons [17 – 28] :

- La méthode des différences finies ;
- La méthode des éléments finis ;
- La méthode des volumes finis.

Pour approfondir notre étude, nous faisons recours à la méthode des différences finies, en voici les principes :

$$\frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} = \frac{f_{i+1} + f_{i-1} - 2f_i}{\Delta x^2} \quad (9)$$

$$\frac{\partial f(x)}{\Delta t} = \frac{f^{tn+1} - f^{tn}}{\Delta t} \quad (10)$$

DISCRÉTISATION DES ÉQUATIONS DE NAVIER-STOKES

Avant de discrétiser cette équation, relevons une difficulté qui est celle de la présence de l'opérateur ∇ dans ces équations. Nous avons comparé ces équations à l'une des équations aux dérivées partielles dont la solution est déjà connue. Il s'agit :

- des équations aux dérivées partielles hyperboliques ;
- des équations aux dérivées partielles paraboliques ;
- des équations aux dérivées partielles elliptiques.

Leur forme générale se présente comme suit :

$$\frac{V^{n+1} - V^n}{\Delta t} + \nabla \cdot (V^{n+1} \times V^n) = \nabla p^{n+1} + \frac{1}{R_e} \Delta V^{n+1} \quad (11)$$

Après comparaison avec l'une des équations évoquées ci-haut nous obtenons :

$$\frac{V^{n+1} - V^n}{\Delta t} + V^{n+1} \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)^n - \frac{1}{R_e} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \right)^n \quad (12)$$

Et après regroupement des termes on obtient finalement l'expression de la vitesse après n pas.

$$V^{n+1} = \frac{V^{n+1} + \frac{\Delta t}{R_e} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \right)^n}{1 + \Delta t \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)^n} \quad (13)$$

Cette expression de la vitesse nous permet de ressortir le graphique donnant la forme du maillage.

MAILLAGE

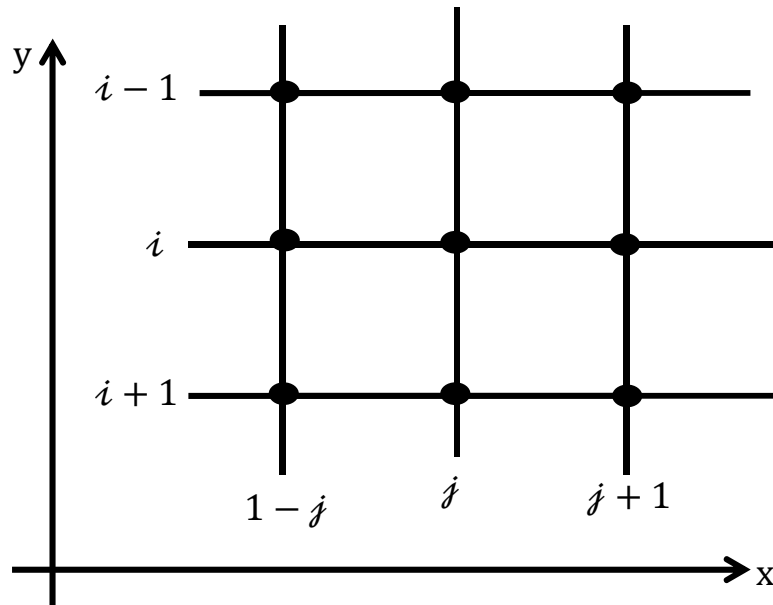


Figure 5 : maillage de la vitesse en fonction des pas.

Dans cette graphique, la vitesse V est représentée par y et le pas par x.

En se référant de cette forme de maillage, l'équation de mouvement de Navier-stokes sous forme discrète s'écrit :

$$\frac{V_{i+1,j}^{n+1} - V_{i+1,j}^n}{\Delta t} + V_{i+1,j}^{n+1} \times \frac{V_{i+1,j}^n - V_{i-1,j}^n}{2\Delta x} + V_{i+1,j+1}^n - V_{i+1,j-1}^n + \frac{V_{i+1,j}^n - V_{i-1,j}^n}{\Delta x} = \frac{1}{Re} \left[\frac{V_{i+3,j}^n - 2V_{i+1,j}^n + V_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + \frac{V_{i+1,j+1}^n - 2V_{i+1,j}^n + V_{i+1,j-1}^n}{\Delta y^2} \right] \quad (14)$$

Cette discrétisation permet de tracer le graphique de maillage de la pression linéaire (Figure 6).

RÉSOLUTION DE L'ÉQUATION :

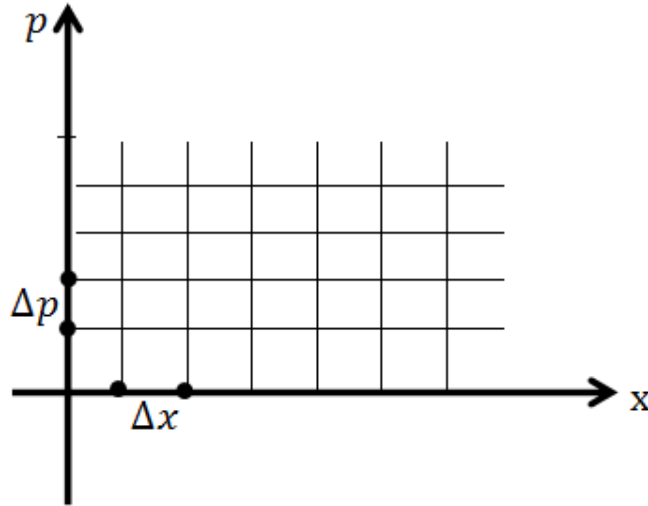


Figure 6 : maillage de la pression.

La figure 6 indique le maillage de la pression en fonction des pas de calcul.

EQUATION DE LA CONSERVATION DE L'IMPULSION[29]

PRESSION PARIETALE

FORCE PARIÉTALE

Le théorème de l'impulsion s'applique de la manière suivante :

$$\frac{dp}{dt} = \vec{F} = -\vec{F}' \quad (16)$$

La variation totale par unité de temps de l'impulsion portée par le fluide est égale à la résultante $\vec{F}$ des forces agissant sur le fluide ($\vec{F}' = -\vec{F}'$ réaction du fluide sur la conduite)

$$\begin{aligned} F &= \frac{dp}{dt} \\ &= \frac{d}{dt} (m_2 V_2 - m_1 V_1) \\ &= V_2 \frac{dm_2}{dt} - V_1 \frac{dm_1}{dt} \\ F &= V_2 \rho s_2 v_2 - v_1 \rho s_1 V_1 \\ &= \rho s_1 v_1 (V_2 - V_1) \end{aligned}$$

Par suite de l'équation de continuité

$$\begin{aligned} s_1 v_1 &= s_2 v_2 \\ F' &= \rho s_1 v_1 (V_1 - V_2) \end{aligned}$$

SURFACE PARIÉTALE

Partant des valeurs du diamètre de la section normale obtenues à l'aide du modèle physique, déterminant pour pas $\Delta x = 3mm$ de l'artère pour une longueur de 60mm, la valeur de la vitesse et de la surface pariétale pour chaque pas est définie par la relation :

$$v_i = \frac{Q}{S_i} \quad (17)$$

$$S_{pi} = \pi \cdot d_i \cdot \Delta x \quad (18)$$

Où

v_i : vitesse correspondante à la section $S_i(m/s)$;

S_i : Section de la conduite au pas $\Delta x(m^2)$

S_{pi} : Section de la paroi au pas $\Delta x(m^2)$;

d_i : diamètre du conduit au pas Δx .

RESOLUTION

Connaissant la vitesse, section frontale et pariétale de l'artère à chaque pas, déterminons la pression pariétale par la formule ci-après :

$$p_{ri} = \frac{F_i}{S_{pi}} \quad (19)$$

$$= \frac{\rho \cdot S_i \cdot V_i \cdot (v_{i+1} - v_i)}{\pi \cdot d_i \cdot \Delta x}$$

Où

p_{ri} : Pression pariétale correspond à la section pariétale S_{pi} ;

V_i : vitesse d'écoulement correspondant au diamètre d_i ;

S_i : Section frontale correspondant au diamètre d_i ;

ρ : Masse volumique du sang.

RESULTATS

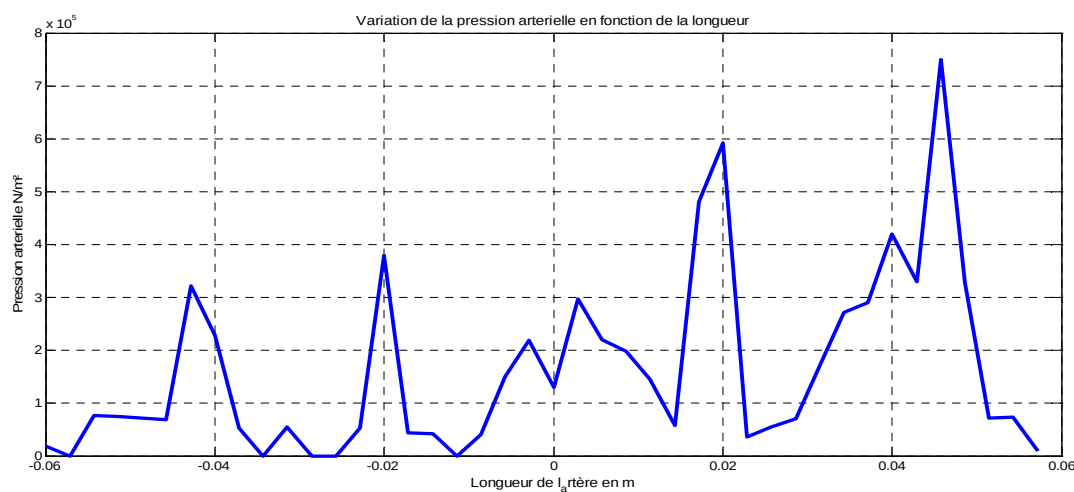


Figure 7 : Variation de la pression pariétale dans l'artère en fonction du diamètre.

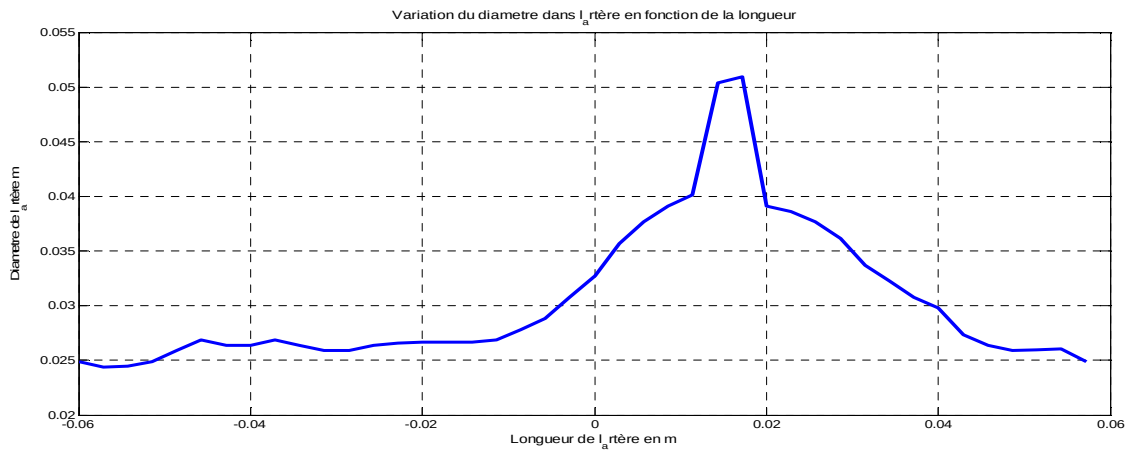


Figure 8 : Variation du diamètre en fonction de la longueur.

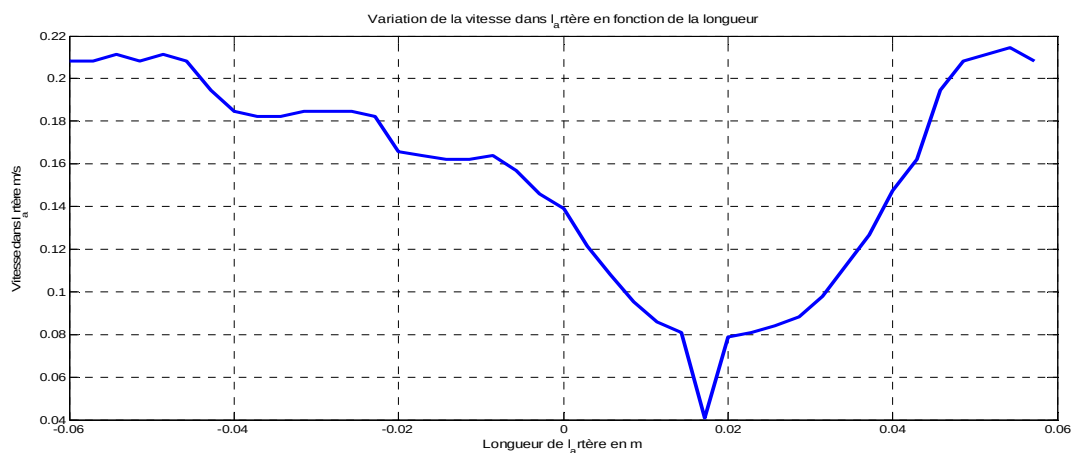


Figure 9 : Variation de la vitesse dans l'artère en fonction de la longueur.

DISCUSSION

Ce bref aperçu sur la modélisation de l'écoulement du sang dans l'anévrisme de l'aorte abdominale a montré que le sang est un fluide incompressible et l'aorte une structure. Nous référons au principe de Bernoulli sur la dynamique des fluides qui stipule que l'augmentation du rayon dans une conduite hydraulique entraîne une diminution de la vitesse et par conséquent une perte d'énergie cinétique qui se traduit par une augmentation de la pression et celui de Laplace disant que plus le rayon est grand, plus la tension exercée sur la fibre musculaire est grande. En observant nos résultats nous constatons qu'ils traduisent le principe énoncé par ces deux auteurs célèbres.

CONCLUSION

Nous voici à la fin de cet article, inscrit dans la dynamique de modéliser Physiquement et mathématiquement l'écoulement sanguin dans l'Anévrisme de l'Aorte Abdominale(AAA).

Pour y parvenir, nous avons recouru au logiciel Solidworks qui nous a permis de réaliser un modèle physique montrant que l'Anévrisme de l'Aorte Abdominale(AAA), est une augmentation du diamètre de l'aorte abdominale d'au moins 50% par rapport à son diamètre normal.

Ensuite, nous avons fait usage des différentes équations mathématiques existant déjà, à savoir : l'équation de Navier Stokes, la loi de l'impulsion du fluide et autres qui nous ont servi de base pour évaluer le comportement de l'écoulement sanguin dans l'Anévrisme de l'Aorte Abdominale.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous ceux qui par leur aide directe ou indirecte, ont rendu la réalisation de cet article possible, dont : le professeur Nkebolo Malafu, Beta Mwakatita Mura, Ahuka Shamba, Beya dibue, le Chef des Travaux Rosta pour ses orientations scientifiques et l'assistant Doris Mansiantima qui n'ont pas manqué d'intérêt pendant la rédaction de ce dernier.

REFERENCES

- [1] MABEM Parie 13 Mais 2008 Modelisation mathemetique en biologie et en medecine un etat des lieux de la recherche en France à travers les équipes du GDR P1
- [2] K. W. Johnston, R. B. Rutherford, M. D. Tilson, D. M. Shah, L. Hollier, J. C. Stanley. Suggested standards for reporting on arterial aneurysms. Journal of Vascular Surgery, 13(3):452–458, 1991.
- [3] Forte pharma (février 2014) Rupture de l'anévrisme de l'aorte abdominal dépistage frés.
- [4] Haute Autorité de santé Recommandation en santé publique » fiche de dépistage et prévention des anévrismes de l'aorte abdominale » France 2012.
- [5] Gore et Associates Information pour le patient « traitement endovasculaire des anévrismes de l'aorte abdominale P₄.
- [6] A. Lederle, G. R. Johnson, S. E. Wilson, I. L. Gordon, E. P. Chute, F. N. Littooy, W. C. Krupski, D. Bandyk, G. W. Barone, L. M. Graham, R. J. Hye, D. B. Reinke, L. M. Messina, C. W. Acher, D. J. Ballard, H. J. Ansel, A. W. Averbook, M. S. Makaroun, G. L. Moneta, J. Freischlag, R. G. Makhoul, M. Tabbara, G. B. Zelenock, J. H. Rapp. Relationship of age, gender, race, and body size to infrarenal aortic diameter. Journal of Vascular Surgery, 26(4):595 601, 1997.
- [7] Natali.J. 1989, anévrisme de l'aorte abdominale Encyclopédie Médical chirurgie, Paris.
- [8] Zaher Kharboutly, 2007, thèse, étude de l'écoulement sanguin dans des fistules artériole-veineuses reconstruire à partir d'image médicale P₁₇.
- [9] E. Dieu le Saint 1987 automatique appliquée édition Mexico SAO PAULO P44.
- [10] Leotta DF, Jus 2001 L'avenir :Angiosonologie 3D.
- [11] L.Landau et al 1971 Physique générale théorie tome VI Mécanique des fluides éditions Mir Moscou P₁₀.
- [12] Jean Marc er Brun August 8.2008 Mécanique des fluides P30.
- [13] A.Mellet and A.Vasseur on the barotropie compressible Navir Stokes departement mathematics University of Texas at Austin P2.
- [14] Vincent Girinon 2012 These doctorale quelques problemes aux limites pour les équations de Navier Stokes P3.
- [15] Jean yves Chemin 2004 système de Navier Stokes incompressible soixante Dix ans après Jean Leray P102.
- [16] Steven Dobek 2012 Fluid Dynamics and the Navier Stokes équation CMSC 498 A :Spring 12 semestre.
- [17] Daveau Christian Master Map M₁Mathematique appliquée UE 2 équation aux dérivées partielles par differences finies et volume fini P10.
- [18] Argenco –MS²F – Hydrologie,Hydrodynamique appliquée et construction hydraulique (HACH) Differences finies P10.
- [19] P.G.Ciarlet, 1978 the finite element method for elliptic problem, North Holland.
- [20] Vovelle 2011 introduction à la méthode des volumes finis P1
- [21] Kamel Gueraoui Analyse numérique Methode de volumes finis Université Mohammed V-AGDAL Faculté de sciences Rabat.
- [22] D.Serre, systemes de lois de conservation I,Fondations,Diderot édition,Paris,1996 Hyperbolicité entropies ondes de choc.[*Hyperbolicity, entropies shock waves*].
- [23] C.M.Dafermos 2010 ,hyperbolic conservation laurs of continuum physics third ed,Grundlehren der Mathematischen wissenschaften [*fundamental principles of mathematical sciences*] vol.325,Sprnger-verlag,Berlin.
- [24] Mrabti A. 1999 these doctorale simulation numerique d'écoulement de conversion naturelle.
- [25] J.vovelle December 2011la méthode des volumes finis appliquée aux lois de conversion d'ordre un.
- [26] Anatoniadis A.and Bogot,J.and Von sachs,R.A.2007 multiscale approach for statistical characterization of spatial ly and tamporally heterogeneous brain response image Technocal Report.
- [27] Tonnelier,A.2005 categorization of neural excitability using threshold modes,Neural computation.
- [28] Della Dora, Jing.and Maignan,A.and Tournier,L.2006 Dynamical systemes : and algorithmic point of view transgressive computing.
- [29] Jean Rossel1963 physique générale édition du Griffon- Neuchatel Diffusion Dunod-Paris P₁₃₉

Présence de *Hyalomma truncatum* une nouvelle espèce de tique dans la plaine de la Ruzizi, Est de la République Démocratique du Congo par l'importation des races améliorées des bovins de la Tanzanie et du Burundi

Alphonse BISUSA MUHIMUZI¹ and KUJIRABWINJA RUCACURA Elige²

¹Laboratoire d'Entomologie Vétérinaire, Département de Biologie, Centre de Recherche en Sciences naturelles de Lwiro (CRSN), B.P DS Bukavu Lwiro, Sud-Kivu, RD Congo

²Assistant d'enseignement, Institut Supérieur de Techniques de Développement (ISTD/Mulungu), RD Congo

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: From October 27 to November 10, 2014, a study was conducted in the districts of the frontier region of Burundi following the main roads from Tanzania; routes followed by entries of new cattle breeds to the Democratic Republic of Congo. These cattle input motions are more oriented in the Ruzizi plain. These breeds of cattle are more efficient in the production of meat, dairy, with a large build, the sale gives more money per adult cattle or younger. These cattle breeds are: The hybrid SAHIWALE, Ankole from Tanzania; Friesian from Uganda, MONTEBERIALE, SWITZERLAND and BROWN JERSEY. These cattle during their imports also come with mites ectoparasites, including *Rhipicephalus appendiculatus* 64.9%; *Rhipicephalus evesti evesti* 2.8%; *Hyalomma* 0.17%; *Boophilus decoloratus* 15.8%; *Amblyomma variegatum* 16.9% and *Haemaphysalis leachi leachi* 0.01%. A species of ticks is *Hyalomma truncatum* recently introduced following the inputs of these new breeds of cattle.

KEYWORDS: *Hyalomma truncatum*, tick, Ruzizi, cattle, Tanzania, Burundi.

RESUME: Du 27 Octobre au 10 Novembre 2014, une étude a été conduite dans les districts de la région frontalière du Burundi en suivant les routes principales venant de la Tanzanie ; routes suivies par les entrées des nouvelles races de bovins vers la République Démocratique du Congo. Ces mouvements d'entrée des bovins se trouvent plus orientés dans la plaine de la Ruzizi. Ces races de bovins sont plus performantes en production de viande, laitière, ayant une grosse carrure, à la vente procure plus d'argent par bovin quoiqu'étant adulte ou jeune. Ces races de bovins sont : Les hybride de SAHIWALE, ANKOLE venant de la Tanzanie ; FRISONNE venant de l'Ouganda, MONTEBERIALE, BRUN SUISSE et le JERSEY. Ces bovins lors de leurs importations, viennent aussi avec des ectoparasites acariens, dont *Rhipicephalus appendiculatus* 64,9% ; *Rhipicephalus evesti evesti* 2,8% ; *Hyalomma* 0,17% ; *Boophilus decoloratus* 15,8% ; *Amblyomma variegatum* 16,9% et *Haemaphysalis leachi leachi* 0,01%. Une espèce des tiques *Hyalomma truncatum* est d'introduction récente en suivant les entrées de ces nouvelles races de bovins.

MOTS-CLEFS: *Hyalomma truncatum*, tique, Ruzizi, bovins, Tanzanie, Burundi.

1 INTRODUCTION

Les tiques du bétail représentent l'une des contraintes majeures au développement de l'élevage en Afrique (Mourad M. et al., 1993 ; Tatchel et al. 1986 ; Ogden et al. 2004). Les tiques sont des ectoparasites introduisant plusieurs microorganismes dans le métabolisme de leurs hôtes par suite de leur piqûres et par conséquent un danger de l'élevage des bovins dans les régions infestées (D'Haese et al. 1999 ; Gitau et al., 1999 ; Maloo et al., 2001 ; Bisusa et al., 2014a).

En effet en dehors de l'action hématophage couplée de la pathogénie directe liée à la fixation de ces acariens sur les animaux pendant 5 à 25 jours que dure le repas sanguins ; de nombreuses espèces de tiques sont capables selon (Stachulski et al. 1988, Uilemberg 1990, Barré 1997, Hounzambe Annoté et al. 2001) de transmettre différents agents pathogènes à leurs hôtes. Ainsi pour les animaux élevés dans les zones tropicales et qui sont des milieux de diversité des espèces de tiques parasitant les bétail va de pair avec le retard de croissance et de la transmission des maladies (Farougous et al., 2006).

La situation reste inquiétante et préoccupante par suite des mouvements des animaux d'un pays à un autre sans toute forme de disposition tant de vaccination, de dépistage que de quarantaine. L'habitat des ixodidae doit contenir une concentration et une variété suffisantes d'hôtes pour pouvoir les nourrir à leur différents stades qu'il s'agisse des larves, des nymphes ou des femelles adultes. Les formes immatures se nourrissent sur les petits vertèbres à sang chaud, de préférence des rongeurs, alors que la plus part des adultes se gorgent sur les grands mammifères (Rham et al. 1966 ; Balagizi et al. 2013). Certaines études ont été réalisées dans la partie Est de la République Démocratique du Congo tant au Nord qu'au Sud Kivu.

Certaines études sur les tiques ont été faites dans la sous- région dont celles de: (Sika et al., 1986 ; ; Kalume et al., 2011 , Amzati S. 2011; Bisusa et al., 2014b ; Bisusa et al., 2014a ; Bisusa et al., 2014c ; Muhimuzi A.B., et al 2014).

Ces différentes études nous ont permis de mieux connaître la distribution des tiques et des leurs espèces tant au Nord qu'au Sud Kivu. Pour cette raison une espèce de tique d'introduction récente nous a été révélée par une troisième enquête que nous venions de réaliser dans la plaine de la plaine de la Ruzizi à savoir *Hyalomma truncatum*, cette tique d'introduction récente dont nous venions de récolter jusque-là un seul individu à Kiliba.

Les objectifs de la présente étude sont doubles à savoir: premièrement d'identifier les races des bovins qui sont importées par les éleveurs, alors ce sont des bovins dont les races n'existaient pas dans la plaine de la Ruzizi et deuxièmement des espèces des tiques qui se trouvent sur les bovins sur leur routes, dans les pâturages du Burundi, pays traversés par ces animaux quand ils viennent du Rwanda ou de la Tanzanie vers la plaine de la Ruzizi en République Démocratique du Congo.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 MILIEU D'ETUDE

Le Burundi à une frontière avec la République Démocratique du Congo qui va jusqu'à 233km, avec le Rwanda sur 290 km et avec la Tanzanie sur 451 km. L'altitude maximale est de 2670m et celle minimale est de 772 m (sur le lac Tanganyika). La plaine de la Ruzizi est une vaste plaine qui se trouve à la limite avec le Burundi dont elle est séparée par la rivière Ruzizi. La partie congolaise et celle burundaise font essentiellement l'élevage des bovins ajointé à l'agriculture. Nous avons alors mené nos recherches sur les bovins dans la partie burundaise dans les districts et villes suivants: Rugombo, Gihanga, Gitega et dans la ville de Muramvya car les bovins qui viennent du Burundi sont achetés par les éleveurs de la République Démocratique du Congo, mais aussi des bovins venant de la Tanzanie, du Rwanda et du Soudan traversent le Burundi avant d'atteindre la plaine de la Ruzizi en République Démocratique du Congo.

Nous avons récolté les tiques sur les bovins dans les villages des districts et villes suivants:



DISTRICT DE RUGOMBO

Villages	Altitudes	Latitudes	Longitude
MPARAMBO	880m	O28°84'55,2''	029°07'84,0''
MUKINGIZO	907m	O28°89'53,7''	029°91'14,96''
TRANSVAL 1 (RUSIGA)	874m	O28°91'23,5''	029°12' 39,94''
TRANSVAL 4	891 m	O28°84'86,5''	029°12' 09,67,0''

DISTRICT DE GIHANGA

Villages	Altitudes	Latitudes	Longitude
GIHANGA CENTRE	833m	O28°12'97,1''	029°30'31,8''
MUDUGU RUGUNGA	886m	O28°12'01 ,5''	029°24'72,8''
GIHUNGWE	847m	O28°31'41,52''	029°29' 46,5''

DISTRICT DE GITEGA

Villages	Altitudes	Latitudes	Longitude
GITEGA	1682m	O 3°43'042''	029°93'113''
GISOZI	1697m	O 3°43'042''	029°93'113''
GIHUNGWE	847m	O28°31'41,52''	029°29' 46,5''

VILLE DE MURAMVYA

Cette ville est la seconde ville du pays après Bujumbura ; elle est située à 50 km du district de Gitega. Elle est traversée par la route venant de MOMBASSA en Tanzanie. C'est donc un lieu de passage des bovins qui viennent de la Tanzanie et du Burundi en intérieur. Dans cette ville nous avons récolté les tiques sur les bovins à BIGANGA et à MUTAMBI.

CLIMAT DU BURUNDI

Le pays est sous l'influence d'un climat équatorial, haut plateau avec d'importantes différences d'altitude (de 772 à 2670 mètres). La température moyenne annuelle s'étend de 17 à 23°C. Les précipitations annuelles sont de 1 500 mm en moyenne. Saisons des pluies de février à mai, puis de septembre à novembre.

Lieu	Pluie Annuelle Moyenne (mm)	Jour de Pluie par an (jours)	T° M A en (°C)
Bujumbura	830.1	139	24.0
Cankuzo	1215.1	139	19.8
Gitega	1208.1	178	19.5
Gisozi	1473.9	178	16.6
Imbo	794.5	140	24.1
Karuzi	1158.8	136	19.6
Kirundo	1071.1	123	20.7
Kinyinya	1190.2	126	21.9
Makamba	1269.9	134	
Mparambo	925.6	141	24.2
Mpota (Tora)	1518.8	184	15.4
Muyaga	1180.1	102	
Muyinga	1099.7	136	19.8
Muriza	1156.5	148	18.6
Musasa	1160.0	158	21.6
Nyamuswaga	1361.9	159	18.9
Nyanza Lac	1271.2	120	23.4
Ruvyironza	1317.4	166	17.1
Rwegura	1678.2	190	14.9
Teza	1618.8	190	16.0

2.2 MATÉRIEL UTILISÉS

Sur terrain nous avons utilisé pour le déplacement un véhicule Land Cruiser 4X4 car nous allions d'une ferme à l'autre par jour et que ces fermes étaient situées en des distances considérables les unes des autres. Pour la prise de notes, le stylo, le carnet ou bloc-notes étaient très indispensables. Tous ces documents étaient gardés dans une sacoche. Un ice glass ou bac à froid nous aidé à conserver les tubes EDTA qui contenaient du sang récolté sur les bovins à l'aide des seringues et de l'aiguille. Ouate, gant et alcool nous ont aidé à désinfecter et essuyer les objets. L'appareil photographique nous servait pour la prise de vue. Une pince mouchette pour immobiliser les bovins et le thermomètre pour prélever la température et à cela s'ajoute le bovin notre principal matériel.

2.3 CARACTERISTIQUES DE L'ELEVAGE ET RACE DE BOVINS

Notre région d'étude, le Burundi, 95% sont des éleveurs de bovins. Ces animaux sont pour la grande partie gardés dans des familles où les vachers leurs suivent et s'en occupent. Toutefois certaines familles gardent chez elles 2 à 3 vaches laitières ; cela pour production et la consommation journalière de lait, cette disposition les épargne de faire des grandes distances à la recherche de leur lait car les fermes sont situées à distance des habitations. Les bovins rencontrés sont ceux de races améliorées ou des hybrides, c.à.d. des croisements entre deux races pures pour obtenir leurs produits intermédiaires. Nous y trouvons aussi ceux de races améliorées cas de Frisonne, Brun Suisse, Monteberiale, Sahiwal et le jersey. Ces hybrides sont très résistants comme des bovins de races locales. La productivité des animaux est faible. Les animaux Sahiwal ont une production laitière journalière moyenne de 5,1 l, soit 1861,4 litres par an. Les croisés Ayrshire Sahiwal et Frisonne Sahiwal ont une productivité légèrement supérieure: respectivement 5,6 l ; soit 2044 l par an. Pour ces deux races de bovins nous avons une différence de production laitière de 183 litres par an, économiquement cette différence de production reste très significative. Il existe donc une grande diversité génétique. L'alimentation de base de ces animaux de 40 - 45 kg (à l'âge adulte) est essentiellement composée d'*Eragrostis olivacea* (graminée commune des pâturages). Les animaux ont, selon les disponibilités, des compléments de *Desmodium uncinatum* *Stylosanthes guyanensis* (légumineuses) et de concentrés (maximum 3 kg/jour/animal). Les vaches Ankolé ont une production journalière moyenne de 2,5 l soit 912,5 litres par an. Les performances de reproduction moyennes sont liées à la race de bovins et à son alimentation ; et à l'intérieur de la race, la production est liée à l'âge du bovin.

Deux facteurs explicatifs importants peuvent être avancés. Premièrement, la conservation des fourrages, faute de mécanisation, est actuellement difficile et la couverture des besoins des animaux en pâturages semi extensifs sur des centaines d'hectares ne peut pas être assurée en saison sèche. Les animaux subissent donc des carences alimentaires sévères durant cette période. Or cette période reste celle de pullulation des tiques dans des fermes et pâturages causant ainsi assez de dommages chez les bovins.

3 IDENTIFICATION DES TIQUES RÉCOLTÉES

Les tiques ont été récoltées sur certains bovins qui étaient ciblés dans les troupeaux c.à.d. présentaient certains signes morphologiques tels : fièvre, amaigrissement, larmolement, ganglions gonflés, poils hérissant et peau boutonnée. Ces tiques récoltées ont été directement placées dans des tubes selon chaque bovin ; dans ce flacon on ajoutait du formol 4% pour les tuer et les permettre d'être gardées sans subir de décomposition. Ce formol aussi permet de garder leur peau inchangée après une longue durée de conservation ; c'est qui facilite l'identification (Walker et al.2005). L'identification a eu lieu au laboratoire d'entomologie vétérinaire du CRSN-Lwiro. Nous nous sommes servi dans la détermination des spécimens des clés d'identification Hoogstraal (1956), et celle d'Elbel-Anatos (1956)

4 RESULTATS

4.1 AU SUJET DES RACES DE BOVINS

Au Burundi dans les 4 districts que nous avons visité, nous avons trouvé assez de bovins de races nouvelles qui s'ajoutent aux types de bovins indigènes. Dans toutes les fermes, plusieurs critères ont fait que les éleveurs s'adonnent aux bovins de races améliorées savoir.

PRODUCTION LAITIÈRE ABONDANTE

En effet les races améliorées produisent du lait allant de 15 à 35 litres par jour et d'une manière continue. Cela s'explique par le fait qu'une fois saillie, après la mise bas, on traite ces bovins toute leur vie sauf au 8^{ème} et 9^{ème} mois de la gestation.

PERFORMANCE REPRODUCTIVE

Ces bovins donnent un veau chaque année c.à.d. qu'après chaque mise bas, deux mois suivant, elles sont en chaleur et alors doivent être saillies.

- LEUR CONFORMATION ET POIDS

Ces bovins de race améliorées pour la plupart sont haut sur pattes, avec à l'abattage une quantité considérable de viande allant jusqu'à 1200kgs cela moins les os. Ce qui conduit à leur vente très cher, dont un bovin peut équivaloir au prix de deux, trois voire quatre vaches de race locale.

- LA VENTE DE LEUR DÉJECTION (PURIN ET BOUSE)

Il est vrai que ces animaux de race améliorés mangent beaucoup (allant de 20 à 35 kgs), boivent assez (allant de 20 à 40 litres d'eau par jour) et consomment des suppléments alimentaires allant de 5 à 10 kgs par jour.

Mais aussi, ils produisent une déjection formidable en quantité qu'en qualité que ce soit pour le purin que pour la bouse.

- POUR LA RENTABILITÉ SOCIALE EN CAS DE MARIAGE ET AUTRES USAGES

Deux bovins de races améliorées couvrent déjà à la vente 2500 à 4000 dollars, montant équivalent à l'achat de 2 à 4 ha ou survenant à toute la dot dans le cas de mariage. Comme au Burundi la dot est toujours en terme de vaches, surtout celle locaux, converti en argent (francs burundais ou en dollars) alors une vache de race améliorée arrive à excéder même la dote demandée. Voilà pourquoi tous les burundais et leur voisins veulent à tout prix élever ces bovins de races améliorées.

Parmi les cinq races de bovins rencontrées au Burundi, deux races sont les plus convoitées à savoir Sahiwal et Montebellia.

4.2 INVENTAIRE DES TIQUES DES BOVINS DANS CES DISTRICTS

Au sujet de l'inventaire des tiques qui parasitent les bovins au Burundi ; principalement dans les districts de RUGOMBO, GIHANGA, MURHANVYA et GITEGA nous avons identifiés les espèces suivantes :

Tableau 1 : Les espèces des tiques récoltées sur les bovins au Burundi

N°	Espèces de tiques	Males	Femelles	Nymphes	Larves	Total	%
1.	<i>Rhipicephalus appendiculatus</i>	1854	2227	1021	1	5103	64,9%
2.	<i>Rhipicephalus evertsi evertsi</i>	143	82	1	0	226	2,8%
3.	<i>Hyalomma truncatum</i>	12	2	0	0	14	0,17%
4.	<i>Boophilus decoloratus</i>	55	1182	9	0	1246	15,8%
5.	<i>Amblyomma variegatum</i>	211	122	101	1	1267	16,1%
6.	<i>Haemaphysalis leachi leachi</i>	1	0	0	0	1	0,01%

Ce tableau 1. prouve en suffisance que les *Rhipicephalus appendiculatus* reste prédominante avec 64,9% tout en sachant qu'elle la tique vectrice de la maladie la plus meurtrière des bovins à savoir la thélériose causée par le *Theileria parva*. Pour cela ces bovins sont exposés à une mortalité si les produits acaricides ne sont aspergés sur ces bovins chaque semaine. Pour ces milieux ; la charge à tique a été de 32 tiques. Cela reste tout de même moins que celle du Kivu avec 72 tiques par bovins (Bisusa et al. 2014b) et celle du Rwanda qui a 62 tiques par bovins (Bazarusanga et al., 2008). Pour les bovins qui viennent de ce pays vers les pays voisins, dont la République Démocratique du Congo dans la plaine de la Ruzizi,

les bovins qui y vivent courent aussi les dangers d'infestation comme ceux du Burundi suite à ces tiques. Cela s'explique par la pullulation des tiques et leur échange inter bovins et partant des maladies.

Voici les maladies transmises par ces espèces des bovins qui sont transportées par ces bovins qui sont voués à l'exportation vers la plaine de la Ruzizi ou les effets néfastes se font déjà sentir.

En graphique, ce dernier les représente mieux dont le pic est occupé par *Rhipicephalus appendiculatus* et la base par *Haemaphysalis leachi leachi*. Mais il faut reconnaître que l'important n'est pas le nombre de tiques mais plutôt la présence de l'espèce dans le milieu.

a) *Rhipicephalus appendiculatus*, Neumann, 1901

Pour cette espèce de tique, elle a 64,9%. Elle se trouve répandue partout dans tous les districts visités et a tendance à parasiter tous les autres animaux ; cela par opportunisme, pendant qu'elle a pour principal hôte le bovin. *Rhipicephalus appendiculatus* reste l'une des tiques la plus dangereuse par suite de transmission à ses hôtes de la théliose bovine (*Theileria parva*, agent de East Coast fever, seulement d'un stade à l'autre). la Théliose bovine à *Theileria parva* ou East Coast Fever (ECF), transmis au développement de l'élevage bovin dans les pays des grands Lacs (Est de la République Démocratique du Congo ; Rwanda et Burundi) et à l'introduction des races exotiques à potentiel de production élevée. (Kasereka et al. 2009). Elle transmet également *Theileria mutans*, *Piroplasma bigeminum* et les virus filtrant de la maladie de Nairobi, looping-hill au mouton et stick-bite Fever à l'homme.

b) *Rhipicephalus evertsi evertsi*, Neumann, 1897

Cette tique de forme ovale de 5 mm en moyenne, brun rouge, tranchant sur la couleur Claire des pattes safran pour le male alors que pour la femelle elle peut atteindre 14 mm. Son orifice génital est petit. Parmi les sept régions anatomiques (Oreille, Queue, Fanon et encolure, Ano-génital, Abdomen et Pattes, Dos et Face) d'infestation par les tiques, cette dernière, *Rhipicephalus evertsi evertsi* se place toujours au-dessus de l'anus, recouverte par la queue. Cette espèce a été retrouvée au Rwanda –Urundi et elle s'infeste à l'état larvaire ; transmettant la théliose à *Theileria parva*, mais une transmission non héréditaire. Elle transmet comme parasite : *Theileria parva* aux bovins, *Piroplasma caballi* et *Nuttalia equi* aux équidés ; le *Spirochaeta theileri* aux ruminants et aux équidés.

c) *Hyalomma truncatum*



Pour cette espèce, nous avons récolté 14 individus répartis sur notre parcours dans les sites, surtout sur ceux qui sont introduit dans le milieu venant d'ailleurs. 8 individus ont été récoltés dont 3 males et 5 femelles dans le district de RUGOMBO; dont 3 individus à MPARAMBO 2 à MUKINGIZO et 3 à TRANSVAAL 4. Seulement dans TRANSVAAL 1 ou nous n'avons pas trouvé cette tique sur un total de 63 bovins dans ce district. Pour le district de GITEGA, 3 tiques de l'espèce *Hyalomma truncatum* y ont été trouvées et autour de la Ville de MURANVYA 2 individus ont été identifiés. Cela a prouvé que cette tique s'étend sur toutes les altitudes car étant récoltées sur une altitude variant entre 847 m et 1682 m. Cela fait une exception dans l'extension que les autres espèces des tiques et donne ainsi une spécificité d'adaptation dans les régions de basses altitudes comme dans celles de hautes altitudes.

Cette espèce de tique qui est *Hyalomma truncatum* est rare et d'introduction récente dans le milieu par suite des bovins d'introduction par importation.

d) *Boophilus decoloratus*

Seuls les adultes ont pu être observés (tableau 1) à RUGOMBO (MPARAMBO, TRANSVAAL 1 et 4) et à GIGANGA (GIHANGA CENTRE, MUDUGU-RUGUNGA et à GIHUNGWE) avec une fréquence élevée par site de récolte. Mais pour la ville

de MURAMVYA (BIGANDA et MUTAMBI), la récolte pour cette espèce de tique a été de faible pourcentage ; 173 tiques soit 3% pour *Boophilus decoloratus* par rapport à la récolte globale.

e) *Amblyomma variegatum* 1794

16,1% des tiques identifiées (Tableau 1) appartenaient à l'espèce d'*Amblyomma variegatum*. Cette tique a été récoltée dans tous les sites quoique à un petit nombre par rapport au total des tiques récoltées. Elle reste tout de même très dangereuse car capable de détruire tout un organe de l'animal (Voir cette photo prise par Alphonse BISUSA MUHIMUZI dans la plaine de la Ruzizi en République Démocratique du Congo).



Ici plus de 24 *Amblyomma variegatum* sont groupées sur les tâtons des mamelles de ce bovin. *Amblyomma variegatum* entraîne des pertes directes importantes, notamment des blessures pouvant causer des destructions d'un ou de plusieurs quartiers de la mamelle du fait de la taille de son rostre et de sa propension de se fixer en amas, sous l'action des phénomènes produits par les males 4 -5 jours d'engorgement, dans certaines zones de prédilection (mamelles, aine, aisselle, entraîne aussi la réduction des croissances chez les veaux et de la diminution de production laitière). Elle transmet d'autre part la Cowdriose, maladie cutanée meurtrière pour les bovins pour certaines catégories des ruminants entraînant la mort des bovins par épuisement (BISUSA et al. 2014a).

Amblyomma variegatum a été récoltée dans les districts de basse altitude et au fur et à mesure que l'on monte en altitude sa fréquence diminue c.à.d. de RUGOMBO (MUKINGIZO 907m d'altitude, RUSINGA 874 m d'altitude, MPARAMBO 891 m d'altitude) à GIHANGA (GIHANGA CENTRE 883m ; MUDUGU-RUGUNGA 886 m ; GIHUNGWE 847 m) vers MURAMVYA 1682m (à GITEGA et GISOZI). Cette distribution altitudinale des tiques a prouvé que plus on monte en altitude, moins on trouve les tiques et partant les maladies dont les tiques sont vectrices (NORVAL et al. 1992 ; MOREL 2000, WALKER et al., 2003 ; Taylor et al., 2008 ; Bisusa et al., 2014).

f) *Haemaphysalis leachi leachi*, Koch 1844

Dans la récolte globale des tiques, *Haemaphysalis leachi leachi* a été trouvée à 0,001% soit 1 seul individu. Cette tique est le parasite obligatoire (préférentiel des chiens ; mais alors par manque de son hôte préfère parasiter les bovins par opportunisme. Cette tique reste abondante dans les prairies où les éleveurs sont souvent accompagnés de leur chien pour la protection (garde). Mais ici au Burundi, nous avons seulement trouvé deux fermiers accompagnés de leur chien dont l'un à MUKINGIZO dans le district de RUGOMBO et l'autre à GITEGA. Voilà pourquoi cette unique *Haemaphysalis leachi leachi* a été récoltée à RUGOMBO. Le chien, hôte de cette tique est élevé pour faire la chasse et la garde ou les deux à la fois. Mais ici au Burundi les chiens font la garde à domicile et ne vont presque pas avec les éleveurs aux pâturages ou dans les fermes. Pour cette raison, les tiques *Haemaphysalis leachi leachi* n'ont pas la possibilité d'atteindre les chiens.

5 DISCUSSION ET CONCLUSION

Des nombreux travaux ont été effectués sur les tiques dans différents pays africains quoique moins de ces travaux ont été fait en République Démocratique du Congo. Quelques travaux ont été effectués sur la distribution altitudinale des tiques (BISUSA et al. 2014) ; sur la répartition saisonnière des tiques sur le bétail domestiques, dont principalement les bovins. Sur 250 bovins de races différentes (SAYIWAL, MONTEBERIALE, FRISONNE, BRUN SUISSE) et certains bovins de race locale

surtout l'ANKOLE ; 7857 tiques ont été récoltées réparti en : 5103 *Rhipicephalus appendiculatus* soit 64,9%, 226 *Rhipicephalus evertsi evertsi* soit 2,8% ; 14 *Hyalomma truncatum* soit 0,17% ; 1267 *Amblyomma variegatum* soit 16,1% ; 1246 *Boophilus decoloratus* soit 15,8% et 1 *Haemaphysalis leachi leachi* soit 0,01%.

Par la présente étude, nous avons identifié 6 espèces de tiques dont 5 espèces ont toujours été récoltées tant au Burundi que vers la partie en face, la plaine de la Ruzizi en République Démocratique Congo. Mais pour l'unique autre espèce: *Hyalomma truncatum* elle n'avait jamais été récoltée dans la partie de la République Démocratique du Congo. Et pour le Burundi elle est très récente selon le constat des éleveurs ; même chose que dans la plaine de la Ruzizi, plaine qui bénéficient des bovins d'importation du Burundi, de la Tanzanie. *Hyalomma truncatum* n'avait jamais été trouvée dans la plaine de la Ruzizi, site dans lequel nous avons travaillé depuis 2010 (BISUSA et al. 2014, BISUSA et al, 2014). Cela nous poussé a confirmé que cette tique est d'introduction récente, surtout avec les mouvements d'importation des bovins de races améliorées. Par contre pour la tique *Rhipicephalus evertsi evertsi* les vieilles documentations sur la parasitologie tropicale de René Rousset, 1953 signalent jadis la présence de cette tique dans le Ruanda-Urundi. A notre niveau nous avons trouvé moins d'individus pour cette espèce de tique. Mais pour *Hyalomma truncatum*, rien n'a été signalée à son sujet.

Une corrélation linéaire a été observée entre les races exotiques qui sont en déportation vers la République du Démocratique du Congo (dans la plaine de la Ruzizi et sur les collines de Mulume Munene) et les tiques *Hyalomma truncatum* reste véhiculée par les races des bovins qui sont recherchées par les éleveurs tant le Burundais que congolais.

Comme les conditions d'importation de bovins entre la République Démocratique du Congo et le Burundi ne disposent pas de préalables (déparasitages des animaux, mise en quarantaine...) cela conduit à une double si pas triple importations à savoir :

- tiques: vectrices des maladies ; maladies proprement dites et bovins de races souhaitées.

Voilà pourquoi les bovins de races améliorés importés ne persistent pas ou disposent d'une mortalité élevée sur le sol de la République Démocratique du Congo en comparaison avec ceux améliorés mais nés sur le même territoire. Ceci témoigne d'une importance d'une étude sur l'évolution des populations des tiques en fonction des espèces et de saisons pour la mise en place d'une stratégie efficace de réduire si pas de contraindre l'avancée de cette tique en République Démocratique du Congo. Pour celles qui sont déjà entrées, d'adopter des stratégies sur son anéantissement dans les sites infestés déjà.

La lutte spécifique pourrait en outre permettre de contrôler de façon significative la charge parasitaire globale engendrée par l'ensemble des tiques, surtout pour celles les plus meurtrières. Tenant compte de la nécessité de maintenir l'immunité et la dispersion des espèces des tiques chez les animaux et du coût élevé, des produits acaricides que de l'achat des génitaires, il pourrait recommander aux éleveurs de :

- Déparasiter les animaux deux fois par mois
- Utiliser les produits acaricides efficaces par aspersion ou par détiquetage manuel sur les bovins mais mieux encore le dipping tank.
- Utiliser encore le système de quarantaine d'une région à l'autre ou d'un pays à un autre avant d'y introduire les bovins.

Au vue de l'importance accrue que les éleveurs attachent à ces bovins, les conduisant à aller les importés, il convient de peser les avantages et l'inconvénient ; voir ce qui remporte l'un sur l'autre. Si non voir les différentes maladies par les six espèces des tiques récoltées dans la région d'étude sur les bovins, hormis les micro-organismes introduits couplés des stress aux bovins hôtes ; on risque de tout perdre si rien n'est fait. Est les bovins de races exotiques d'introduction nouvelles aussi bien que ceux rencontrées (bovins de races locales) ; aucune race ne va faire face aux multiples maladies véhiculées par ces différentes tiques.

Une étude à plus large échelle c.à.d. de débute de la ou on achète ces bovins, sur leur parcours jusqu'à leur destination soit d'importation capitale.

Cette étude va permettre de mieux caractériser l'état épidémiologique des maladies à tiques dans la sous-région. La comparaison de plusieurs tests de diagnostics tels que l'IFAT (Indirect Fluorescence Anti body Test) et la PCR (Polymérase Chain Réaction) est nécessaire pour déterminer le statut infectieux réel tant des bovins que des tiques (KALUME 2011).

REFERENCES

- [1] Amzati G.S. Modélisation par enquête rétrospective de l'épidémiologie de la Thélièriose bovins au Sud-Kivu, dans l'Est de la République Démocratique du Congo. IMTA. Thèses de master en Santé Animale Tropicale, 2011, 141:1-57
- [2] Ashford R.W., Calisher C.H., Eldridge B.F., Jones T.W., Wyatt G. Encyclopedia of arthropod-transmitted infections of man and domesticated animals, Service M.W. (Ed), Liverpool school of Tropical Medicine, Pembroke Place, 2001. 574 pp.
- [3] Balagizi K .I., Ngendakumana S., Adhama M.T., Bisusa M.A., Baluku B., Isumbisho M. Perspectives de gouvernance environnementale durable dans la région de Lwiro, Sud-Kivu, République Démocratique du Congo, in Vertigo, 2013. Pp 24
- [4] Barré N. Les tiques des ruminants dans les petites Antilles: biologie, importance économique, principe de lutte. Rod. Anim., 1997, 10,111-119
- [5] Bazarusanga T., Vercruysse J., Marcotty T., Geysen D. Epidemiological studies on theileriosis and the dynamics of *Theileria parva* infections in Rwanda. Vet. Parasitol., 2008, 143 (3-4), 214-221.
- [6] Bisusa A. M., B.E. Ombeni, B.W. Chishibanji and M.B.Masunga. Fixation des tiques sur les bovins en fonction de la robe de leur pelage et de leur zone agro-écologique dans les territoires de Kabare, Walungu et Uvira, province du Sud-Kivu, République Démocratique du Congo. International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 9 No. 4 Dec. 2014, pp. 1956-1965 pp.
- [7] Bisusa A.M., Ombeni B., Chishibanji B. Connaissance sur les tiques des chiens vivants dans les groupements de Bugorhe et Irhambi-katana, Sud-Kivu, République Démocratique du Congo. CERUKI-ISP, 2014b, n°44, 65-79 pp.
- [8] Bisusa M., Amzati S., Bagalwa M.. Distribution altitudinale des tiques (Acarina-*Ixodidae*) chez les bovins de groupements de Bugorhe et Irhambi-Katana en province du Sud-Kivu, République démocratique du Congo. , 2014a, Annales de l'UEA, numéro spécial ,69-80 pp
- [9] Bouattour T. Les tiques de Tunisie : rôle de *Hyalomma detritum* dans la transmission de *Theileria annulata*.Thèse en biologie. Faculté des sciences : Tunis, 2001, 247pp.
- [10] Byavu N., Henrard C., Dubois M., Malaisse F. - Phytothérapie traditionnelle des bovins dans les élevages de la plaine de la Ruzizi. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 2000, 4(3), 135-156.
- [11] Chartier C., Itard J., Morel P.C., Troncy P.M. (Eds.), Editions Médicales internationales, Cachan, Editions TEC et DOC III, 2000, 452-761
- [12] D'Haese L., Penne K., Elyn R., Economics of theileriosis control in Zambia. Trop. Med. Int. Health., 1999, 4(9): 49-57.
- [13] Elbl, A. Anastos, G., 1966. Iodid ticks (ACARINA, IXODIDAE) of Central Africa. Annales du Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique.
- [14] Euzeby J., Bourdoiseau G., Chauve C.M. - Dictionnaire de parasitologie médicale et vétérinaire, 492 pages, Ed. TEC et DOC, Paris, Ed. Médic. Internationale, Cachan et Lavoisier, 2005.
- [15] Farougou S., Kpodekon M., Tchabode D. M., Youssan A. K.I., Boko C. Abondance saisonnière des tiques (Acari : Ixodidae) parasites es bovins dans la zone Soudanienne du Bénin : cas des départements de l'Atakora et de la Donga, annales de Méd. Vêt.2006, 150, 145-152.
- [16] Gitau G.K, Perry B.D., McDermont J.J. The incidence, morbidity and mortality due to *Theileria parva* infections in smallholder dairy farms in Murang'a District, Kenya. Prev. Vet. Med., 1999, 39, 65-79.
- [17] Gitau G.K., McDermont J.J., Katende J.M., O'Callaghan C.J., Brown R., Perry B.D. Differences in the epidemiology of theileriosis in contrasting agro-ecological and grazing strata of highland Kenya. Epidemiol. Infect. 2000, 124, (2), 325-335.
- [18] Gitau G.K., Perry B.D., Katende J.M., McDermont J.J., Morzaria S.P., Young A.S. The prevalence of serum antibodies to tick-borne infections of cattle in smallholder dairy farms in Murang'a District, Kenya; a cross-sectional study. Prev. Vet. Med., 1997, 30, 95-107. .
- [19] Hoogstraal H., African Ixodidae. I. Ticks of the Sudan (with special reference to Equatoria Province and with preliminary reviews of the genera *Boophilus*, *Margaropus*, and *Hyalomma*). Dept. Navy, Bur. Med. Surg. Washington, D.C.1956, 1101 pp.
- [20] Hounzangbe-Adote M. M. S., Linton E., Koutinhoin G.B., Losson B., MotairouO K. Impact des tiques sur la croissance des agneaux Djallonké. Ann. Méd., 2001,145, 210-216.
- [21] Kabore Y.Y., Thiongane Y., Sawadogo G., Akakpo A.J.: Etude anatomo-clinique d'un cas de polyparasitisme à *Fasciola gigantica* et à *Schistosoma bovis* chez le zébu peulh au Sénégal. Revue Méd. vét.1993, 144, 787-789.
- [22] Kalume M. K., 2011. Contribution à l'étude de l'épidémiologie de la Babésiose bovine à *Babesia divergens* en Belgique. in parcours et initiatives n° 9 ; 2011.
- [23] Kalume M.K. Abondance saisonnière des tiques (Acari : *Ixodidae*) en fonction de système d'élevage des bovins dans la ville de Butembo, Province du Nord-Kivu, République Démocratique du Congo, Ed. Parcours et initiatives, 2012, 9, 56-66.

- [24] Kalume M.K., Saegerman C., Mbahikyavolo D.K., Mukunyaviri A.M., Marcotty T., Madder M., Caron Y., Lempereur L., Losson B. Identification of hard tick (Acari: *Ixodidae*) and Seroprevalences to *Theileria parva* in cattle raised in North-Kivu Province, Democratic Republic of Congo. *Parasitol. Res.* 2013, 112, 789-797.
- [25] Kasereka M.K, Losso B. Byambwera C.G., Mbegumabaya L., Makumyaviri A.M., Saegerman C. Enquête épidémiologique auprès des vétérinaires concernant trois maladies vectorielles des bovins élevés dans la province d Nord-Kivu en RD Congo, *Epidémiol. et santé anim.* 2009, 56, 197.
- [26] Maloo S. H., Thorpe W., Kioo G., Ngumi P., Rowlands G. J. & Perry B. D. Seroprevalences of vector-transmitted infections of small-holder dairy cattle in coastal Kenya 48. *Prev Vet Med* 2001, 52: 1, 1-16.
- [27] Maloo S.H., Thorpe W., Kloo G., Ngumi P., Rowlands G.J., Perry B.D. Seroprevalences of vector transmitted infections of small-holder dairy cattle in coastal Kenya. *Prev. Vét. Med.*, 2001, 52(1), 1-16.
- [28] Morel P.C. - Maladies à tiques du bétail en Afrique. In : Précis de parasitologie vétérinaire tropicale.
- [29] Morel P.C., Troncy P.M. (Eds.), Editions Médicales internationales, Cachan, Editions TEC et DOC III, 2000, 452-761.
- [30] Mourad M., Balde J. Caudes des mortalités des petits ruminants sur les plateaux de Sankara, guinée. *Rev. Elev.Méd. Vét. Pays trop.*, 1990, 34 ; 250-256.
- [31] Muhimuzi A. B., B.E. Ombeni, B.W. Chishibanji, and M.B. Masunga Identification des Tiques (*Acarina-Ixodidae*) Parasites des Bovins au Sud-Kivu, République Démocratique Du Congo, *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 8 No. 4 Oct. 2014, pp. 1496-1503.
- [32] Norval R.A.I., Perry B.D., Young A.S. 1992. The Epidemiology of Theileriosis in Africa, Academic Press, London.
- [33] Ogden N.H., Swai E., Beauchamp G., Karimuriboe ., Fitzpatrick J. L., Bryant M.J., Kambarage D., French N.P. Risk factors for tick attachment to smallholder dairy cattle in Tanzania. *Prev.vét. Méd.* 2004; 67; 157-170.
- [34] Okuthe O.S., Buyu G.E. Prevalence and incidence of tick-borne diseases in smollholder systems in the westen-kenya highland. *Vét. Parasitol.* 2006, 141, 307-312.
- [35] Rousselot R. Notes de parasitologies tropicale, Tome II. Ixodes, Vigot frères, Editeurs : paris. 135 pp.
- [36] Sika F.K., Masunga, M., Wabo B., 1986. Recherche sur les tiques et les maladies qu'elles transmettent au bétail dans le Kivu d'altitude, CRSN-LWIRO, Rapport annuel, 36p.
- [37] Sonenshire D.E. Biology of ticks. Oxford University press: Oxford, 1991, 482p.
- [38] Stachulski F., Barre ., Camus E. Incidence d'une infestation naturelle par la tique *Amblyomma variegatum* sur la croissance des bovins et caprins créoles. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop.*, 1988, 41 ; 395-405.
- [39] Tatchel L., Chimwani D., Chirchir S. J., Ong'Are J.O., Mwangi E., Rinkanya F ; Whittington D. A study of the justification for intensive tick control in Kenyan rangelands. *Vét.Rec.* 1986, 119, 401-403.
- [40] Taylor M. A., Coop R. L., Wall R. L., 2008. - Veterinary Parasitology, 3th Ed, 874p.
- [41] Uilenberg G. Perspectives d'éradication de l'*Amblyomma variegatum* aux Antilles. *Rev. Elev.Méd. Vét. Pays trop.*, 1990, 34 ; 250-256.
- [42] Vassallo M., Paul REL., Perez-Eid. temporal distribution of the annual nymphal stock of ixodes thombus. *Ticks exp. Appl. Acarol*, 2000, 24; 941- 949.
- [43] Walker A.R., Bouattour A., Camicas J.L., Estrada-Panda A., Horak I.G., Latif A.A., Pergam R.G., Preston P.M. Ticks of domestic animals in Africa: a guid to identification of species. *International consortium on Ticks and Ticks Borne Diseases: Edinburg*, 2003, 221p.

Elévation des transaminases et facteurs associés chez les personnes vivant avec le VIH - SIDA (PVVIH) au Centre de Traitement Ambulatoire de la PHARMAKINA - BUKAVU (CTA)

[Elevation of the transaminases and factors associated at people living with the HIV - AIDS (PVVIH) in the center of Ambulatory Treatment of the PHARMAKINA - BUKAVU (CTA)]

B. Kalimira Kachelewa^{1,2}, P.P. Lunjwire Mulemangabo², and C. Kyambikwa Bisangamo³

¹Institut Supérieur des Techniques Médicales de Kirotshe, Nord Kivu, RD Congo

²Département Médical de la PHARMAKINA – BUKAVU, RD Congo

³Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bukavu, RD Congo

Copyright © 2016 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: *Objective:* To determine the prevalence of the elevation of the hepatic enzymes and factors associated at people living with the VIH - AIDS followed to the CTA PHARMAKINA BUKAVU.

Methods: A retrospective transverse study has been led on 171 files of PVVIH having frequented the CTA of the Pharmakina Bukavu during the active period of 2006 to 2013. The data in relation with the biologic state of the PVVIH and the factors of risk of the elevation of the transaminases have been collected and have been analyzed by means of software Ear Info version 3.5.1. The test of Chi-Square and the Odds ratio have been used and the doorstep of significance has been fixed to a p value <0.05.

Results: Prevalence of the elevation of the GOT transaminases and GPT were respectively of 66.7% and 47.4%. The GOT transaminases and GPT were raised at the aged PVVIH, of feminine sex, co infected by the viruses of B hepatitis and C, under ARV consuming the alcohol and tobacco.

Conclusion: The prevalence of the GOT transaminases and GPT being raised at the PVVIH investigated, a good hold in charge, the non-consumption of alcohol, of tobacco and a regular control of the biologic parameters as the dosages of the hepatic enzymes, the serodiagnosis of hepatitis B and C could reduce the effects hepatotoxicity by our PVVIH.

KEYWORDS: transaminases - factors partners, PVVIH, CTA Pharmakina, Bukavu.

RESUME: *Objectif:* Déterminer la prévalence de l'élévation des enzymes hépatiques et facteurs associés chez les personnes vivant avec le VIH-SIDA suivies au CTA PHARMAKINA BUKAVU.

Matériels et méthodes: Une étude transversale rétrospective a été menée sur 171 dossiers de PVVIH ayant fréquentées le CTA de la Pharmakina Bukavu pendant la période allant de 2006 à 2013. Les données en rapport avec l'état biologique des PVVIH et les facteurs de risque de l'élévation des transaminases ont été collectées et analysées au moyen de logiciel Epi Info version 3.5.1. Le test de Chi-carré et l'Odds ratio ont été utilisés et le seuil de signification a été fixé à une valeur p < 0,05.

Résultats: Les prévalences de l'élévation des transaminases GOT et GPT étaient respectivement de 66,7% et 47,4%. Les transaminases GOT et GPT étaient élevées chez les PVVIH âgées, de sexe féminin, co-infectées par les virus des hépatites B et C, sous ARV consommant l'alcool et le tabac.

Conclusion: Les prévalences des transaminases GOT et GPT étant élevées chez les PVVIH enquêtées, une bonne prise en charge, la non-consommation d'alcool, du tabac et un contrôle régulier des paramètres biologiques tels que les dosages des enzymes hépatiques, le sérodiagnostic des hépatites B et C pourraient réduire les effets hépatotoxiques auprès de nos PVVIH.

MOTS-CLEFS: transaminases- facteurs associés, PVVIH, CTA Pharmakina, Bukavu.

1 INTRODUCTION

Le nombre de Personnes Vivant avec le VIH (PVVIH) fin 2011 est estimé à 34 millions, soit une hausse de 17% par rapport à 2001, mais ceci est dû à une expansion significative de l'accès au traitement antirétroviral (TARV) qui contribue à réduire les décès liés au sida, et non aux nouvelles infections dont le nombre continue de chuter : 2,5 millions d'infections par le VIH en 2011, 20% de moins qu'en 2001 [1].

Les ARV sont susceptibles d'entraîner une élévation des Transaminases et une hépatite clinique [2]. Les inhibiteurs de la protéase (IP), en particulier le RTV, et les inhibiteurs non nucléosidiques de la transcriptase inverse (INTI), surtout la Nevirapine (NVP), sont les produits le plus souvent mis en cause. Les facteurs influençant l'hépatotoxicité des ARV sont acquis ou génétiques. Les facteurs acquis sont principalement l'âge, la modulation hormonale, l'état nutritionnel, l'existence d'un alcoolisme chronique ou d'une hépatite virale chronique et l'induction enzymatique. Les facteurs génétiques ont bien été identifiés pour certains types d'hépatites médicamenteuses et rendant compte du polymorphisme génétique des métabolismes impliqués [3].

Les antirétroviraux utilisés dans la prise en charge des PVVIH étant des médicaments à prendre à vie et que certains d'entre eux pouvant provoquer des lésions hépatiques empêchant le bon fonctionnement du foie, Le dosage des enzymes est nécessaire pour le diagnostic et la surveillance de toutes les maladies impliquant directement ou indirectement le foie, d'origine infectieuse (hépatite virale), toxique (médicament, alcool...) traumatique, auto-immune, cancéreuse... [3].

En République Démocratique du Congo (RDC) et plus particulièrement à Bukavu au Sud Kivu, il existe peu ou pas de données qui permettent de définir l'ampleur de l'élévation des transaminases chez les PVVIH. La prévalence de l'élévation des transaminases et facteurs associés chez les PVVIH est mal connue à Bukavu. C'est dans ce contexte que cette étude s'est fixée l'objectif de déterminer la prévalence et les facteurs associés à l'élévation des transaminases chez les PVVIH suivies au CTA de la PHARMAKINA Bukavu.

2 PATIENTS ET MÉTHODES

Type d'étude : Notre étude est du type transversal rétrospectif réalisée auprès des PVVIH suivies au CTA PHARMAKINA depuis 2006 jusqu'en janvier 2013.

Cadre d'étude : Notre étude s'est déroulée au CTA PHARMAKINA-Bukavu. La PHARMAKINA est une compagnie agro – industrielle et pharmaceutique dans la lutte contre la malaria. Elle est spécialisée en fabrication de QUININE PHARMAKINA® qui est le produit de premier choix contre la malaria. La PHARMAKINA est située à Bukavu à l'Est de la RDC. En 2002, un ultramoderne de production des ARVs est installé à la PHARMAKINA suivant les normes internationales de production des ARVs, Good Manufacturing Practice « GMP », un centre de diagnostic, de traitement et de monitoring est ouvert. Actuellement le Centre de Traitement Ambulatoire(CTA) s'occupe de la prise en charge globale des PVVIH en collaboration avec le laboratoire médical, dépistage et monitoring du VIH SIDA.

Echantillonnage : La population cible de cette étude était constituée des PVVIH suivies au CTA PHARMAKINA pendant la période d'étude. Pour ce qui est du choix de l'échantillon, nous avons mené une étude exhaustive c'est-à-dire nous avons travaillé sur toute la population des PVVIH qui a fréquenté le CTA entre 2006 et 2013. Les critères d'inclusion suivants étaient retenus : être une PVVIH suivie au CTA PHARMAKINA, avoir un dossier complet et avoir les résultats des transaminases GOT et GPT. Au total, nous avons consulté les dossiers des 171 PVVIH.

Collecte des données : Nous avons collecté les données à partir des dossiers des PVVIH suivies au CTA Pharmakina. Les données relatives avec les caractéristiques sociodémographiques (âge, sexe, statut marital, profession), la prise des ARV, les caractéristiques biologiques (les transaminases, statut sérologique des hépatites) et l'issue de la maladie ont été collectées.

Variables étudiées : La variable dépendante est l'élévation des transaminases et les variables indépendantes sont les caractéristiques sociodémographiques, la prise des ARV, les caractéristiques biologiques et l'issue de la maladie.

Analyse statistique des données : Pour la saisie et l'analyse statistique des données, nous nous sommes servis des logiciels Microsoft Excel et Epi Info version 3.5.1. Pour les variables qualitatives nous avons calculé les fréquences et le pourcentage. Pour les variables quantitatives nous avons calculé la moyenne ainsi que nous avons trouvé la déviation standard (DS). Pour la recherche d'une éventuelle association entre la variable dépendante et les variables indépendantes, nous avons utilisé le test de Chi-deux et la régression logistique. Une valeur de $p < 0,05$ définissaient le seuil de signification statistique.

3 RÉSULTATS

PRÉVALENCE DE L'ÉLEVATION DES TRANSAMINASES GOT ET GPT CHEZ LES PVVIH ENQUÊTÉES

Les résultats de notre étude montrent que les prévalences des transaminases GOT et GPT étaient respectivement de 66.7% et 47.4%. Les données sont résumées dans la figure 1.

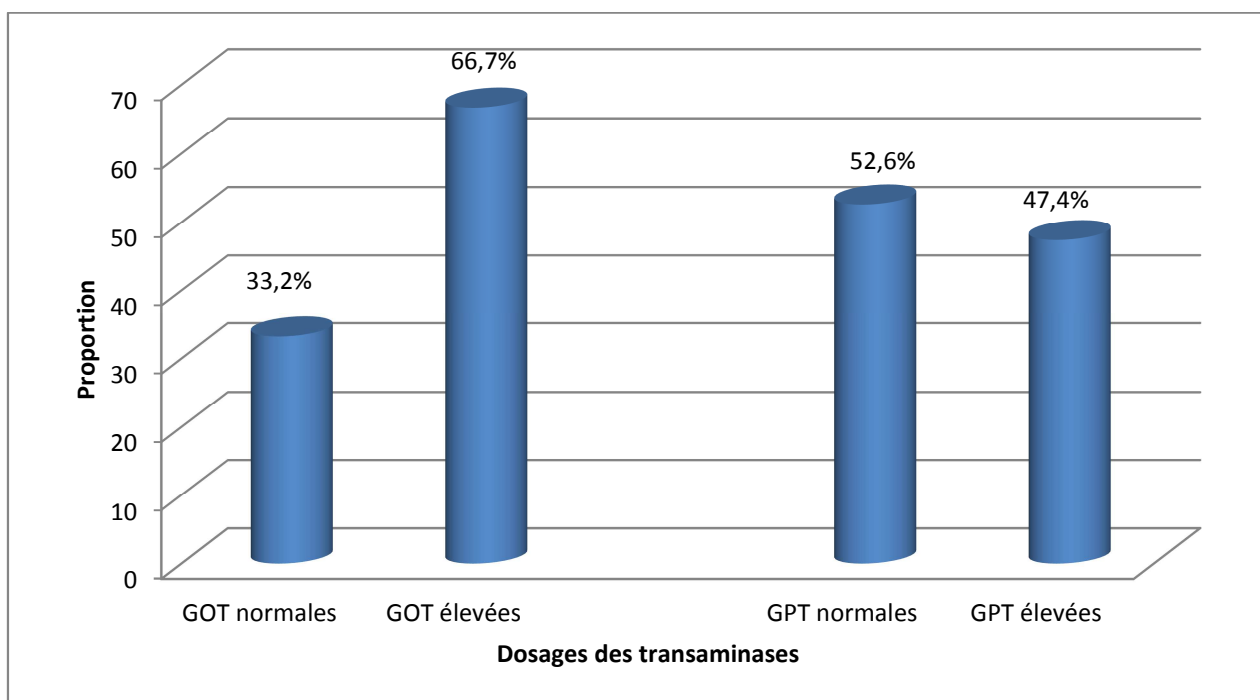


Figure 1 : Prévalence de l'élévation des transaminases chez les PVVIH enquêtées
Figure 1: Prevalence of the elevation of the transaminases at the PVVIH investigated

CARACTÉRISTIQUES SOCIODÉMOGRAPHIQUES ASSOCIÉES À L'ÉLEVATION DES TRANSAMINASES

L'élévation des transaminases GOT et GPT était plus observée chez les PVVIH âgées (plus de 65 ns), de sexe féminin, mariées et séparées, sans occupation. Mais nous n'avons pas noté des différences statistiquement significatives entre les caractéristiques sociodémographiques étudiées et l'élévation des transaminases GOT ($p > 0,05$). Mais pour ce qui concerne l'élévation des transaminases GPT, seul le sexe féminin avait montré une association significative ($p < 0,05$). Les autres caractéristiques n'avaient pas montré des différences statistiques. Le tableau I résume les données.

Tableau I : Caractéristiques sociodémographiques associées à l'élévation des transaminases
Table I: Sociodemographic characteristics associated to the elevation of the transaminases

Caractéristiques	n=171	% GOT élevée	OR (IC à 95%)	P	% GPT élevée	OR (IC à 95%)	p
Age en années							
5 - 20	27	70,4	1,50(0,44-5,20)	0,468	40,7	0,57(0,17-1,82)	0,283
21 - 35	31	61,3	1		54,8	1	
36 - 50	73	67,1	1,29(0,49-3,36)	0,567	45,2	0,68(0,27-1,71)	0,368
51 - 65	36	63,9	1,12(0,37-3,39)	0,826	47,2	0,74(0,25-2,15)	0,534
> 65	4	100	5,77(0,29-116)	0,253	75,0	2,47(0,19-69,24)	0,443
Sexe							
Féminin	117	70,1	1,61(0,78-3,33)	0,163	53,8	2,33(1,13-4,84)	0,012
Masculin	54	59,3	1		33,3	1	
État-civil							
Séparés	58	67,2	0,67(0,25-1,80)	0,374	58,6	2,13(0,87-5,26)	0,070
Célibataires	40	60,0	1		40,0	1	
Mariés	73	69,9	1,55(0,64-3,74)	0,288	42,5	1,11(0,47-2,61)	0,799
Occupation							
Sans	127	69,3	1,56(0,77-3,18)	0,216	48,0	1,11(0,56-2,21)	0,768
Avec	44	59,1			45,5	1	

CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES ET AUTRES FACTEURS ASSOCIES A L'ELEVATION DES TRANSAMINASES

La majorité des PVVIH enquêtées étaient sous ARV avec la prédominance du schéma AZT+3TC+NVP. Les séroprévalences des hépatites B et C étaient respectivement de 7,6% et 2,9%. Parmi ces PVVIH, il y avait des consommateurs d'alcool (10,5%) et du tabac (2,3%). Le taux de mortalité à la fin de l'étude était de 16,9%. L'élévation des transaminases en fonction des caractéristiques biologiques et cliniques était variée selon qu'il s'agissait de GOT ou de GPT. Mais aucune association n'a été démontrée entre l'élévation des transaminases GOT-GPT et les caractéristiques biologiques étudiées ainsi qu'autres facteurs étudiés ($p>0,05$). Les données sont résumées dans le tableau II.

Tableau II : Caractéristiques biologiques et autres facteurs associés à l'élévation des transaminases
Table II: Biological characteristics and other factors associated to the elevation of the transaminases

Caractéristiques	n=171	% GOT élevée	OR (IC à 95%)	P	% GPT élevée	OR (IC à 95%)	p
Sous ARV							
Oui	123	66,7	1,00(0,49-2,03)	1,000	48,0	1,09(0,56-2,13)	0,802
Non	48	66,7	1		45,8	1	
Types d'ARV (n=123)							
AZT+3TC+NVP	78	69,2	1,44(0,61-3,42)	0,364	48,7	1,00(0,44-2,28)	0,994
D4T+3TC+NVP	4	75,0	1,92(0,15-52,46)	0,581	25,0	0,35(0,01-4,37)	0,362
AZT+3TC+EFV	41	61,0	1		48,8	1	
Hépatite B							
Positif	13	76,9	1,73(0,46-6,55)	0,414	68,2	2,69(0,79-9,09)	0,101
Négatif	158	65,8	1		45,6	1	
Hépatite C							
Positif	5	60,0	0,74(0,12-4,58)	0,748	60,0	1,69(0,28-10,39)	0,566
Négatif	166	66,9	1		47,0		
Prise d'alcool							
Oui	18	77,8	1,86(0,58-5,91)	0,290	50,0	1,13(0,42-2,99)	0,813
Non	153	65,9	1		47,1	1	
Prise du tabac							
Oui	4	75,0	1,51(0,15-14,88)	0,720	50,0	1,11(0,15-810)	0,915
Non	167	66,5	1		47,3	1	
Issue des PVVIH							
Morts	29	69,0	1,13 (0,48-2,68)	0,773	48,3	1,04(0,47-2,32)	0,914
Vivants	142	66,7	1		47,2		

ANALYSE MULTIVARIEE DES FACTEURS ASSOCIES A L'ELEVATION DES TRANSAMINASES

Après analyse multivariée des facteurs par le modèle de régression logistique, il ressort clairement des résultats du tableau III qu'aucun facteur n'a montré une association significative avec l'élévation des transaminases GOT mais seuls le sexe et l'état-civil avaient montré des associations significatives avec l'élévation des transaminases GPT.

Tableau III : Analyse multivariée des facteurs associés à l'élévation des transaminases GOT et GPT
Table III: Multivariate analysis of the factors associated to the elevation of the GOT transaminases and GPT

Facteurs associés	OR ajusté	IC à 95%	P
GOT			
Age	0,94	0,68 - 1,28	0,693
Etat-civil	0,94	0,65 - 1,35	0,727
Issue des PVVIH	1,18	0,49 - 2,83	0,717
Occupation	1,45	0,68 - 3,08	0,330
Sexe	0,67	0,34 - 1,34	0,270
GPT			
Age	0,93	0,68 - 1,26	0,625
Etat-civil	<u>1,46</u>	<u>1,01 - 2,10</u>	<u>0,044</u>
Hépatite B	3,16	0,88 - 11,38	0,078
Sexe	<u>0,43</u>	<u>0,21 - 0,85</u>	<u>0,016</u>

4 DISCUSSION

PRÉVALENCE DE L'ÉLEVATION DES TRANSAMINASES GOT ET GPT CHEZ LES PVVIH ENQUÊTÉES

Des enzymes, appelées transaminases, sont présentes dans les cellules du foie et des muscles. On distingue les transaminases ALAT (ou GPT) et ASAT (ou GOT). Lorsque des cellules du foie sont détruites, des transaminases sont libérées dans le sang [4]. Tout le monde a des transaminases dans le sang. Mais au-delà d'une certaine norme, cela révèle une atteinte du foie.

En se référant à nos résultats, nous remarquons que les prévalences des transaminases GOT et GPT chez les PVVIH enquêtées étaient respectivement de 66,7% et 47,4%. Ces prévalences élevées dans notre étude pourraient s'expliquer par le fait que parmi nos enquêtés il y avait celles qui étaient infectées par les virus de l'hépatite B (7,6%) et de l'hépatite C (2,9%). D'autres étaient des consommateurs d'alcool, du tabac et sous ARV. L'augmentation des transaminases ALAT peut être significative d'une hépatite C virale. En revanche, l'élévation des transaminases ASAT indique souvent une intoxication du foie par l'alcool ou les médicaments [5].

CARACTÉRISTIQUES SOCIODÉMOGRAPHIQUES ASSOCIÉES À L'ÉLEVATION DES TRANSAMINASES

L'élévation des transaminases GOT et GPT était plus observée chez les PVVIH âgées (plus de 65 ans), de sexe féminin, mariées et séparées, sans occupation. Ces résultats sont proches des données de la littérature. Pour ce qui est de sexe, plusieurs études confirment que ce sont les femmes PVVIH qui présentent des valeurs des transaminases élevées [1, 6].

En ce qui concerne les adultes, l'activité sérique de L'ALAT augmente chez l'homme de 18-45 ans, puis diminue au-delà. Chez les femmes, il y a une augmentation faible mais constante avec un maximum vers 55-65 ans où les valeurs deviennent très proches de celles de l'homme. L'activité sérique de L'ALAT est plus basse chez la femme que chez l'homme, sauf à partir de 65 ans. L'état hormonal (puberté, ménopause) explique sans doute une partie de ces différences [7,8].

Mais nous n'avons pas noté des différences statistiquement significatives entre les caractéristiques sociodémographiques étudiées et l'élévation des transaminases GOT ($p>0,05$). Mais pour ce qui concerne l'élévation des transaminases GPT, seul le sexe féminin avait montré une association significative ($p<0,05$). Les autres caractéristiques n'avaient pas montré des différences statistiques. Ceci pourrait se justifier par le fait que certaines situations au moment du prélèvement ou liées à l'échantillon peuvent influencer le plus souvent modérément les résultats du dosage comme l'exercice physique, la position assise ou debout, la stase veineuse ou l'hémolyse. Egalement un régime riche en saccharose (20 %-30 %) est associé à une élévation modérée des transaminases [7].

CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES ET AUTRES FACTEURS ASSOCIÉS À L'ÉLEVATION DES TRANSAMINASES

L'élévation des transaminases en fonction des caractéristiques biologiques et cliniques était variée selon qu'il s'agissait de GOT ou de GPT. Pour ce qui est de GOT, l'élévation était plus observée chez les PVVIH sous schéma D4T+3TC+NVP avec coinfection VIH-Hépatite B, prenant l'alcool et le tabac et ayant été décédées. L'élévation de GPT était plus observée chez les PVVIH sous ARV avec le schéma AZT+3CT+NVP, ayant une coinfection VIH-Hépatites B et C, prenant l'alcool et le tabac et ayant été décédées. Les résultats de notre étude sont en accord avec les données de la littérature selon lesquelles le syndrome d'immunodépression est responsable d'une augmentation des transaminases par activation des macrophages surtout la fraction ASAT [9]. Le rôle de l'amaigrissement peut être retenu dans la genèse de l'augmentation des ASAT. Dans tous les cas la fraction ASAT est plus représentée avec 66,7%.

Nos résultats corroborent avec les résultats des autres chercheurs. Une étude menée par Carlo Torti et al sur l'incidence et facteurs de risque de l'élévation des enzymes hépatiques pendant HAART en coinfection du VIH – VHC avait montré une incidence de 8,22% pour le groupe expérimenté [10]. Une autre étude de Wit FW et al sur l'incidence des facteurs des risques d'hépatotoxicité sévère associée à un traitement ARVs, a prouvé que cette incidence était de 6,3% [11].

Après analyse multivariée des facteurs par le modèle de régression logistique, il ressort clairement des résultats du tableau III qu'aucun facteur n'a montré une association significative avec l'élévation des transaminases GOT mais seuls le sexe et l'état-civil avaient montré des associations significatives avec l'élévation des transaminases GPT.

5 CONCLUSION

Les prévalences des transaminases GOT et GPT étant élevées chez les PVVIH enquêtées, une bonne prise en charge, la non-consommation d'alcool, du tabac et un contrôle régulier des paramètres biologiques tels que les dosages des enzymes hépatiques, le sérodiagnostic des hépatites B et C pourraient réduire les effets hépatotoxiques auprès de nos PVVIH.

RÉFÉRENCES

- [1] ONU /Sida. Rapport sur l'épidémie mondiale du sida 2011
- [2] ZOUBGA AD. Services des soins et qualité au Burkina Faso : Une interprétation et une gestion sanitaires particulièrement avancées, les difficultés et les carences, Ouagadougou, 2000.
- [3] ROUZIOUX C. La transmission materno-fœtale du VIH, médecine thérapeutique, 1996, hors-série, n°1 AVRIL, pp. 109-113.
- [4] NICOLE DDL. Etiologies des hypertransaminasémies dans les services de médecine interne C et D de l'hôpital du Point-G et d'hépto-gastro-entérologie de l'hôpital Gabriel Touré. These, Med, Bamako, 2003; 8.
- [5] SOS HÉPATITES. BROCHURE BLEUE comprendre et m'adapter aux différentes situations de la maladie « ÊTRE HÉPATANT 5». www.soshepatites.org
- [6] MUSABYIMPUNDU J. Exploration des causes de perturbation des enzymes hépatiques chez les PVVIH suivie à l'Hôpital de district de GIHUNDWE au RWANDA. Inédit ISTM-BUKAVU, 2012.
- [7] MCINTYRE N, ROSALKI S. Investigations biochimiques des affections hépatiques. In: Benhamou JP, McIntyre N, Rizzero M, Rodes. Précis d'hépatologie. Flammarion. Paris 1993 ; 293-309.
- [8] RUSSELL O BRIERE. Serum ALAT Levels. Effect of sex, race, and obesity on unit rejection rate. Transfusion 1988; 28:392-93.
- [9] REINER A P, SPIVAK J L. Hemophagocytic histiocytosis. A report of 23 new patients and a review of littérature. Médecine 1988; 67: 369-88.
- [10] TORTI C, LAPADULA G, CASARI S et al. Incidence and factors for liver enzyme elevation during Highly Active Antiretroviral Therapy in HIV-HCV co-infection patients: results from the Italian EPOKA-MASTER Cohort. BMC Infectious Diseases 2005; 5(1):1.
- [11] WIT FW, WEVERLING GJ, WEEL J, JURRIANS S, LANGE JM. Incidence of and risk factors for severe hepatotoxicity associated with antiretroviral combination therapy, J. infect Dis 2002; 186 (1): 22-31.

Energy-Efficient Link-aware PSO-Based Clustering Algorithm in Wireless Sensor Networks (WSNs)

M. Mohammadi and Kh. Amirizadeh

Department of Computer Eng., School of Engineering,
Islamic Azad University Garmsar branch,
Garmsar, Iran

Copyright © 2016 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: Recently Wireless Sensor Networks (WSNs) has turned into a popular matter of research area, because of its flexibility and dynamic nature. It is proven that the clustering technique, as a multi objective optimization, is the most effective solution to have minimum energy consumption. The goal of the clustering technique is to divide network sensors into clusters each of which has a cluster-head (CH) responsible to collect, aggregate and send sensed data to the base station (BS). The recent researches shown that such multi objective optimization in WSNs can be solved through well adapted an evolutionary algorithm. In this paper an improved k-mean clustering model powered by Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm is presented. This is called Link-aware PSO, LSPO. The proposed model utilizes two-phase optimization by applying different fitness function. At the first phase, it selects Primary Cluster-heads based on improved Intra-Cluster Distance metric as fitness function in PSO algorithm to give primary CHs. In the second phase each primary CHs selected are evaluated by link quality and energy metrics to select the best ones as final CHs. Simulation results showed that the proposed algorithm outperforms LEACH and PSO-C algorithms in term of performance, prolonging network lifetime and energy saving.

KEYWORDS: Wireless Sensor Networks (WSNs), Clustering, Particle Swarm Optimization, Energy Efficiency, Link Reliability.

1 INTRODUCTION

A Wireless Sensor Networks (WSNs) is a dynamic and self-adapting network in which sensor nodes send their information to a base station (sink). It has a set of dynamic sensor nodes that can move freely. These nodes have limited processing speed, battery, storage, and communication capabilities. These features lead to some inefficient states, so it needs a set of new area in researches to solve or smooth this problem. One of solutions is clustering, in which a network is divided into some zones called clusters. Each cluster has a cluster head (CH) and each node as soon as finding the most appropriate CH, will join the CH and will form a cluster. CHs are responsible for the formation of clusters, maintenance of network topology, allocating resources to all nodes belonging to their clusters and sending the members' data to different destinations (Routing). Because of limitation of energy and dynamic nature of WSNs and varied quality of link between CHs and their members, CHs constantly need to be changed. Based on [1], An optimal selection of CHs is an NP-hard problem. In addition, Energy and Link quality metrics play very important roles in this area, and increase network lifetime and efficiency. So clustering needs to be combined with some optimization approaches to improve performance of CH selection. Clustering optimization refers to finding one or more solutions, which satisfies the goal of selecting a set of CHs which are recognized the best after evaluation based on metrics such as intra-cluster distance, energy-efficiency and link-quality. It has been an active research area as many real world optimization problems, referred to as multi-objective problems (MOPs) have recently been proposed. Therefore it is needed to choose the most appropriate approach which satisfies the optimization factors and because of that the network can last more while. There are some traditional problems which generate a single solution from the set of solutions in one run, so they are just appropriate for Single-Objective Problems (SOPs). Based on [1]–[3], these problems are not suitable for solving MOPs. Among them the most suitable way is Evolutionary algorithms, because they are population-based and due to conflicting objectives they can and need to generate a set of solutions in one run.

In this paper we introduce a multi-objective two-phase Particle Swarm Optimization referred to as Link-aware PSO (LPSO). The fitness function in this paper includes two phases. In the first phase Primary CHs (PCHs) are selected based on metrics Intra-cluster distance and distance between CHs and the sink. At the second phase these primary CHs and their members are re-evaluated again based on metrics such as Link Quality and Energy, then the best nodes will be considered as Alternative CHs (ACHs). The proposed algorithm because of the minimum distance between CHs and their members and considering energy-efficiency and link quality can be more effective than other well-known algorithms: Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) [4], [5] and PSO-Centralized (PSO-C) [6]. Experimental results show that proposed algorithm outperforms energy and link quality effectiveness, network life time and preserving energy for longer time.

The rest of the paper is organized as follows: In section 2 we will give an overview of the previous PSO and Evolutionary based clustering algorithms. Section 3 describes PSO Algorithm principles. Section 4 provides an overview of proposed LPSO clustering algorithm and finally in section 5 and 6 experimental results and future work will be mentioned.

2 RELATED WORKS

In [7]–[9] Genetic Algorithm was used to optimize the number of the number of clusters in an ad hoc network. It is a weight based clustering algorithm, which assigns a weight to each objective of the problem and is set by the user. In [10] Enhanced PSO-based Clustering Energy Optimization (EPSO-CEO) is introduced. This algorithm tries to Minimize energy consumption by straight transmission of data from each node to its CH. CHs are selected based on Energy consumption rate of nodes. In [11], for minimizing early death rate of nodes and balancing energy consumption between all sensor nodes, a combination of PSO and Taguchi is proposed. For maximizing factors such as performance, energy consumption balance, link quality, network coverage [12] proposed Two-Tier PSO-Clustering and Routing (TPSO-CR). In proposed algorithm just nodes with high level of energy of energy can participate in clustering and routing activities.

The author of [12], in [13] proposed PSO-Hierarchical Clustering (PSO-HC). The purposed of this algorithm is to maximize lifetime and scalability of network and minimize number of active nodes during each round and the energy dissipated by their activity. Fitness function acts based on residual energy and number of neighbors of each node (node's degree). Authors of [14] proposed Particle Swarm Optimization – Double (Cluster) Head (PSO-DH) which is inspired by LEACH algorithm. Purpose of this algorithm is to minimize intra-cluster distance and optimize energy consumption of nodes. This algorithm provides two kinds of CH nodes: Master CH (MCH) and Slave CH (SCH). The MCH aggregates data from members and SCH sends aggregated data to the sink and by reducing the level of MCH's duties, considerable energy is saved.

In this paper the proposed algorithm finds the optimum set of cluster-heads in two phases based on link quality, energy effectiveness, improved intra-cluster distance (minimum distance between CHs and their members inside each cluster).

3 PROPOSED LPSO METHODOLOGY

PSO introduced by [15]–[18], is a kind of Evolutionary Optimization Approach which inspires from life of swarms of birds or living creatures finding an area to achieve a common goal. PSO includes some of individuals known as Particles, which explore an n-dimensional search area, in the aim of finding a solution for a problem.

This solution depends on some objectives such as energy level and so on. PSO algorithm includes some parameters such as particle position and velocity (bounded by a value V_{max}) (determining the direction of individual for exploring the area), Personal Best and Global Best. Personal and Global best (as minimum of all personal bests) are defined in order as each individual's and the individual's neighbors' best ever found solution. After moving each particle in the search area (by updating their position and velocity), each particle is evaluated and then global and personal best values will be updated. For several iterations these processes are repeated, until finding a solution for the problem.

As [18] claims, one of the common problems in PSO is referred to as Explosion Problem. In this problem sometimes growing values of position and velocity is out of control and their values approach toward infinity. So the particles will be thrown outside the search area and invalid answers will be produced. For avoiding this problem, the proposed algorithm uses the idea mentioned in [18].

In the search process the particles adjust their positions according to the following equations (1) and (2):

$$V_{i,j}(t+1) = \chi \cdot [\varpi_{max} \cdot V_{i,j} + r_{1,j} (P_{i,j} - X_{i,j}(t)) + r_{2,j} (G_j - X_{i,j}(t))] \quad (1)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (2)$$

Where i indexes the current generation, c_1 and c_2 are positive constants, r_1 and r_2 are random numbers with uniform distribution on the interval $[0,1]$. A commonly used parameter that changes the original PSO is the Constriction Coefficient which is defined as following equation (3):

$$\chi = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|} \quad (\text{Where : } \varphi = c_1 + c_2, \varphi > 4) \quad (3)$$

This coefficient introduced first by Clerc et al. in [17], guarantees the algorithm convergence, avoiding the explosion of the particle swarm (approaching velocity and position towards infinity). Another parameter is the inertia weight that is:

$$\omega = \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{F_{max}} F_k \quad (4)$$

This parameter guarantees the balance between local and global best. A higher value (greater than one) will facilitate the exploration, while a low weight (less than one) will facilitate the exploitation. The wrong choice of this parameter value will affect the algorithm convergence speed, so it is recommended to adjust it dynamically by equation (4). At first phase each of the particles (here the mobile nodes) is evaluated using following equation (5):

$$f_1 = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} d_{ij}^2 + \frac{D_j^2}{n_j} \quad (5)$$

After evaluation of nodes by equation (5), nodes having minimum values of distance will be elected as Primary CHs. Finally normal nodes will join the closest CH and will establish a cluster structure. In the second phase, the primary CHs and their member will be compared to each other based on the factors link quality (f_3), residual energy (E_i^{res}) and consumed energy (E^{tx}) as equations (6) to (9) introduce. The best nodes satisfying the optimum value of the greedy function will be selected as the Alternative CHs. Figure (1) briefly describes steps of proposed algorithm in a flowchart.

$$f_2 = \frac{E_i^{res}}{\sum_{i=1}^{n_i} E^{tx}(k, d_{ij})} \quad (\text{for each node}_i \text{ in cluster}_j) \quad (6)$$

$$E^{tx}(k, d_{ij}) = \begin{cases} k \cdot E_{elec} + k \cdot \epsilon_{fs} \cdot d_{ij}^2 & d_{ij} < d_0 \\ k \cdot E_{elec} + k \cdot \epsilon_{mp} \cdot d_{ij}^4 & d_{ij} \geq d_0 \end{cases} \quad (7)$$

$$f_3 = \sum_{i=1}^{n_j} d_{ij}^2 \quad (\text{for each node}_i \text{ in cluster}_j) \quad (8)$$

$$\text{Greedy Function} = \frac{f_2}{f_3} \quad (9)$$

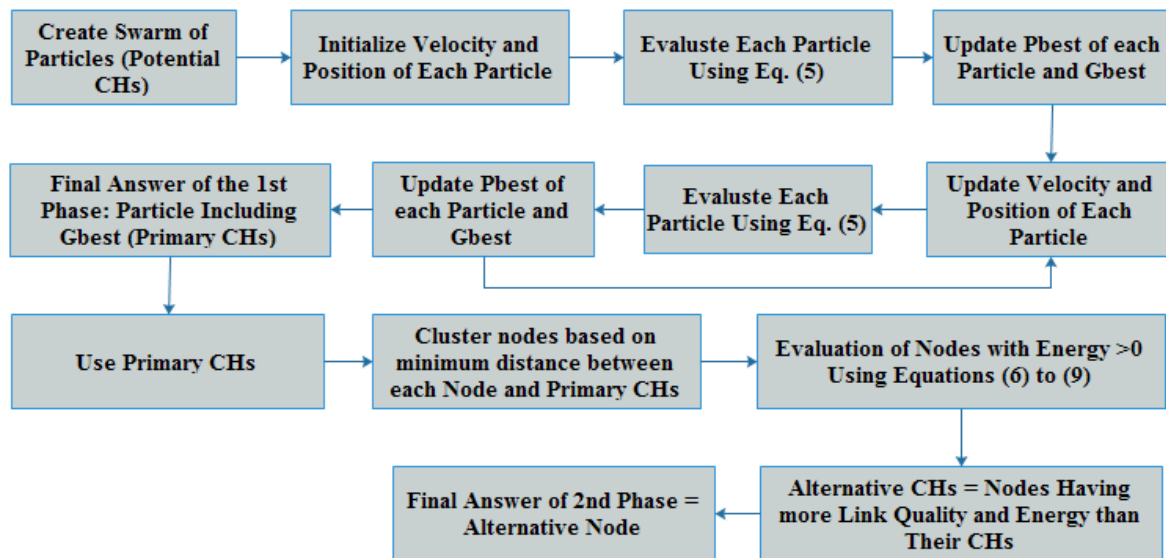


Figure1. Flowchart of proposed LPSO Algorithm

4 EXPERIMENTAL SETUP AND RESULTS

The proposed algorithm is implemented under the in table 1. Also Simulations compare proposed LPSO with algorithms known as LEACH and PSO-C with the parameters shown in table 2. Table 3 contains some statistics about result of program. The following table compares the functionality of proposed algorithm with LEACH and PSO-C in terms of death time of the first and last node and average dissipated energy per round.

Figure 1 shows a random layout of the nodes within the network area of 100 meter squares and the sink located outside the area. The proposed technique chooses CHs based on link quality, residual energy, transmission power, distance of each CH from the sink and distance of nodes from each other, with the selected CHs at the center of each cluster. As seen, proposed algorithm organizes the network as some clusters based on the factors determined by fitness function and uses a multi-hop routing protocol for sending data to the sink. Data transmission and routing approaches is the same in all compared algorithms. The red line shows the route from each CH to the Base Station.

As Figure 2 shows, after interaction between different nodes and losing energy during lifetime of network, nodes will be gradually weaker and finally will be eliminated. Briefly, the more nodes are alive, the longer lifetime and stability of network will last. However, it is considerable that the longer the process of elimination and death of nodes last, the shorter period of time the network will survive. So for maximizing performance and efficiency and lifetime of network and losing the first node at later time, getting aid from an optimization algorithm is crucial. Figure 3 shows the gradual progress of energy dissipation of network nodes due to interaction between nodes. As it is evident in figure 4 by using proposed approach, energy is dissipated in a longer period of time and is preserved for a longer time. The energy management acquired in proposed LPSO leads to more number of nodes being alive as shown in Figure 5.

Table1. System Specifications for Running Program

Processor	Intel Pentium, Core-2
Random Access Memory	1-GB RAM
Cache	1M Cache
Hard disk	512 GB HDD
Programming Language	Matlab

Table2. Initializations and input values Needed for Running Program

Initial energy for each node	0.5(Joule)
Field size	100 x 100 (Meter)
Base Station	Random out of border
Network size	100 , 200,400
Maximum number of CHs	5
Simulation time	6000(Second)
Number of Particle (PSO)	100
Number of Iterations	20
Position and Velocity Vectors	5x2 Arrays
Acceleration Coefficients	$c_1 = 1.85$, $c_2 = 2.20$
Inertia Weight Damping Ratio	0.95

Table3. Statistics about functionality of proposed LPSO in comparison with LEACH and PSO-C

Proposed LPSO	PSO-C	LEACH	
123	305	639	Death of the first node
1354	1233	1139	Death of the Last Node
1231	928	500	Difference of first and last node death time
0.0406 (Joule)	0.0446 (Joule)	0.0495 (Joule)	Average dissipated energy per round
3193(s)	3153(s)	339 (s)	Total Running time

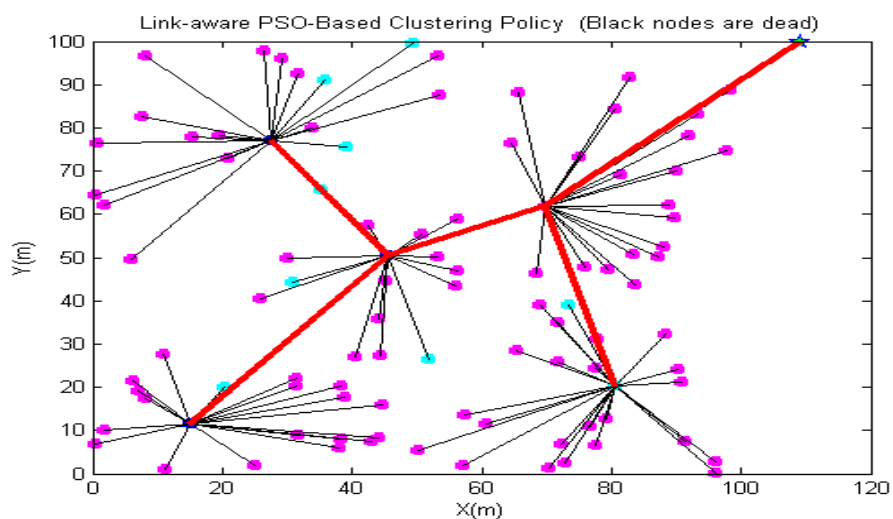


Figure1. A schematic symbol of running program

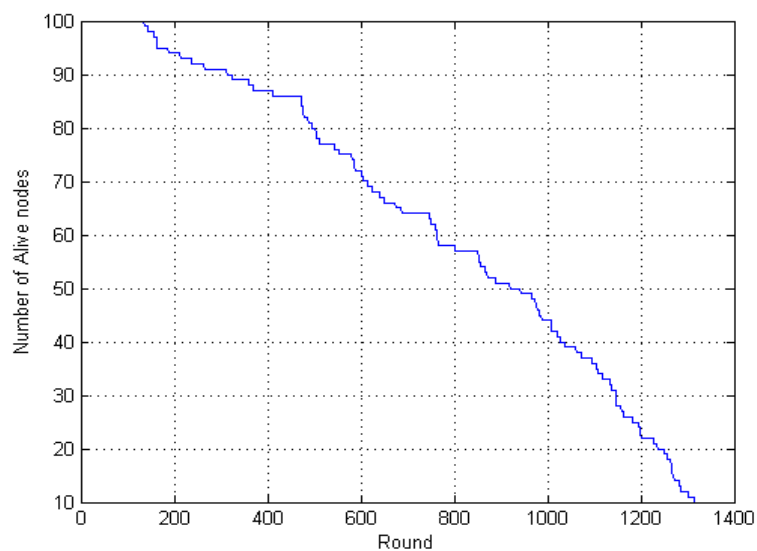


Figure2. Nodes gradually lose energy during network lifetime and will be dead

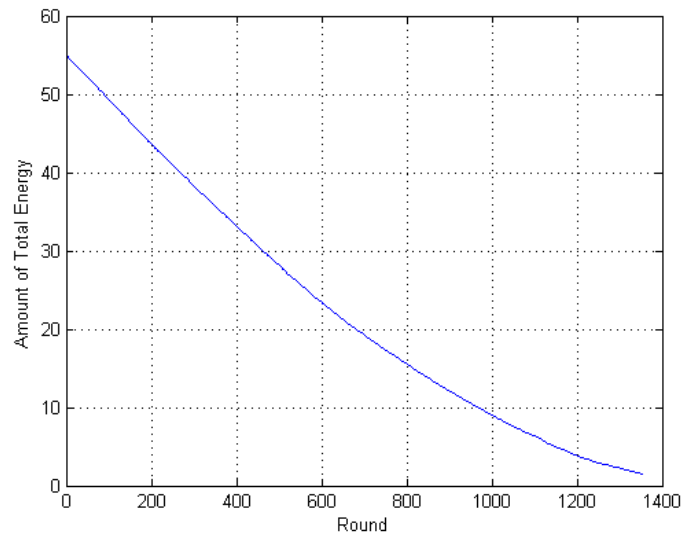


Figure3. Energy dissipated during network lifetime

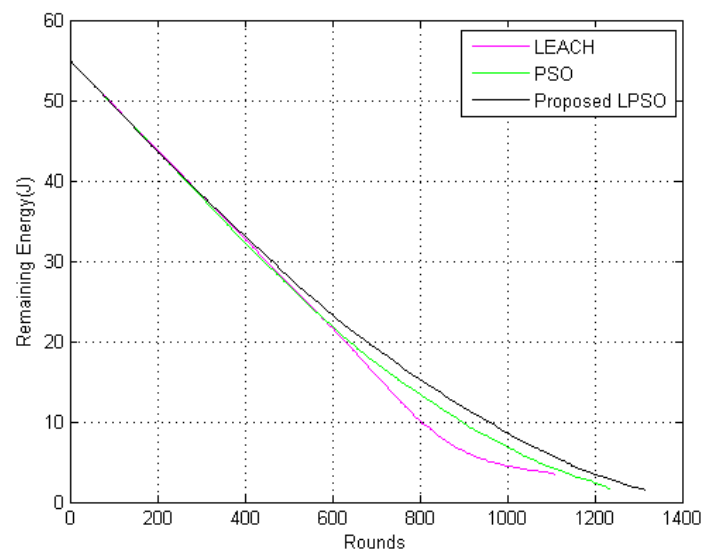


Figure4. Energy is preserved longer period in proposed Algorithm

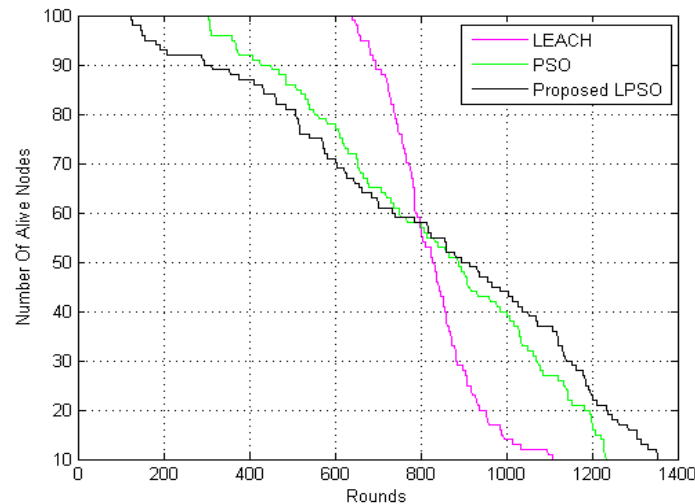


Figure5. Increase in network lifetime using proposed LPSO

5 CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this work, we used a two-phase PSO algorithm to optimize the clustering problem in wireless sensor network. In the first phase, the nodes are clustered using factors distance between each CH and its members and distance between CH's distance from sink. In the second phase primary CHs and their members are evaluated in terms of link quality, residual energy and transmission power. Simulation showed that the proposed technique improved over LEACH and PSO-C in both energy saving and network lifetime.

In simulation, performance and functionality are completely affected by mobility of nodes. The extension of this work would be a further discussion of improving functionality and performance of the proposed LPSO by the factor known as mobility.

REFERENCES

- [1] H. Ali, W. Shahzad, and F. A. Khan, "Energy-efficient clustering in mobile ad-hoc networks using multi-objective particle swarm optimization," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 12, no. 7, pp. 1913–1928, 2012.
- [2] V. L. Huang, P. N. Suganthan, and J. J. Liang, "Comprehensive learning particle swarm optimizer for solving multiobjective optimization problems," *Int. J. Intell. Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 209–226, 2006.
- [3] J. E. Alvarez-Benitez, R. M. Everson, and J. E. Fieldsend, "A MOPSO algorithm based exclusively on pareto dominance concepts," in *International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, 2005, pp. 459–473.
- [4] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *System sciences, 2000. Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on*, 2000, p. 10 pp. vol. 2.
- [5] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *Wirel. Commun. IEEE Trans.*, vol. 1, no. 4, pp. 660–670, 2002.
- [6] N. M. Latiff, C. C. Tsimenidis, B. S. Sharif, C. Paper, and N. M. Abdul, "Energy-aware clustering for wireless sensor networks using particle swarm optimization," in *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2007. PIMRC 2007. IEEE 18th International Symposium on*, 2007, no. OCTOBER, pp. 1–5.
- [7] K. E. Parsopoulos, V. P. Plagianakos, G. D. Magoulas, and M. N. Vrahatis, "Stretching technique for obtaining global minimizers through particle swarm optimization," in *Proceedings of the Particle Swarm Optimization Workshop*, 2001, vol. 29.
- [8] M. Pant, T. Radha, and V. P. Singh, "A new diversity based particle swarm optimization using Gaussian mutation," *Int. J. Math. Model. Simul. Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 47–60, 2008.
- [9] P. Sriyanyong, "Solving economic dispatch using particle swarm optimization combined with Gaussian mutation," in *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2008. ECTI-CON 2008. 5th International Conference on*, 2008, vol. 2, pp. 885–888.

- [10] C. Vimalarani, R. Subramanian, and S. N. Sivanandam, "An Enhanced PSO-Based Clustering Energy Optimization Algorithm for Wireless Sensor Network," *Sci. World J.*, vol. 2016, 2016.
- [11] Y.-L. Chen and W.-R. Chen, "Particle Swarm Optimization with Taguchi for Cluster Heads Election in Wireless Sensor Networks," *Appl. Math. Inf. Sci.*, vol. 9, no. 4, 2015.
- [12] R. S. Y. Elhabyan and M. C. E. Yagoub, "Journal of Network and Computer Applications Two-tier particle swarm optimization protocol for clustering and routing in wireless sensor network," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 52, pp. 116–128, 2015.
- [13] R. S. Elhabyan and M. C. E. Yagoub, "PSO-HC: Particle swarm optimization protocol for hierarchical clustering in Wireless Sensor Networks," in *Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom), 2014 International Conference on*, 2014, pp. 417–424.
- [14] S. Balaji and V. Saranraj, "Master Cluster Head and Vice Cluster Head Algorithm for Wireless Sensor Networks Using PSO," vol. 3, no. 1, pp. 75–81, 2014.
- [15] D. Bratton and J. Kennedy, "Defining a standard for particle swarm optimization," in *Swarm Intelligence Symposium, 2007. SIS 2007. IEEE*, 2007, pp. 120–127.
- [16] R. C. Eberhart and J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory," in *Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science*, 1995, vol. 1, pp. 39–43.
- [17] M. Clerc and J. Kennedy, "The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space," *Evol. Comput. IEEE Trans.*, vol. 6, no. 1, pp. 58–73, 2002.
- [18] G. Nápoles, I. Grau, and R. Bello, "Constricted Particle Swarm Optimization based algorithm for global optimization," *Polibits*, no. 46, pp. 5–11, 2012.
- [19] Y. Shi and R. Eberhart, "A modified particle swarm optimizer," in *Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence., The 1998 IEEE International Conference on*, 1998, pp. 69–73.

Stress tolerance indexes of Maize (*Zea mays* L.) grown in the southwestern savannah in the Democratic Republic of Congo

Jean Pierre KABONGO TSHIABUKOLE¹, Amand MBUYA KANKOLONGO¹, Gertrude PONGI KHONDE¹, Antoine MUMBA DJAMBA², Roger KIZUNGU VUMILIA³, and Constant NKONGOLO KABWE⁴

¹Programme National Maïs, INERA, RD Congo

²Université Pédagogique Nationale, RD Congo

³Direction Scientifique, biométrie et expérimentation, INERA DG & Université de Kinshasa, RD Congo

⁴Département des Sciences Biologiques, Université Laurentienne, Sudbury, Ontario, P3E 2C6, Canada

Copyright © 2016 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: Twenty maize varieties were evaluated in southwestern savannah of DR. Congo during two years for their grain yield potential under optimum and water deficit conditions. A factorial experimental design with three replicates was adopted. Grain yield obtained under optimum was considered as yield potential (Ri) while the one in water deficit conditions was considered as yield performance under stress (Rs). Six stress tolerance indexes, including Stress Tolerance Index (STI), the Sensitivity to Stress Index (SSI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (MGP), the stability index Performance (ISR) and stress tolerance (TOL) were used to identify genotypes tolerant to drought. Linear regressions were done between Ri and Rs yields and between six stress tolerance indexes. High positive correlations were revealed between Ri and Rs yields and indexes STI, MP and MGP. Furthermore SSI and TOL indexes were highly correlated positively and negatively to SRI at Rs. High significant correlations were observed between STI, MP and MGP while SRI, SSI and TOL are highly correlated, and are slightly or not correlated with STI MP and MGP. Varieties ranking based on STI, MP and MGP is similar to that based on the combination of the two rankings prepared on Ri and Rs. For maize, ranking varieties based on SSI and TOL is in the opposite direction of that obtained according to the Ri and Rs yields. The selection of lines based on the index can be more effective by combining high values of STI and MP at low to moderate values of SSI and TOL.

KEYWORDS: Maize, INERA, DRC, stress index, SSI.

1 INTRODUCTION

The water deficit is the major problem that seriously affects the production and quality of cereals in savannah conditions. Several strategies including changes in agricultural practices and the choice of cultivars more tolerant to drought have been adopted to solve this problem [1].

Studies were conducted under stress and non-stress conditions to describe the stability and elasticity of a cultivar under growing conditions with or without water stress [2], as well as approaches to estimate the impact of climate variability on yield [3] and the development of efficient methods of using water [4].

Research has been undertaken since the early 80s, in order to correlate the variations in yields, the interactions with the crop environmental conditions to stress tolerance index. These indices are based on the loss of performance under water deficit compared with normal [5].

The results from several previous investigations showed that the genotypes and environments interaction (G x E) are partially due to stress tolerance indexes [6]. Indeed, the difference between yield potential under optimum and yield deficit

under stress, could enable classifying the varieties based on their level of drought tolerance. These indexes provide a measure of limitation and an adequate way of identifying stress-tolerant genotypes [7].

The objective of this study is to assess the reaction of some cultivars to water stress and determine the best index to increase and improve yields under stress and non-stress conditions of DRC south western savannahs.

2 MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in Mvuazi Research Center of the National Institute for Agronomic Study and Research (INERA). The plant material consists of a total of twenty maize varieties including twelve obtained from CIMMYT/ IITA and eight grown in the south western savannah of DR Congo (Table1).

The trial was carried out during two years (2013 and 2014). The first planting was done during the long rainy season (mid-October to February) and the second one during the short rainy season (mid-March to June).

Urea (46% nitrogen) and NPK 17-17-17 bought on the local market were used as fertilizers. NPK (250 kg.ha⁻¹) was applied at planting as basal dressing. Urea (120 kg) was applied by fractionation into two halves of the dose at 15 days and 30 days after sowing.

The planting time under water deficit conditions was chosen in such a way to match the flowering period and the breaking rains.

Table1. Origin and types of maize varieties tested for stress tolerance index during 2013 and 2014 in Mvuazi

Varieties	Origine	Type
07SADVE	CIMMYT	Normal
08SADVE1	CIMMYT	Normal
09SADVE-F2	CIMMYT	Normal
EV DT - Y 2000 STR QPM CO.	IITA Ibadan	QPM
EV DT- W 2008 STR	IITA Ibadan	Normal
EV DT- Y 2000 STR CO.	IITA Ibadan	Normal
IAR-DENT-Q	IITA Ibadan	QPM
IAR-FLINT-Q	IITA Ibadan	QPM
KASAï 1	INERA Gandajika	Normal
KATOKI WA LUKASA	INERA Gandajika	Normal
LOCALE	INERA Mvuazi	Normal
MUDISHI1	INERA Gandajika	QPM
MUDISHI3	INERA Gandajika	QPM
MULTIOB EARLY DT	IITA Ibadan	QPM
MUS1	INERA Gandajika	QPM
OBA-SUPER	IITA Ibadan	QPM
SALONGO2	INERA Gandajika	QPM
SAMARU	INERA Mvuazi	QPM
ZM623	CIMMYT	QPM
ZM725	CIMMYT	QPM

CALCULATION OF STRESS INDEXES

In this study, Ri and Rs are respectively grain yields obtained during long and short rainy seasons; mRi and mRs are respectively the average grain yield of all genotypes during long and short rainy seasons. Tolerance indexes were generated on the basis of these parameters.

- The index of sensitivity to drought (SSI) was calculated using the formula of Acevedo (1991)[8]:

$$SSI = [(1-Rs/Ri)/SI] \quad (1)$$

SI being the stress intensity.

$$SI = (1-mRs/mRi) \quad (2)$$

- The stress tolerance (TOL) and productivity average have been calculated using the average [9]

$$TOL = R_i - R_s \quad (3)$$

$$MP = (R_i + R_s) / 2 \quad (4)$$

- The performance of the stability index (SRI) was calculated according to [10]

$$ISR = R_s / R_i \quad (5)$$

- new and improved indicators that are indicative of STI stress tolerance and the geometric average production MGP, obtained by mathematical derivations of the same yields under different circumstances [11]

$$STI = [(R_i \times R_s) / (mR_i)^2] \quad (6)$$

$$MGP = \sqrt{(R_i \times R_s)} \quad (7)$$

STATISTICAL ANALYSES

The analysis of variance was made to discriminate the average yields and index sensitivity to drought. A linear regression was established between R_i and R_s yields. The principal component analysis (PCA) was done to characterize genotypes and variables, based on yield data, R_s R_i and the six indexes. The R 3.1.3 and XLSTAT software were used for data analysis.

3 RESULTS AND DISCUSSION

Analyses of variance on yields and SSI showed highly significant differences between genotypes. The varieties with $SSI < 1$ have showed very little variation between R_i and R_s (Figure 1). Similar results were obtained by [12] which suggests that SSI values > 1 indicate a higher stress sensitivity than the average while the values of $SSI < 1$ indicate a sensitivity to water stress below average. The variety Mudishi3 was more efficient with $SSI = 0.07$ compared to the local variety very sensitive to stress ($SSI = 1.499$). [13] showed that the performance of local variety was affected when conditions became unfavorable. This is similar to results obtained in Gandajika under PANA-ASA Project (PANA-ASA, 2013).

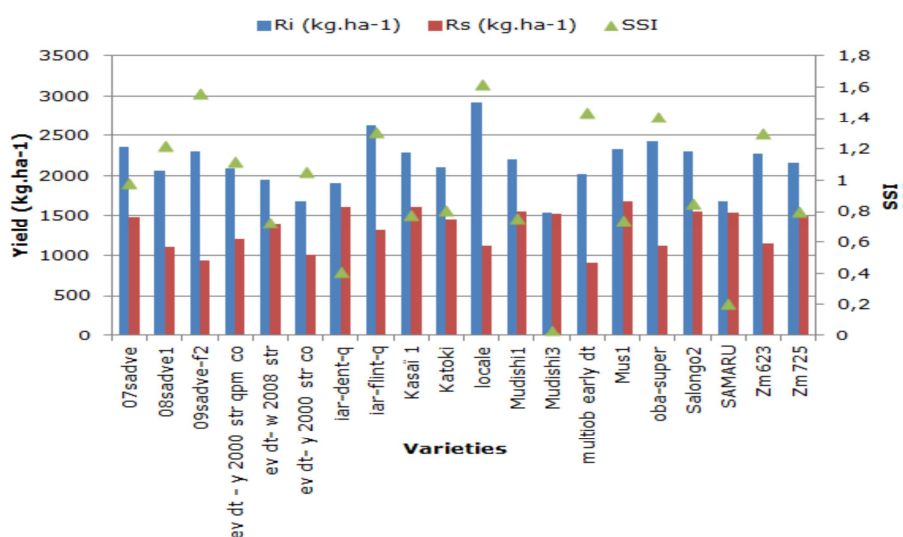


Figure 1. Average yields and index sensitivity to water stress in 2013 and 2014

Linear regression between R_i and R_s presents adverse variations. The trend line is not parallel to the x-axis with determination and director coefficients respectively $r^2 = 0.017$ and $b = -0.171$ (Figure 2), this simply means that the high yield potential under optimal conditions does not necessarily entails a high yield under stress conditions and vice-versa. In addition, productive genotypes under water stress do not necessarily perform under favorable conditions. Ref [14] attributes this response to environmental conditions for genotypes with limited or no adaptation to high humidity conditions. Genotypes with low potential production are more productive under water stress conditions.

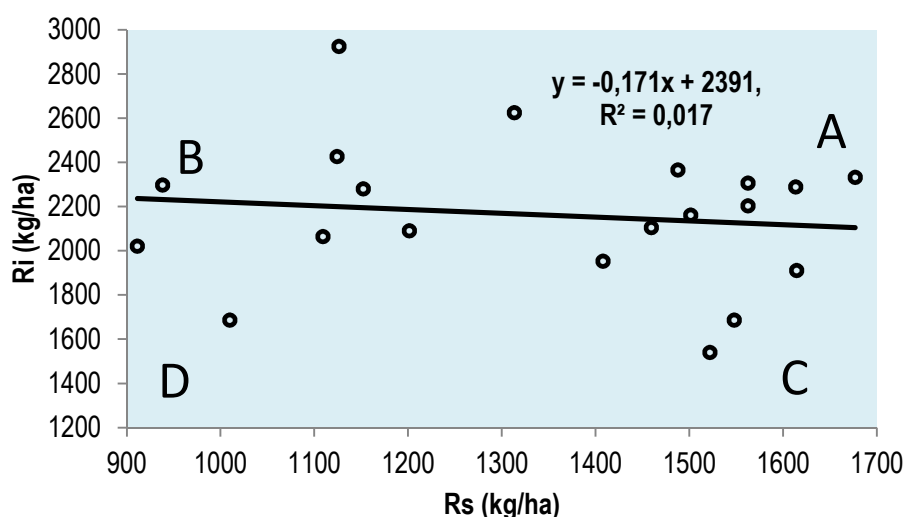


Figure 2. Relationship between Ri and Rs

These results are similar to those of [11] suggesting that genotypes can be divided into four groups (Figure2): the high-efficiency genotypes under stress and non-stress conditions (A); high yielding genotypes under non-stressed conditions (B) or stressed conditions (C) and the low-yielding genotypes under both conditions (D). High potential productivity genotypes under optimum and stressed conditions are at the extreme right on top of the trend line (Figure2), while those with high potential for production in water deficit conditions are located under the trend line at the extreme right. The least productive lines under both water regimes are at the bottom of the originally trend line abscissa.

PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

Only two dimensions have an eigenvalue greater than one. These two axes provide more than 99% of the total variation. PC1 defines tolerance to water stress and discriminates the susceptible genotypes (**LOCAL, OBA-SUPER, ZM623, IAR-FLIT-Q**) with very high values of TOL and SSI with better yields during long rain while less susceptible genotypes (**EVDT-W-2000 STR, IAR-DENT-Q, KATOKI, ZM725**) have low values of these two indexes with better yields during short rain. PC2 is defining yield based on stress index, discriminate the genotypes yield based on MP, MGP, and STI. The most productive genotypes during short season (**MUS1, SALONGO2, 07SADVE, KASAI1, MUDISHI1**) have , MP, MGP, STI values approaching Rs. Genotypes with less SSI and TOL indexes (**SAMARU, MUDISHI3**) are high-yielding during short season and have high value of ISR index (Figure 3). When assessing the sensitivity of maize to drought, [15] showed that **07SADVE, MUS1, SAMARU, MUDISHI1** and **MUDISHI3** were well adapted to water deficit during the short rain.

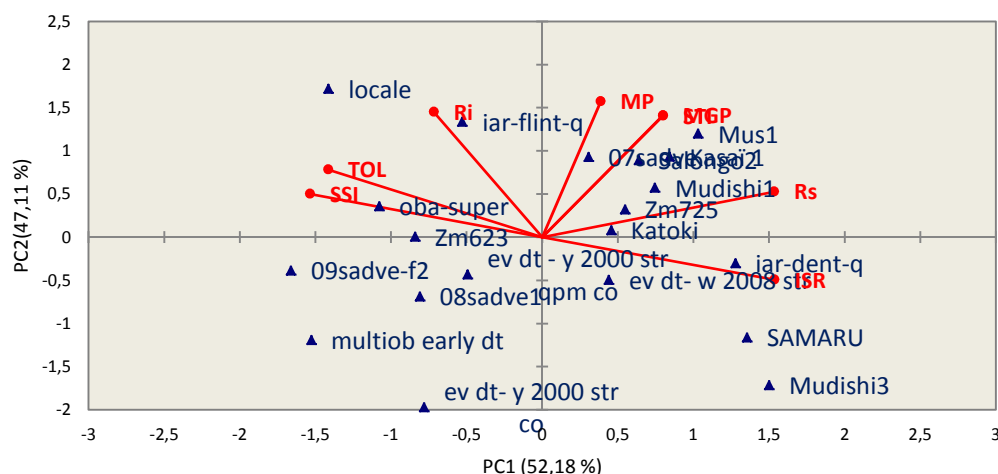


Figure 3. Genotypes distribution generated by PCA yield and stress indexes

The classification of genotypes based on yield and tolerance stress indexes showed that STI, MP and PGM deal with the same genotypes obtained by Ri, Rs. The best genotypes are those that have a high yield potential and good tolerance to water stress. However, the classification of genotypes based on the SSI and TOL are the opposite of those obtained by Ri, Rs, STI, MP and MGP. The lowest values of SSI and TOL are obtained for less sensitive to water stress genotypes, while the high values of these indexes are assigned to the most sensitive genotypes to water stress. Thus, these indexes were effective in the identification and discrimination of genotypes for their resistance to water stress. [16] found the same results and ensured that the genotypes with low SSI values are identified as resistant genotypes and all having very high SSI values are sensitive to stress. They stated that the SSI average obtained in all areas throughout the years seem to be appropriate selection index that can enable distinguish resistant from susceptible cultivars. These results are consistent with those obtained on wheat studies [12, 14, 17] the irrigated maize [18] and beans [19]. [9] demonstrated that when the more stress tolerance index (STI) and low yields in normal irrigation are close each other, the implication is that the plant is resistant to drought. In spring wheat cultivars, [12] using SSI, suggested that $SSI > 1$ means sensitive to stress.

4 CONCLUSION

The objective of this study was to assess the reaction of some cultivars to water stress and determine the best index to increase and improve yields under stress and non-stress conditions in DRC south western savannahs.

Results revealed that the genotypes that have high values of STI, MP and MGP and low values of the SSI and TOL are the best under both conditions. These results are consistent with the findings of several authors working on wheat, irrigated maize and bean.

Furthermore, the MGP index is often recommended for geneticists interested in relative performance, since the intensity of water stress can vary in severity in the field throughout years, while the PM is used as a resistance test to wheat cultivars under moderate stress conditions. The SSI is a very effective indicator for cereals when stress is severe, while the MP, GMP and STI are targeted when the stress is less severe. Based on their performance, **MUS1, MUDISHI1, MUDISHI3 and 07SADVE** can be used as parents in the maize breeding program for drought tolerance.

REFERENCES

- [1] Ben Salem M., Boussen H. Et Slama A. ; 1997 : Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. 6^{ème} Journées scientifiques AUPELF/UREF, Biotechnologie Végétales : Génie Génétique des Plantes. Orsay du 30/6 au 3/7 1997.
- [2] Ben Salem M. ; 1995 : Le blé dur en Tunisie. Options méditerranéennes, série A : Séminaires méditerranéens N°22 : La qualité du blé dur dans la région méditerranéenne : pp.81-91, (ICARDA, CIHEAM, CIMMYT).
- [3] Nasr Z., Ben Mechlia N., Oueslati T. Et Zairi A. 1998 . Mesure de la consommation en eau journalière du blé par une méthode microclimatique. Ann. De l'INRAT. pp.71:pp. 141-156.
- [4] Boussen H., Mellek-Maalej E., Nasr Z. Et Ben Mechlia N.; 2005 : Efficience d'utilisation de l'eau et de l'azote chez le Blé Dur : Etude comparative de deux variétés à haut potentiel de production. In: International Conference on "Water, Land and Food Security in Arid and Semi-Arid Regions". Bari-Italy 6-11 September 2005. Proceedings Papers: 11p.
- [5] Ahmadi A., Mohammadi V., Sio-Se Mardeh A. And Poustini K.; 2008: Evaluation of wheat yield drought resistance indices across water regimes. Acta Biol Szeged 52(1): pp. 97-100.
- [6] Maleki A., Babaei F., Cheharsooghi H.A., Ahmadi J. And Dizaji A.A.; 2008: The study of seed yield stability and drought tolerance indices of bread wheat genotypes under irrigated and nonirrigated conditions. Res. J. Biol. Sci., 3(8): pp.841-844.
- [7] Mitra J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. Curr. Sci. 80(6): pp.758-762.
- [8] Acevedo E. 1991: Improvement of winter cereal crops in Mediterranean environment. Use of yield, morphological and physiological traits. Coll. Physiological breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environment, 55p. Paris: Inra editions.
- [9] Rosielle A.A. And Hambling J.; 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Sci. 21: pp.943-946.
- [10] Bouslama M. And Schapaugh W.T.; 1984: Stress tolerance in soybean. 1- Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Sci., 24: pp.933-937.
- [11] Fernandez G.C.J.; 1992: Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceeding of the international Symposium on "adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress". Taiwan, 13-16 Aug. Chapter 25. pp: 257-270.
- [12] Guttieri M.J., Stark J.C., O'brien K. And Souza E. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Sci., 41: pp.327-335.
- [13] Kabongo T.J.P., Pongi K.G, Mbuya K. Jadika T., Kasongo K., Badibanga M., Kasongo T., Muliele M., 2015: Comparative study of the production of maize cultivars that are tolerant of low-nitrogen soils, with and without fertilizer in the Democratic Republic of Congo, Nature & Faune Volume 30, Issue No. 1, pp. 43-45.
- [14] Clarke J.M., De Pauw R.M. And Townley-Smith T.F.; 1992: Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. Crop Sci., 32: pp.723-728.
- [15] Kabongo T., Pongi K. Mumba J., Mbuya K., Kizungu V., Kabwe K. 2016: Evaluation of maize sensitivity to drought in southwestern savannah area of DR. Congo. African Journal of Agricultural Science and Technology (AJAST) Vol. 4, Issue 7, July, 2016, pp. 812-817.
- [16] Sio-Se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K., Mohammadi, V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crop Res. 98: 222-229.
- [17] Golabadi M., Arzani A. And Mirmohammadi Maibody S.A.M. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. Afr. J. Agric. Res, 1 (5): pp. 162-171.
- [18] Farshadfar E. And Sutka J.; 2003: Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substation lines. Cereal Res. Commu., 31: pp.33- 40.
- [19] Ramirez P. and Kelly J.D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica, 99:pp.127-136.

