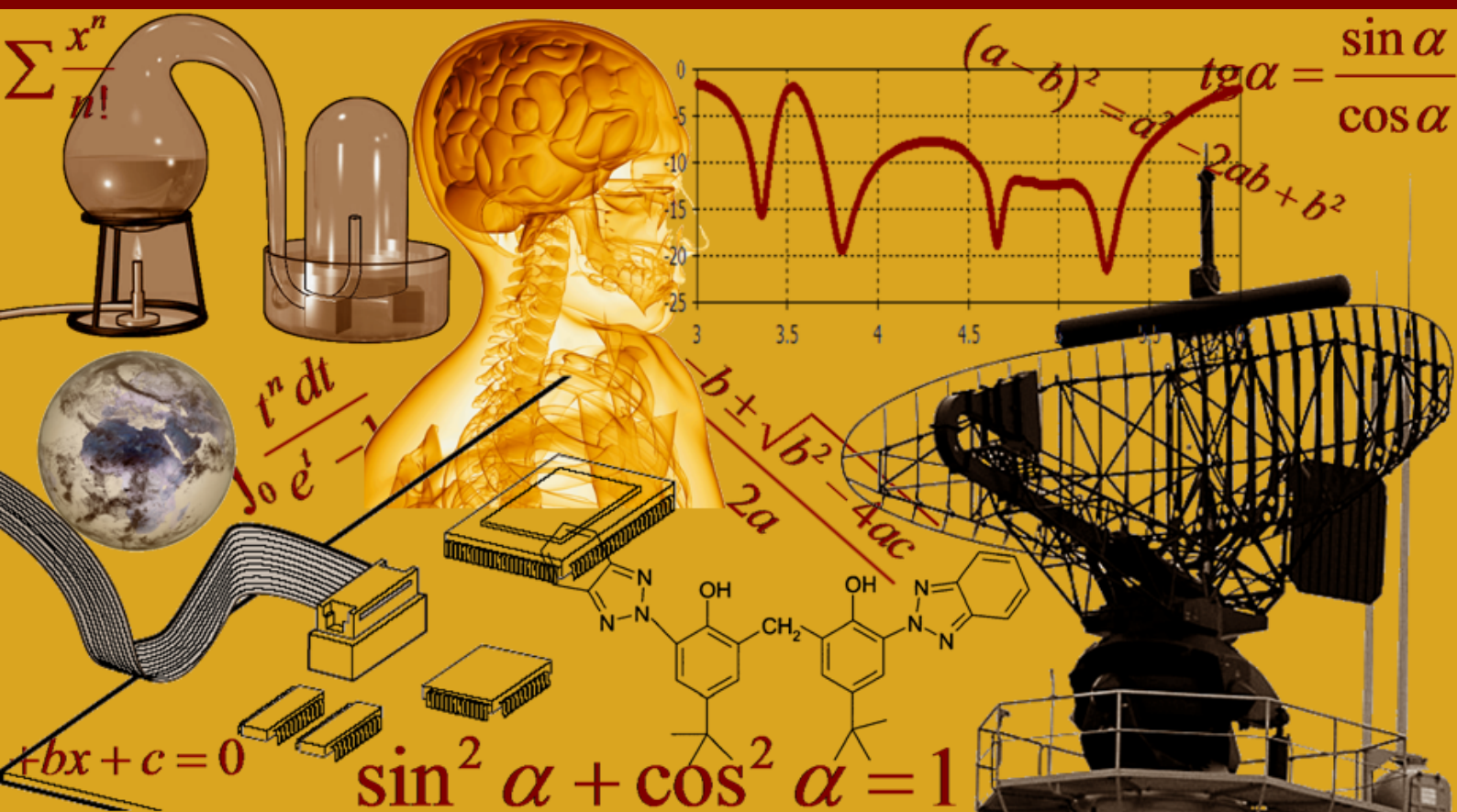


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 65 N. 2 March 2023



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Scientific Research

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

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

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

Editorial Advisory Board

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

Table of Contents

The « Internet of Things » within the « Special Exhibition of the Internet of Things » <i>Fang-Yi SU</i>	129-134
A new method for linking plant groups and environmental variables in northern Greece's mountain pastures <i>Frederic Bendali and Michel Godron</i>	135-144
Les Notes de route: « une esthétique de l'existence » <i>Mustapha Charfaoui and Hafida El Mderssi</i>	145-151
Evaluation de l'activité anti-inflammatoire des extraits aqueux de feuilles de <i>Morinda Lucida</i> Benth. (Rubiaceae) <i>Ta Bi Irié Honoré, Doh Koffi Stéphane, and Koffi N'GUESSAN</i>	152-158
Etude des contaminations en éléments trace-métalliques des préparations extemporanées de phytomédicaments et des eaux de consommation utilisées des populations riveraines au Parc National de Togodo-Sud <i>Ouro-Djeri Hafez, Koudouvo Koffi, Massabalo Ayah, Esseh Komlavi, Kissao Gnandi, Tchadjobo Tchacondo, Agbonon Amégnona, Akpavi Sémihinva, Ouro-Djeri Essowé, and Gbeassor Messanvi</i>	159-170
Contribution de la télédétection et d'un SIG à la cartographie des unités de l'occupation du sol et ses changements face au problème d'inondation sur le plateau d'Allada au Bénin entre 1986-2020 <i>Kpoha Josiane Nadège, Akokponhoue Hounnigbo Bertrand, Orekan Vincent, and N'guessan Bi Vami Hermann</i>	171-183

The « Internet of Things » within the « Special Exhibition of the Internet of Things »

Fang-Yi Su^{1,2}

¹National Science and Technology Museum, Taiwan

²Department of Information Management, College of Management, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung, Taiwan, ROC

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Along with the development of the Internet of Things and its related technologies, various industries, especially the service industry, have evolved from being «informatized» to being «intelligentized». This trend has also brought changes to various services offered by museums in Taiwan. Indeed, the Internet of Things, big data, artificial intelligence, and robotics have brought museums the opportunity to develop innovative exhibitions, enhance their educational function, and realize their vision statements. In relation to the Intelligent Museum Project, the National Science and Technology Museum launched the Special Exhibition on Exploring the Internet of Things. In the Exhibition, technology education is integrated with research on information and communications technology, as well as daily life, via an interactive narrative on information and communications technology that grows by leaps and bounds. «Online to Onsite visitor behavior system» was also constructed to capture visitors' behavior in a real-time manner, and to create the Internet of Things within the Special Exhibition of the Internet of Things. The challenges include: determining how to present the «virtual» internet world in the «real» Exhibition, conversion of the content of interactive exhibits, selection of narrative approaches, and construction of a database system.

When the Special Exhibition was launched in the National Science and Technology Museum during 2016-2017, the data were collected via the system constructed in the exhibition hall. An analysis of 14,960 entries of visitors' behavior found that 98.4% of visitors were highly satisfied with the Exhibition; average time on site per visitor was 92 minutes; general performance of visitors' behavior was 22.35 points, which falls into «high-level participation»; there was no «low-level participation». Judging from the comments and feedback provided by visitors, most of them are positive about the Exhibition. As such, it can be said that the educational function of the Special Exhibition on Exploring the Internet of Things has been realized.

KEYWORDS: Internet of Things, Museum exhibition, Interactive narrative.

1 INTRODUCTION

In 1999, Kevin Ashton coined the term "Internet of Things" to describe "a system where the Internet is connected to the physical world via ubiquitous sensors." Since then, the term "Internet of Things" became the most important keyword in the twenty-first century. In 2015, the Taiwan government began implementing new science and technology development policies and initiated a four-year "Smart Museum Project" across the museum community, hoping to promote the world's latest technological applications and developments by utilizing the museums' abundant resources and innovative practices. Therefore, the National Science and Technology Museum (NSTM) engaged in the strategic planning of a special exhibition called "Explore IoT Exhibition", using diverse exhibition methods to translate the concept of Internet of Things (IoT) into physical exhibitions that provide physical experiences for the general public. In addition, an "Online to Onsite Visitor Behavior System" (hereafter as "OOVBS") was set up within the Explore IoT Exhibition to record visitor behaviors in real time. In planning the Explore IoT Exhibition, the most important task was found to be integrating knowledge on IoT technologies and linking it to science education, research on information and communication technology, and activities of daily living. One of the challenges in planning the Explore IoT Exhibition was determining how to liven up a theme by using interactive storytelling methods so that the theme becomes interesting enough to elicit visitor curiosity. Humans generally exhibit a model of behavior in which they are more receptive and understanding of "stories". Thus, using storytelling methods allows for easier communication, which enables visitors to become easily immersed in an exhibition, thereby understanding the story content.

2 THE DEVELOPMENT OF INTERNET OF THINGS

Bill Gates outlined his ambitions of building a smart home in his 1995 book *The Road Ahead*, giving rise to the concept of IoT. In 1999, the co-founder of the Auto-ID Center at the Massachusetts Institute of Technology, Kevin Ashton coined the term IoT. IoT is a global network of infrastructures that connect physical objects and virtual data through data acquisition and communication capabilities to achieve various types of control, detection, identification, and services. Since then, this term has been widely used. IoT represents the technological revolution of logical

calculation and communication. This is also attributable to the invention of computers, which actualized the integration of electronics, semiconductor, information, optoelectronics, communication, and biotechnology industries, thereby constructing the “Internet of Things” that encompass everything in the world. IoT is also considered to be the next wave of digital era.

Based on a computer’s Internet, IoT uses radio frequency identification (RFID), infrared sensor, global positioning system, and laser scanners, among other sensing equipment and follows different network protocols to connect any objects and networks for the purpose of exchanging and communicating information to realize smart identification, positioning, tracking, monitoring, and management. In recent years, the development of IoT and related technologies led to the Fourth Industrial Revolution or Industry 4.0 – Smart Technological Revolution, plunging countries around the world into a frenzy as they develop relevant technologies and cultivate visionary and interdisciplinary talents to bolster their nation’s competitiveness. This trend also instigated the evolution of museum services from information-based services to smart services.

For this reason, the Taiwan government established the vision of using intelligent technology to create a prosperous society and achieve sustainable growth in its 2015 new science and technology development policy. To realize this vision, the government developed a four-year “Smart Museum Project” (2017–2020), using museums as the site for promoting digital intelligence and innovative mobile applications. By incorporating 5G network, mobile cloud-based services, smart sensing, big data, IoT, augmented reality (AR), virtual reality (VR), and wearable devices, among other cutting-edge information and communication technologies, the project provides innovative user-friendly services from the perspective of museum visitors and users. It also uses diverse applications for imparting general knowledge, enhances people’s understanding of and identification with the latest smart technologies, reshapes a new-generation museum, and develops museums into a comprehensive smart learning site integrating cultural, science and technology, and everyday activities. The “Explore IoT Exhibition” investigated in this study was one of the subprojects of the “Smart Museum Project” in 2017. It was aimed at using diverse exhibition techniques to educate visitors on the everyday applications and development of IoT technologies and their impact on the future.

3 EXPLAINING INTERNET OF THINGS WITH PHYSICAL AND VIRTUAL INTEGRATION

Everyone knows that IoT is the “product” of countless technological evolutions and developments. The rise of IoT represents human advancement toward a digital or information age in which smart applications and different disciplines and subjects are embraced. In a manner of speaking, IoT not only signifies the rise of new technologies, but it also tells the history of human civilization. In this context, IoT provides a very good narrative for the Explore IoT Exhibition. In recent years, designing museum spaces with storytelling elements is a popular approach in contemporary museum designs. An exhibition can be a story or a play, unfolding in space with twists and turns, each exuding different atmospheres that follow the structure of a typical narrative: introduction, development, twist, and conclusion [1]. A narrative is focused on enhancing observers’ experience and the way they interpret a work. As stories are being incorporated into museum space designs, contemporary museum designs place more emphasis on “how to exhibit” instead of “what to exhibit”, taking stories in an exhibit to the next level. In other words, museums are now designed to elicit “understanding of things” rather than “appreciation of objects” [2]. Most people perceive IoT as a means of “responding to needs after analysis and calculation by using mobile devices to connect to everything and transmit data via cloud.” The “actions” of IoT are invisible to the naked eye, indicative of a “virtual” process; therefore, we must find ways to use physical exhibition to build a bridge of communication with the virtual world, to display an IoT-themed exhibition, and to tell stories about this technology that are comprehensible to the public. For this reason, an important task in telling a story about IoT is using different storytelling methods. In this study, interactive storytelling was used to deconstruct the storytelling methods used in the Explore IoT Exhibition. Interactive storytelling is a novel method that contemporary museums adopt to display artworks in a way that prompts visitors to engage in an interactive relationship with the exhibit. Such direct and active involvement enables visitors to understand the story the exhibit is trying to tell [3].

3.1 STORY IN THE EXHIBIT

While children can understand the world by listening to stories, people can understand the unknowns through storytelling, using the existing knowledge structure in their brain to piece together all the imagined unknowns [4]. Based on the above discussion, the story context of the Explore IoT Exhibition in technological development was dissected by following the development trajectory: “I” —the self, “IT” —information technology, “ICT” —information and communication technology, to “IOT” —Internet of Things and Industry 1.0–4.0. The core principle of the exhibition was defined as building a future world in which people and people, people and things, and things and things communicate and interconnect with one another to embody the spirit of IoT. Subsequently, two stories were used to discuss the topic, Online and Onsite: The “Internet of Things” within the “Special Exhibition of the Internet of Things”.

3.1.1 REDEEMING “PHYSICAL” PRODUCTS WITH “VIRTUAL” COINS

A smart city is constructed using an online to onsite (O2O) exhibition method. The basic architecture of IoT is composed of three layers: perception, network, and application. The stories in the Explore IoT Exhibition were established using this architecture. Specifically, visitors look at exhibits while using an exhibition app (network) —the “online” setting—on a mobile device that is connected to sensing nodes (perception) deployed at the exhibition; they play online games designed for a physical exhibition—the “onsite” setting—to understand what is IoT; they can build up their tour experience by using the exhibition app to earn virtual coins, which can then be used to redeem any commodities (application) of their choice from a vending machine at the exhibition (Figure 1). In this process, visitors purchase “physical” commodities with “virtual” currency, thus experiencing the machine-to-machine or man-to-machine (M2M) IoT application.

3.1.2 TRACKING “ONSITE” VISITOR BEHAVIOR BY “VIRTUAL” AND “PHYSICAL” INTEGRATION

The ultimate goal of IoT is to analyze data collected by sensing components and conduct predictions for precision marketing and decision making. To achieve this exhibition's goal and ensure the accuracy of the Explore IoT Exhibition, the NSTM has set up an OOVBS at the exhibition site to track visitor behaviors. Based on a beacon micro-positioning sensing technology, the OOVBS adopts information technology, mobile device, and human-machine interface app, coupled with the exhibition's onsite interactive units, to record visitors' cognition and understanding of the exhibited content, their needs, and learning patterns. These data are used to establish the visitors' learning process as they tour around the exhibition. Through behavioral analysis, the methods used to tell stories of an exhibit can be organized to determine whether the storytelling methods are appropriate and to analyze them for further improvements. Such analysis also helps the museum to build up its big database on visitor behaviors, which can then be provided to museum operators as reference for various activity and service planning.

3.2 EXHIBITION STRUCTURE AND ARRANGEMENT

In the fifteenth century, oral storytelling was the prototype of museum exhibitions in which stories of exhibits were told orally. At the beginning of the nineteenth century, the narratives and essence of museum exhibits were based on scientific knowledge and theory; the public viewed cabinets of displays as they filed into an exhibition space, following the chronologically ordered arrows. During this period, museum exhibits provided only single narratives. At the beginning of the twentieth century, contemporary museum exhibits were changed to people-oriented, showcasing artworks in a manner most suitable for people, psychologically and physiologically. Various materials, lighting, multimedia systems, and other contemporary science technologies fill the interior of the museum hall as visitors continuously explore the exhibition space [4].

3.2.1 EXHIBITION STRUCTURE

The above discussion shows how the storytelling activities of museum exhibitions have slowly changed from straightforward oral storytelling to communicating with the public through use of media and other techniques. An exhibit's messenger—research personnel or curator—is the one behind the curtain using various techniques to effectively deliver messages to viewers [1]. The structure and arrangement of the Explore IoT Exhibition are described below. Table 1 summarizes the structure of the exhibition.

Table 1. Structure of the Explore IoT Exhibition

Area A: Now is the Future	Schematic of exhibit name		APP
	Launch the Fourth Industrial Revolution		PFID
			Knowledge points (I-coin)
			Empirical value (I-point)
Area B: 0 and 1 Overtum the World	Famous characters in the 20th century	Finger counting	
	A world of 0 and 1	Mechanical algorithm	
	From analog to digital	Era of vacuum tube	
	History of computer development	Transistor	
	The development of integrated circuit	Integrated circuit	
			Nanotechnology
			System on a Chip (SoC)
Area C: Virtual Neighbors	Network connections	Transmission media and information exchange	
	From Cable to Wireless > Infinity	Wireless networks distinguished by distance, such as IR, Bluetooth, Zigbee, WiFi, NFC, RFID, 4G, 5G	
	Wireless		
	Mobile, 3C integration	Application and principle of wireless transmission	
Area D: Transboundary “Language”	From computers, Internet to IoT		
	The architecture of IoT		
	Core technologies	Perception/network/application layers	
	Cloud computing	Sensor/Actuator	
	Visions and Opportunities	Embedded technology/Microelectromechanical systems (MEMS)	
			SaaS PaaS IaaS
Area E: Smart City	Application of IoT	Family	Smart grid
	Experiencing Area	Transportation	Smart car
		Health	Wearable technologies, etc.
		Factory Logistics	Industry 4.0
		Consumption and retail	Shopping on mobile device
Area F: Infinite Potential of IoT	The whole exhibition is my IoT		OOVBS
	Human? Machine?		
	Vending Machine		Vending machine
		I-coin	Using “virtual” coins to redeem “physical” commodities
		I-point	

3.2.2 EXHIBITION ARRANGEMENT

Regarding the arrangement of the exhibition, the Explore IoT Exhibition was divided into six areas. Starting with the launching of the Fourth Industrial Revolution, Area A “Now is the Future” showcased a play about robots, educating viewers on the history of technological advances from the use of steam as substitute for manual labor, the start of the electricity era, the rise of automated production following the development of information technology, to the development of smart technologies. Without computers, the works we are doing now would require more than 400 billion people to complete. Next, Area B “0 and 1 Overturn the World” explored the digital to analog process, showing how humans have learnt to communicate with computers and “challenge binary numbers”. The world’s first general-purpose computer ENIAC was at the time as big as a whole classroom, but thanks to the development of integrated circuit technology, ENIAC’s entire circuit can now be installed on a single phone card. The computer artefacts collected by NSTM not only tell the impact of computer technologies on human lifestyle, but also show how they differ from products used today, revealing the trajectory of technological developments.

The integration of computers and networks in the twentieth century highlights humans’ glorious achievements in the history of communication. Computers connected to brain power are able to circulate information, enabling knowledge to exert power with exponential leverage. In Area C “Virtual Neighbors”, which displayed the development of cable and wireless networks to infinite possibilities, visitors learn how computer users in different areas are able to share network resources so that using the Internet is made as easy as breathing and enables users to know everything without even stepping a foot outside their door. Area C also featured the “Maker Network Cable”, an activity for making your own network, so that visitors can understand the technical difficulty of network connections. We believe that “connecting to the Internet connects you to the future”. The continuous exploration and innovation of technologies ranging from computers, the Internet to IoT suggest that humans must create communication among people and objects and among objects so as to increase information transparency and provide the correct instant response. In Area D “Transboundary Language”, “Understanding the Architecture of IoT” deconstructed the perception layer, network layer, and application layer. If IoT is personified, the perception layer represents the skin and five senses, which are stimulated by external factors, sending out signals that are transmitted through the neural network, which is the task of the network layer. The application layer represents the cerebrum in the central nervous system; specifically, in this layer, the cloud server receives large amount of data, provides a response after big data analysis, and gives instructions to each device accordingly.

When all objects are rendered readable, identifiable, locatable, searchable, and controllable through the network, becoming seamlessly integrated into the virtual world where connections can be made anytime and anywhere, visitors were welcomed into Area E “Smart City”, which is the key site for actualizing the applications of IoT. We simulated behavioral changes in everyday activities (e.g., food, clothing, housing, transportation, education, and entertainment) when smart devices penetrated the daily lives of the general public. Visitors were also invited to experience how they should embrace the digital age. Area E is a realization of the life that Bill Gates had envisioned in his book *The Road Ahead*. The development and advancement of every technology are all aimed at improving societies. After experiencing “The Infinite Potential of IoT” in Area F, do you think IoT is as good as scientists claim it to be? Will it be a beautiful new world? Or a prison cell under constant surveillance? Have you ever thought about who you should trust when robots start coexisting with humans? When human intelligence encounters artificial intelligence (AI), the “I” among all things may have its own advantage, it may even replace humans to perform computational tasks, but do not forget that what makes humans unique is their ability to love, and this ability is the most difficult program for scientists to crack at this stage.

4 THE “INTERNET OF THINGS” WITHIN THE SPECIAL EXHIBITION OF INTERNET OF THINGS

To achieve “IoT” within the special exhibition, the OOVBS setup used a beacon technology and program nodes embedded in multimedia interactive software to actively, rather than passively, extract data by following the rules of automation and transform these collected data into useful information. An information feedback system was employed to establish two-way interactions between the museum and visitors, creating a platform for visitors and the museum to engage in dialogue in real time. This system was installed within the interactive units at the exhibition. Subsequently, a micro-positioning and interactive program design using 73 beacons was adopted to incorporate the four indicators of Bitgood’s [6] behavior observation scale—degree of involvement, state of operations, degree of reading, and content of discussion—in the interactive exhibit software. Visitors were required to download the exhibition app and enter an ID code to activate the app and use the interactive units. In summary, the OOVBS system was used to collect every visitor’s information and behaviors, including basic information, opinions and feedback, and overall behavioral performance.

The exhibits and goals of each interactive unit were compiled and designed according to the plans made for the Explore IoT Exhibition. Subsequently, the methods of interaction and the desired learning performance were examined to classify the indicators of visitor behavior. Each behavioral indicator was given scores of 3, 2, or 1 when the level of a visitor’s behavior was high, moderate, or low, respectively (Table 2). These level scoring criteria were also incorporated in the interactive software program design to implement judgment nodes. Participation records for a total of 11 units were collected for the special exhibition. The calculation formula was as follows: $2 \times 3 + 2 \times 3 + 6 \times 3 + 1 \times 3 = 33$. Therefore, the scores for the level of visitor behavior can be a maximum of 33 and minimum of 11, ranging from 1–11 (low level of participation), 11–22 (moderate level of participation), and 22–33 (high level of participation) [7].

Table 2. Goals of interactive units in the Explore IoT Exhibition and level scoring scale of OOVBS

OOVBS Assessment Indicator	Exhibition Goal	Corresponding Interactive Unit	Unit No.	Level Scoring Criteria	Total Score
Reading	To understand computers and the development of Internet, IoT, and relevant technologies.	1. IoT Class 2. Understanding the Perception Layer – Audio Guide app	2	Level 1: None of the questions were answered (heard) correctly Level 2: Half of the questions were answered (heard) correctly Level 3: All the questions were answered (heard) correctly	6
Involvement	To understand the history of computer development and evolution of Internet technologies.	1. Challenge Binary Numbers 2. Make Your Own Smartphone	2	Level 1: 30 sec Level 2: 60 sec Level 3: 90 sec	6
Operation	Smart City is the key site for experiencing IoT applications. The exhibit provided simulation of how smart devices have changed the everyday activities (food, clothing, housing, transportation, education, and entertainment) of the general public.	1. Understanding the Architecture of IoT 2. Maker Network Cable 3. Experience a Smart Car 4. Cycling Health Test 5. Be a Logistic Operator 6. Virtual Shopping with Joy	6	Level 1: Started a unit Level 2: Completed halfway Level 3: Completed the whole unit	18
Discussion	To understand the impact of technological development on IoT and Industry 4.0, change perspective of self, and understand the impact of technology on humans and society.	Share tour experiences and post photos or feedback on social media websites.	1	Level 1: 1 to 2 posts Level 2: 3 to 4 posts Level 3: 5 to 7 posts	3

The OOVBS collected 14,960 sets of data between November 10, 2017 (the exhibition's opening day) and February 28, 2018. Essentially, a set of data is meaningful only after it is analyzed. Therefore, an analysis of the collected data revealed that 98.4% of the visitors were satisfied with the exhibition (57.2% were extremely satisfied and 41.2% were satisfied). The visitors' most favorite interactive unit was "Maker Network Cable" (32.6%), followed by "Experience a Smart Car" (22.5%) which is an interactive unit designed using VR technology, and "Virtual Shopping with Joy" (14.4%). Visitors' overall behavioral performance was assessed using the viewing time and behavior level as recorded by the OOVBS. The visitors spent a total of 92 minutes on average viewing exhibits at the special exhibition and according to the beacon-recorded data, the visitors spent 8.36 minutes on each unit. Visitors' trajectory did not show specific movement line. Visitor behavior level based on a statistic of the 14,960 datasets showed that the lowest score was 15 points and highest score was 29 points, averaging 22.35 points, which indicate high level of participation. None of the visitors showed low level of participation, suggesting that the visitors at the special exhibition were all willing to view the exhibits closely, participate in the interactive units, and understand an exhibit's content, instead of simply playing with a few buttons or toying with the exhibit.

5 CONCLUSION

The Explore IoT Exhibition was a part of the four-year "Smart Museum Project" implemented in accordance with Taiwan's science and technology development policy. It was also a special exhibition celebrating the NSTM's 20th anniversary. Technological development has taken a quantum leap over the past 20 years, as evident by global competitions in the development of nanotechnologies, how the Internet has connected the world, Taiwan's massive involvement in technological research and development, the advent of telecommunication liberalization in Taiwan, and the development of Apple mobile phones. These advances signify the linking of the past with the future. Therefore, while planning this special exhibition, we made use of this opportunity and attempted to construct an innovative exhibition model, in which a database of visitor behavior is integrated into the exhibition. We proposed a physically and virtually integrated smart museum exhibition model that embeds IoT within the special exhibition of IoT. This model was then put into practice and a visitor database for this exhibition was established, documenting and assessing visitors' behaviors and learning models as they tour around the exhibits.

A museum's exhibition and educational activities have inherently been the paradigm of innovation. In future, museums must lean toward smart management, customizing exhibition activities according to different age groups and occupations. Smart management enables museums to accurately pinpoint the preference of their target audiences and organize cultural events suitable for them, so that visitors can not only view exhibits but also participate in the museum's innovative cultural activities. Using big data application facilitates the acquisition of accurate data, including the characteristics of museum visitors, their preference, end goals, and how they like to experience things, thereby helping museums to make decisions in advance, such as how to organize activities, how to plan exhibits to people's liking, how to engage in precision marketing for further research, and how to predict future markets [8]. This is also the ultimate goals of an IoT-dominated world.

REFERENCES

- [1] Yu-Hsin Wu, Comparative Analysis of Museum and Cinema Narrative: The case study between «Sino-French War and Taiwan» exhibition presented at the National Taiwan Museum, and «Master and Commander: The Far Side of the World», Directed by Peter Weir [D], Graduate Institute of Conservation of Cultural Relics and Museology, Tainan National University of the Arts, 2004.
- [2] Hsiao-Yu Li, Narrative Study of Museum Exhibitions [J], *Blooming Season*, 2015, 8: 144.
- [3] Haixin Jin, Shizhong Wu, Yijun Chen, The Narrative Artistic Characteristic of Contemporary Museum Display Design [J], *Art Research Letters*, 2015, 4 (4): 65-70.
- [4] Hui-Hui Zhang, Study of Museum «Narrative» Exhibit Designs [J], *Beauty & Times (City Version)*, 2015, 9: 74-75.
- [5] Hai-Ying Tao, New Strategies for Museum Exhibit Designs and Storytelling [J], *Art Panaroma*, 2016, 12: 126-126.
- [6] Bitgood, S. Designing effective exhibits: Criteria for success, exhibit design approaches, and research strategies, *Visitor Behavior* [J], 1994, 9 (4): 4-15.
- [7] Fang-Yi Su, Online to Onsite: A Case Study of Visitor Behavior Based on Beacon Technology, *Journal of Museum & Culture*, 2018, 15: 43-64.
- [8] Lin Li, Chengdu Museum: A Journey in the Museum based on Big Data [N]. Published on Sina Collection on 2016.09.19. Retrieved from <http://collection.sina.com.cn/cqyw/2016-09-19/doc-ixvyqwa3446557.shtml> on September 29, 2017.

A new method for linking plant groups and environmental variables in northern Greece's mountain pastures

Frederic Bendali¹ and Michel Godron²

¹Eco-Consultants S.A., Holargos, Greece

²University of Montpellier, France

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The Northern Greece's mountain pastures correspond at least to three phytosociological orders, the Daphno-Festucetalia which is proper to the Greek mountain, and two others that spread in Europe, the Festuco-Brometalia and the Nardetalia strictae, both found in lower altitude than in Greece. We used the relevés from Thrace, Macedonia and Thessaly from the previous 6 years' national Conservation Status Assessment of the Natura 2000 network database, that last in 2015, to find the correspondence between the habitat types as they are codified in the Natura 2000 network, the phytosociological order and environmental variables quoted in the relevés. We have selected the relevés with less than 10% trees (417 relevés) and applied frequential analysis to establish clusters of Vegetation Groups (VG) and Relevés Groups (RG), using the same matrice Species x Relevés. We presented then the links between each VG and each RG in a general table with the VG in column and the RG in lines where the RG are defined by their class values (altitude, geology, soil granulometry, rock cover and shrub cover). This could lead us to associate each VG to a phytosociological order and a Natura 2000 habitat type. The results showed for our sample an altitude around 1500m as a limit between, downwards, the Festuco-Brometalia and, upwards, the Daphno-Festucetalia and the Nardetalia. The results showed also the link between the Daphno-Festucetalia and limestone. For the Festuco-Brometalia the substrate is mainly basic, but it is frequently of tertiary deposits and alluvions.

KEYWORDS: Mountain Pastures, Northern Greece, Phytosociological orders, Frequential analysis.

1 INTRODUCTION

In Greece, a considerable extent is devoted to pastures. They include cultivated lands after harvest, abandoned cultures, wetlands and loose forests. In the frame of the ongoing Thessalian Protected Zones Manage Plan, we focused on this paper our interest on long term pastures and especially grassland's ecology. These pastures are mainly in mountain because land use repartition let cultivation in plains where access and soil management are less difficult. Pastoralism is an antique economy and way of live in Greece that is threatened by modern economic changes. These changes can influence the dynamics between forest and pasture and then threat the mountain grasslands to be invaded by ligneous as studied in Greece and abroad [1], [2], [3]. The new E.U. Common Agricultural Policy try to remediate to this trend [4] and the Natura 2000 habitat types are considered as suitable units to range management [5]. For better comprehension of pasture ecology in Northern Greece, we considered the rough results of the past Natura 2000 habitat types of Community Interest Monitoring and Conservation Status Assessment campaign (conducted at European level) that lasted in Greece in 2015 under the responsibility of the Ministry of Environment, Energy and Climate Change [6]. Working on Thessaly, we chose to use the data volume of Thrace, Macedonia and Thessaly. In these regions, the Mediterranean bioclimatic divisions can range from eu-Mediterranean to mountain-Mediterranean and the bioclimatic storages from semi-arid to axeric in high mountain. According to Dafis et al. [7], the pastures concerned by the present studies correspond at least to three phytosociological orders, the Daphno-festucetalia which is proper to the Greek mountains (named Daphneeto-festucetalia by Quezel [8]), and two others that spread in Europe, the Festuco-Brometalia and the Nardetalia strictae, both found in lower altitude than in Greece. In this study, our objective is to give correspondence between Northern Greece pastoral Natura 2000 habitat types, phytosociological orders and environmental variable's classes using the 2014-2015 Conservation Status Assessment campaign and it's phytosociological relevés with information on 16 environmental variables concerning altitude, topography, geology, soil and vegetation variables.

The above data have been processed by Tsiripidis et al. [9] using cluster analysis methods to define vegetation groups and relate these groups with habit types, using also a special algorithm [10] to find their typical species by an "intuitive fidelity threshold". We present here a new calculation method in cluster analysis to find vegetation groups with direct links with habitat's variable values, that facilitate their identification with Natura 2000 habitat types, give further ecological value to these habitats and facilitate the finding of typical species. One important advantage of this analysis method is to be founded on Fisher's exact probabilities tests which is completely independent of any theoretic distribution of the species, as linearly dependance used in the TWIN SPAN method (Hill, 1979) and subsequently independent of the sampling

method. It gives a picture of the sample, like in extended reality. Another advantage is to be applied at site scale (with around 100 relevés) because it provides information with few relevés, as shown in Bendali & Nellas [11].

2 MATERIAL AND METHOD

3202 relevés have been done during the previous Conservation Status Assessment campaign in Northern Greece (2014-2015) concerning 38 Natura 2000 sites in Thrace, Macedonia and Thessaly. We used here the rough results of the campaign that concerns the presence of each Species (with its abundance, vitality and its vegetation strata) and the status of 16 environmental variables noted on the plots. To focus the search for pasture flora Species' groups, we used 417 vegetation and environmental variables field samples (= relevés). The selection has been done with tree cover: The 417 relevés concerns only the ones that have a tree cover inferior or equal to 10%. Only process of Species' presence and 6 variables is presented here: habitat type, altitude, geology, soil granulometry, rock cover and shrub cover.

2.1 PHYTOSOCIOLOGICAL PROCESSING METHOD AND FREQUENCY ANALYSIS

2.1.1 FINDING VEGETATION GROUPS (VG)

Phytosociology is based on the probability to find in the same relevé two or more given plant Species. Characteristic Species of a vegetation unit (an association or a vegetation taxon of higher rank) has tight link with at least one another species. The difficulty is to know the reason of this link. M. Godron [12], [13], calculated the probability for a Species to be found with another Species. If that probability is high, these species are member of the same vegetation unit. The probability is calculated with Fisher's exact probability, which has the advantage to be not inferential. The probability calculation is explained downwards.

Table 1. Combination number of presence and absence of two Species in the relevés

Frequencies		2d Species		
		Presence	Absence	Total
1 st Species	Presence	a	b	a+b
	Absence	c	d	c+d
	Total	a+c	b+d	n

Where: $n = a+b+c+d$

The probability (P) of the table is:

$$P = \frac{(a+b)!(c+d)!(a+c)!(b+d)!}{n!a!b!c!d!}$$

The information obtained when computing "p" is then given by Brillouin's formula:

$$I = \log_2 \frac{1}{P}$$

The unit of Information I is named binon and since this information is given by a species on another species it is named **Mutual Information (MI)**. This information is the most suitable value of the spatial links between the species, and it gives a dendrogram named "archipel" showing the groups (or clusters) of Species linked to one another and constituting a cluster analysis.

The algorithm starts with the two Species that have the highest MI. The two first Species form a first vegetation unit that will be enlarged with a third Species that has the highest information with one of the Species of the group and so on till a threshold MI. The algorithm is reinitiated with the rest of the Species that are not in the first group to form a second group and so on, in order to obtain the vegetal groups VG, which may correspond to groups of characteristic species of phytosociological units of any rank. The set of methods using Fisher's exact formula is named Frequency analysis. It does not define an a priori fidelity threshold for a species to be differential taxon between species groups but it let the frequency analysis determine few species to be hierarchically representative of vegetation groups.

2.1.2 FINDING RELEVÉS GROUPS (RG)

The same cluster analysis as for the VG search, gives RG clusters. The same process applied to find vegetal groups is applied to find relevés groups, transposing the species/relevés matrix. While searching for VG is computing the frequencies of species' co-occurrences in all the relevés, searching for RG is computing the frequencies of similarities of relevés for all species.

The method described upwards is a generalization of the traditional table's lines and columns interpretation made by hand by the first phytosociologists in order to find the VG groups. It permits to give relation between vegetation groups and relevés groups.

2.2 CONSTRUCTING THE CONSTELLATION

From the matrix of data where lines are the species and columns the relevés, the function "Constel" extract all the sub-matrices whose lines are the species of a VG or species cluster and whose columns are the relevés of a RG or relevés cluster. Each of these sub-matrices is a "Star" in the constellation constituted by the set of all Stars. For each Star, the density is the percentage of presences of the species in the sub-matrix.

For example, the VG n° 20 contains 5 species (whose total number of presences in the whole sample is in parentheses): *Astragalus angustifolius* (25), *Festuca varia* (61), *Cerastium banaticum* (13), *Trinia frigida* (4), *Jurinea consanguinea* (1). It gives a star with the relevés of RG n° 29, whose characters are:

Relevé rank	Altitude (m)	Geology	Soil granulometry	Rock cover % class	Shrub cover %
2636	1800	Limestone	Argilous	25-50	40
2638	1800	Limestone	Argilous	25-50	40
2640	1800	Limestone	Argilous	25-50	35
2639	1900	Limestone	Argilous	25-50	40
3323	1400	Silicious	Argilous	50-75	0

The sub-matrix or Star is

Relevés					Species
2636	2638	2640	2639	3323	
1	1	1	1	0	<i>Astragalus angustifolius</i>
0	1	1	1	0	<i>Festuca varia</i>
1	1	1	1	1	<i>Cerastium banaticum</i>
1	1	1	1	0	<i>Trinia frigida</i>
0	1	0	0	0	<i>Jurinea consanguinea</i>

The density d of the Star is 37, defined as follow:

$$d=100n/(m*N) = 68$$

With:

- n as the number of presences of the VG's species,
- m as the number of the RG's relevés,
- N as the number of the species'VG
- Density ranges from 0 to 100 and measures the strength of the link between the VG and the RG.

Almost all the relevés are from the Ossa mount but the last one is from the Kato Olympos mount, at 23,5 km. This is interesting because it means that the RG does not exist only by geographic proximity of the relevés, but also because of environmental proximity. They are in quite the same altitude range and soil type, but different in geology, rock and bush cover. That is normal because the strength of the link between the relevés and also between the species weakens along the relevé or specie's rank in the cluster. Let's remark also that the two last species in the VG are only present in the RG n° 29, that weakens the link between them and the first VG's species (a low frequency enhances the hazard in the links). In the VG presentation we give the mutual information (the link) between the species.

To present the "Stars" in one result table we have selected the 21 first VG (Clusters) of the cluster analysis and these VG are represented by their rank in the cluster analysis as table's columns where the RG are in lines with their rank in their cluster analysis.

We did not present the Stars where only one species is present because these species are often ubiquist and not especially attached with a particular habitat type.

The calculations have been processed through ECHO database' software of the Montpellier's Institut de Botanique which uses Dyalog progiciel and can be provided mailing to migodron@wanadoo.fr.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 RESULTS TABLE OF RELEVÉS GROUPS (RG) VERSUS VEGETATION GROUPS (VG)

We present downwards a table where the lines represent the RG and the columns the VG.

The RG and the VG are defined by the 4th line, with, from left to right:

The rank number of the RG. This rank is the one of the cluster analysis.

The number of the relevés in the RG

The mean of the shrub cover % in the RG (Shrub %)

The mean of the classes' lower rock cover % in the RG (Rock %)

The principal granulometry type and (after the comma) the secondary granulometry type (Gran)

(Arg = Argilous)

The principal geological substrate and (after the comma) the secondary geological substrate (Geol): All = Alluvions, Cos = Silicious Colluvions, Det = Tertiary deposits, Fly = Flysches, G&G = Gneiss and Granits, Lim = Limestones, Mar = Marbles, Sch = Schists, Ser = Serpentine, Sil = Other silicious.

The altitude range in meters (Alt)

The rank number of the VG. This rank is the one of the cluster analysis.

At the intersections of the RG line and the and the VG column lines is indicated the density of the Star, as defined upwards. Density ranges from 0 (minimal) to 100 (maximal).

The 2th line of the table indicates the phytosociological order and the habitat code associated with the VG, as discussed forward.

The table has been arranged to show the altitudinal succession of the VG.

RELEVÉS GROUPS		Environmental variables					VEGETATION ORDERS AND HABITAT CODE																											
							Festuco-Brometalia 62A0		Erico-Pinetalia 5210		Festuco-Brometalia 62A0					Phragmitetalia 7140		Daphno-Festucetalia 6170		Daphno-Festucetalia 4090			Daphno-Festucetalia 6170					Erico-Pinetalia 4060		Phragmitetalia 7230		Nardetalia 6230		
No	Relevés Number	Shrub %	Rock %	Gran	Geol	Alt	1	12	2	19	13	8	14	15	10	16	21	17	9	18	20	4	5	11	7	3	6							
40	3	0	0	Arg	All	500	16	57																										
68	2	0	0	Arg	All	500	10	29																										
48	2	0	0	Arg	Mar	600	30																											
27	3	55	12,5	Arg	Mar	600	20		60																									
32	2	0	0	Arg	Mar	600	13	43																										
23	4	0	12,5	Arg	Mar	600	43																											
39	5	0	10	Arg	Mar	600-700	21																											
15	10	0	7,5	Arg	Mar	600-700	47																											
6	2	0	0	Silt	Det	600-700	17						33																					
22	4	0	12,5	Arg	Mar	600-700	45																											
26	13	0	27,3	Arg	Mar	600-700	34				27																							
10	2	55	12,5	Arg	Mar	600-700	20		80																									
2	4	7,5	50	Silt	G&G	600-900				97	100																							
20	5	0	1	Arg, Silt	Mar, All	600-1000	19	31				11	20																					
19	8	0	0	Silt, Sand	Lim, Det	600-1100	18				75	63	19	17																				
11	9	0	3	Silt, Arg	Lim-Det	500-1500					83	30	41	63	22																			
8	19	53	7	Arg, Silt	Mar, G&G	600-1500	15		65																									

[illegible]

3.2 DISCUSSION

The analysis of the Stars's table showed quite clear relations between vegetation groups and environmental variable classes. The vegetation groups are sorted as follow (with mutual information between species in parentheses) by cluster analysis between the species.

3.2.1 WET GRASSLANDS OF HIGH MOUNTAIN (1700-2100M) ON ACID SUBSTRATE

VG 3: *Geum coccineum* (73), *Veratrum album* (63), *Eriophorum latifolium* (54), *Myosotis nemorosa* (45), *Deschampsia cespitosa* (45) *Galium palustre*

VG 16: *Carex echinata* (36), *Carex flava* (36), *Sphagnum subsecundum*.

The VG 3 has been found in 7 relevés (RG 36) characterized as "Alkaline fens" (habitat type 7230) in the Voras mounts (on the North Macedonian border), although they are on gneiss substrate for 5 of 7 relevés, and on alluvions for the two others. It has been found also on schists (3 relevés, RG 14) with the same habitat code. Perhaps it should be better to give another name and habitat code for the stands with this VG because the indicated typical species in the interpretation manual of European Union Habitats ("eur28", 2013) [14] description for the Alkaline fens habitat 7230 are not these of the VG 3 with exception of *Eriophorum latifolium*. The altitude ranges from 1700 to 2100m. The greek Natura 2000 network (Dafis, 2001) orders this VG into the Magnocaricion (*Phragmitetalia*). This VG (3) has been found also in four VG (51, 53, 58, 63) on Gneiss or granite with habitat code 6430 ("Species-rich *Nardus* Grasslands, on silicious substrates in mountain areas") referred downwards.

The EUR28 notice that these wet grasslands may form part of the fen system, with communities related to transition mires that is the habitat type of the VG 16 "Transition mires and quaking bogs" (7140), found in 5 relevés (RG 28) with 3 species of the VG 3 (*Geum coccineum*, *Eriophorum latifolium*, *Myosotis nemorosa*), also on the Vorras mount at an altitude from 700 to 1800 m (only one relevé at 700m, on pit). This habitat is extinct in several regions and gravely endangered in most regions.

3.2.2 DRY GRASSLANDS OF HIGH MOUNTAIN (1800-2400M) MAINLY ON ACID SUBSTRATE

VG 6: *Deschampsia flexuosa* (58) *Nardus stricta* (46) *Luzula spicata* (34) *Trifolium parnassi* (31) *Bellardiochloa variegata* (25) *Phleum alpinum* (24) *Agrostis castellana* found in 5 relevés on schist on the Tzena mount (on the North Macedonian border), one on Granito-gneiss on the Vernon mount (western Macedonia, RG U) and in 3 relevés on gneiss on the Vorras mount (RG AY). They range from 1800 to 2400m

The relevés in which the VG. 6 is living have been characterized as "Species-rich *Nardus* Grasslands, on silicious substrates in mountain areas" (habitat type 6230). It is ordered in *Trifolium parnassi* (*Trifolietalia*) In the Greek Natura 2000 network (Dafis, 2001). Following Quezel (1967) this VG can also be identified as the association with *Nardus stricta* and *Luzula spicata*. In the general Natura 2000 network (EUNIS Factsheet) it is mentioned as "Closed, dry or mesophile, perennial *Nardus* Grasslands occupying siliceous soils in Atlantic or sub-Atlantic or boreal lowland, hill and montane regions of middle and northern Europe and western Iberia". Quezel (1964) [15] noticed that in the south Greece mountains some little surfaces of this association can be encountered on limestone substrate, but with entirely decalcified soil.

3.2.3 DRY GRASSLANDS OF HIGH MOUNTAIN MAINLY ON BASIC SUBSTRATE

VG 4: *Carex kitaibeliana* (65) *Festuca koritnicensis* (28) *Leontodon crispus* (27) *Asperula aristata* (22) *Minuartia attica* found in 6 relevés on marbles and one on dolomite on the Tzena mount (RG G), characterized as "Calcareous rocky slopes with chasmophytic vegetation" (habitat type 8210), and in 5 relevés on limestone (RG D, only for *Carex kitaibeliana*, *Festuca koritnicensis* and *Asperula aristata*), all on the Tzena mount, characterized as "Alpine and subalpine calcareous Grasslands" (habitat type 6170), together with the following VG. 11 (for *Gentiana verna*, *Sesleria robusta*, *Anthyllis vulneraria* and *Thymus longicaulis*).

VG 5: *Saxifraga scardica* (59) *Thymus boissieri* (41) *Sesleria tenerrima* (31) *Carum appuanum* (22) 5 *Saxifraga paniculata* (20) *Sedum album* found in the same 5 upwards relevés on limestone characterized with the code 6170 and the same 6 relevés on marble, characterized as 8210, both on the Tzena mount.

VG 11: *Gentiana verna* (40) *Sesleria robusta* (29) *Anthyllis vulneraria* (29) *Thymus longicaulis* (28) *Helictotrichon aetolicum* (18) *Hypericum barbatum* found in 2 relevés on limestone and one on schist characterized 6170 on the Tzena mount together with the VG 4 (only for *Gentiana verna*, *Sesleria robusta* and *Thymus longicaulis*).

These three VG have been found at altitudes of 1700 to 1900m, although the species of the VG 4 can be found till 2100 m and those of the VG 5 can be found till 2200. This is explained by the absence of relevés on limestone higher than 2000 m and on marbles higher than 2100 m. They are encountered on land that can be covered by 50% rocks, especially the VG 4 and 5. They have been characterized as habitat type 6170 "Alpine and subalpine calcareous grasslands" and ordered by Dafis et al. (2001) in the Daphno-Festucetalia and also, for the VG4 and 5, as habitat type 8210 "Calcareous rocky slopes with chasmophytic vegetation" in some relevés (RG 63).

The Natura 2000 network characterize the 6170 habitat as alpine and subalpine vegetation of Alps, the Carpathians, the Pyrenees, the mountains of the Balkan peninsula and the Mediterranean mountains. We can assume that the VG 5 should be the most representative of the

Daphno-festucetalia order on rocky basic surfaces (limestones, marbles and dolomite, confirmed by the characterization as 8210 (Calcareous rocky slopes with chasmophytic vegetation). The VG 5 corresponds to the association with *Sesleria coerulens* (*Sesleria tenerrima* = *Sesleria coerulans* var. *tenerrima* Fritsch) and *Thymus boissieri* of the Astragalo-seslerion alliance (Quezel, 1967). Let's notice that the relevés noted 8210 where the VG 4 and 5 have been found has slopes that do not exceed 27° (<50% slope). That means that cattle can browse the vegetation. This can explain why none of the present VGs include typical species of the 8210 habitat type according to the Eur 28 definitions. The VG 5 is most represented on marbles and dolomites but can be found also on acid substrate. The VG 11 has also a larger possibility to be found on silicious and serpentine substrate, but with less rocky surfaces than the two others.

3.2.4 SHRUBLANDS OF HIGH MOUNTAIN MAINLY ON ACIDIC SUBSTRATE

VG 7: *Juniperus communis* ssp. *nana* 56 *Vaccinium myrtillus* 43 *Bruckenthalia spiculifolia* 9 *Bupleurum gerardi* 5 *Dianthus deltoideus* 5 *Festuca hirtovaginata*

The VG.7 is codified in the relevés from the Tzena and Vorras mounts with the code 4060 which means "Alpine and boreal heaths". They are found on schists and gneiss and range from 1600 to 2100m. Dafis and al. (2001) ordered this habitat type in the Erico-Pinetalia.

They are mentioned in the Eur28 interpretation manual as small, dwarf or prostrate shrub formations of the alpine and sub-alpine zones of the mountains of Eurasia dominated by ericaceous species, *Dryas octopetala*, dwarf junipers, brooms or greenweeds. In the Carpathians, the Balkan Range, the Pontic Range, the Caucasus and the Himalayan system, they are often with *Vaccinium* spp., sometimes with dwarf pines.

3.2.5 LOW SHRUBLANDS OF HIGH MOUNTAIN MAINLY ON BASIC SUBSTRATE

VG 20: *Astragalus angustifolius* 30 *Festuca varia* 23 *Cerastium banaticum* 20 *Trinia frigida* 7 *Jurinea consanguinea*. This VG has been found in an RG of the Ossa mount, one relevé from The Kato Olympus mount (Thessaly) and from the Tzena mount in the same relevés with the VG 4 and VG 11.

VG 18: *Erysimum microstylum* 30 *Marrubium thessalum* 18 *Daphne oleoides* 16 *Asyneuma limonifolium* 16 *Poa thessala* 7 *Thymus teucrioides* 5 *Festuca jeanpertii* 5 *Linaria peloponnesiaca*. This VG has been found in two RG from the Ossa mount together with the VG 20.

These VG range from 1300 to 1900m. They grow on around 25% rocky ground. The given habitat code number is 4090 "Endemic oro-Mediterranean heaths with gorse". This habitat type is ordered in the Daphno-Festucetalia by the Eur28 classification. *Astragalus angustifolius*, *Daphne oleoides*, *Poa thessala*, and *Festuca jeanpertii* are cited in this order by this classification. Dafis et al. (2001) order also them in the Daphno-Festucetalia. *Astragalus angustifolius* and *Sesleria tenerrima* characterize together the association Marrubio thessali - Astragaletum angustifolii cited by Quezel (1967) as member of the Eryngio-bromion alliance on the Mount Olympus, that has been found also on the Oiti mount [16]. But in the sample that we have processed, the two last species are separated in two VG. In fact, these VG are in the same dynamic sequence with the ones of the habitat 6170. It is the same large group with differences in the cover of spiny shrubs like *Astragalus angustifolius*. The difference between the two VG is that the VG 20 has been found not only on argilous soil, but also on silty, even sandy, with bush and rocky surface cover under 10%. Let's remark that *Festuca varia* characterizes another association of the same alliance, the one with *Festuca varia* and *Marrubium velutinum* (Quezel, 1967). Also, the VG 20 has been found at higher altitude than the 18.

3.2.6 INTERMEDIATE ALTITUDE GRASSLANDS ON BASIC SUBSTRATE

VG 17: *Dianthus petraeus* 32 *Hieracium pannosum* 21 *Vincetoxicum hirundinaria* 18 *Stipa pennata* 16 *Helianthemum nummularium* 16 *Sedum urvillei* 16 *Onobrychis montana* 14 *Linum elegans* 8 *Anthyllis aurea* 7 *Bromus riparius* 7 *Haplophyllum balcanicum* 6 *Sanguisorba minor*

VG 9: *Sesleria rigida* 45 *Thymus praecox* 34 *Thymus thracicus* 26 *Draba lasiocarpa* 25 *Bromus cappadocicus* 22 *Teucrium montanum* 9 *Thlaspi praecox* 8 *Genista carinalis* 7 *Centaurea salonitana* 7 *Plantago arenaria*

VG 10: *Achillea millefolium* 40 *Festuca valesiaca*

VG 21: *Achillea holosericea* 29 *Alyssum montanum* 17 *Thalictrum minus* 9 *Erysimum drenowskyi* 8 *Eryngium creticum*

They range from 1100 to 1700m (one relevé at 800m for the VG10). The VG 17 has been found in codified stands as 6170 (see definition upwards) and should be then ordered in the Daphno-Festucetalia, but this is not so clear for the others. The VG10 have been found in relevés characterized with the habitat code 62A0 that means "Eastern sub-mediterranean dry grasslands (*Scorzoneralia villosae*)". It has been found on serpentine in 4 of 11 relevés on the Vourinos mount where the remaining substrate of the relevé group is mainly silicious. On other mountains (Falakro, Vermio), the substrate is mainly limestone. The VG 9 has been found in relevés characterized with code 62A0, that means "Eastern sub-mediterranean dry grasslands (*Scorzoneralia villosae*)" in the relevés from the Falakros mount (with exception of one relevé noted 8210 "Calcareous rocky slopes with chasmophytic vegetation"), but the relevés from the Pangeo and Menikion mounts have been codified 6170 "Alpine and subalpine calcareous grasslands".

The habitat type with code 62A0 is defined as follow in the Eur28 interpretation manual: Xeric grasslands of the sub-Mediterranean zones of Trieste, Istria and the Balkan peninsula, where they coexist with steppic grasslands of the Festucetalia valesiaca (6210), developing in areas

of lesser continentality than the latter and incorporating a greater Mediterranean element. It includes the *Chrysopogono-Centaureetum cristata* community.

The species of the VG 17 take part of the Festuco-Bromion, as it appears in the European classification, but *Stipa pennata* is assumed to be typical of the habitat type 6170 and *Hieracium pannosum* typical of the *Betula pendula* woods (91K0, Daphis 2001), so let's assume that they can be part of the Daphno-Festucetalia, but especially on limestone and non-argillic soils (see profiles). That can explain its presence at rather low altitude, the light soil (non-argillic) can have a better hydric reserve than the argillic because of restrained evaporation in hot season. Furthermore, Quezel (1964) placed *Stipa pennata* as characteristic of the Stipeto-morinion alliance, that is the lowest just after the tree limit (1500m).

The VG 9 has also a quite large altitude range but more especially on limestone and on argillic soil. Half of its species are cited to be part of the European classification's Festuco-Bromion, but in Greece they are cited as typical species of high mountain pastures (6170, 6230). So we should assume that the VG 9 is also part of the Daphno-Festucetalia, especially on limestone and rocky surface soils (see profiles). This does not forbid this VG to leave together with VG of the Festuco-Bromion in intermediate altitudes, as VG 9 is adapted on difficult argillic soils that can lose their water storage more rapidly in summer than lighter soils.

The VG 21 can also be found at middle altitude (1100 m) on limestone substrate, with more than 25% rocky surface and not on argillic substrate. Although *Alysum montanum* and *Thalictrum minus* are in the European list of the Festuco-Brometalia's characteristic species, this VG has been noted as 6170 habitat type "Alpine and subalpine calcareous grasslands" (of the Daphno-Festucetalia) in the 2014-2015 relevé campaign. So, let's assume that the VG 21 belongs to the Daphno-festucetalia.

Although the VG 10 (*Achillea millefolium* & *Festuca valesiaca*) is most frequent on limestone it is particularly present on serpentine (RG 3). It occurs also on acid geological substrates. *Festuca valesiaca* is part of the characteristic species of the Festuco-Brometalia as found in the European and Greek phytosociological classification (Dafis et al., 2001).

3.2.7 GRASSLANDS OF RATHER LOW ALTITUDE

VG 19: *Allium sphaerocephalon* 30, *Alyssum minus* 30, *Avena sterilis* 30, *Hypericum olympicum*

VG 8: *Carex caryophyllaea* 46 *Scabiosa columbaria* 31 *Eryngium campestre* 29 *Medicago minima* 27 *Allium flavum* 26 *Potentilla argentea* 15 *Hieracium macranthum*

VG 13: *Chrysopogon gryllus* 39 *Poa bulbosa* 4 *Armeria rumelica*

VG 15: *Dianthus gracilis* 36 *Satureja pilosa* 35 *Artemisia alba*

VG 14: *Koeleria cristata* 36 *Minuartia verna* 32 *Potentilla detommasii* 16 *Thesium alpinum* 11 *Thesium divaricatum* 5 *Viola macedonica*

VG 1: *Stipa capillata* 83 *Teucrium capitatum* 74 *Helianthemum salicifolium* 48 *Xeranthemum inapertum* 47 *Dichanthium ischaemum* 45 *Melica ciliata* 39 *Crupina crupinastrum* 29 *Thesium humile* 28 *Allium pallens* 28 *Verbascum pulverulentum* 26 *Scabiosa webbiana* 23 *Satureja montana* 23 *Centaurea grisebachii* 17 *Lomelosia argentea* 5 *Verbascum graecum*

VG 12: *Artemisia campestris* 39 *Erysimum diffusum* 27 *Chondrilla juncea* 16 *Petrorhagia illyrica* 14 *Thymus sibthorpii* 6 *Achillea chrysocoma* 5 *Paronychia rechingeri*

They range from 500 to 1500m (1800m for *Koeleria cristata*). The substrate is mainly basic, but it is frequently of tertiary deposits and alluvions. They are mainly on argillic soils with a substantial amount of rocky surface between.

The VG 1 has been sometime noted in relevés with code 6220: "Pseudo-steppe with grasses and annuals of the Thero-Brachypodietea", that is a eu-mediterranean group in the bioclimatic classification, and sometime, on the same substrate, with code 62A0, that means "Eastern sub-mediterranean dry grasslands (*Scorzoneralia villosae*)". But this VG is linked to the VG 9 (with altitude range from 1100 to 2000m) in the cluster analysis between the VGs. The VG 9 is clearly not eu-mediterranean and by its floristic composition can be included in the oromediterranean bioclimatic storage. Also, the trees of the site where the relevés have been noted as 6220 are *Quercus trojana*, that is ordered in the Quercetalia pubescenti-petraea in Dafis et al. (2001). At last, *Melica ciliata*, that is in the VG 1 is one characteristic of the Stipeto-morinion of the Daphno-festucetalia (Quezel, 1964, Musarella et al., 2020). All the others VGs of this groupments' group (1, 8, 12, 13, 14, 15) have been found in relevés characterized with the habitat code 62A0. Only the VG 14 has been characterized with a habitat code, that is 6170 "Alpine and subalpine calcareous grasslands" only for one relevé at 1800 m, and has the strongest link with the VG. 9 in the groupments' Group. So, it is logic to attribute to this groupment's group the habitat code 62A0. Their floristic composition conducts us to ordinate this groupment's group in to the Festuco-Brometalia.

The first species of VG 8 are cited as characteristic ones of the upwards order in the Eur28 classification. This VG is not tightly link with a particular substrate, so it can represent generally the order. The VG 13 (*Chrysopogon gryllus* and *Poa bulbosa*) can be found in the same RG with VG 8 and its species are also among the ones of the Festuco-Brometalia but at a lower altitude and especially on tertiary deposits and marbles at least for *Chrysopogon gryllus*.

The VG 15 Can be found in the same RG with the VG 8, but especially on argillic soils.

The VG 14 also can be found in the same RG with the VG 8, but especially on limestone, tertiary deposits and serpentine.

The VG 1 is particularly localized on marbles at the lowest altitude of the sample, at the same site (Vegoritida and Petron lakes). It can be found also on alluvial and tertiary deposits.

The VG 12 is found on the same RG as the VG 1, especially on alluvions and colluvions, without rocky surfaces.

Last, the VG 19, although its species are very common, is very local.

The Festuco-brometalia were associated with the Natura habitat type 6170 when there were not yet 62A0. The last code has been attributed after the balkanic countries other than Greece interred in the UE. 6170 refers to "Semi-natural dry grasslands and scrubland facies on calcareous substrates (Festuco-Brometalia)" and are "present in almost the entire European continent".

3.2.8 SHRUBLANDS ON MIDDLE ALTITUDE

VG 2: *Fumana procumbens* 73 *Juniperus oxycedrus* 43 *Silene radicata* 36 *Euphorbia myrsinites* 23 *Acinos alpinus*

This VG has been codified 5210 "Arborescent matorral with *Juniperus* spp." This VG range from 600 to 1500m, mainly on marble (Vegoritida lake) and limestone, but also on gneiss on the Titarios mount. Let's remark the high rate of shrubs in this VG. It is encountered in the same RG as the VG 1. They are ordinated in the Quercetalia pubescenti-petraea in Dafis et al. (2001), and more precisely in the Erico-Pinetalia order.

4 CONCLUSION

Our study shows the pertinence of Natura 2000 habitat types because it can be linked to environmental variable's classes.

For example, an altitude around 1500m has been found to be a limit between, **downwards**, the habitat types 62A0 "Eastern sub-mediterranean dry grasslands (*Scorzonetalia villosae*)" and 5210 "Arborescent matorral with *Juniperus* spp." and, **upwards**, the habitat types 6170 "Alpine and subalpine calcareous grasslands", 4090 "Endemic oro-Mediterranean heaths with gorse", 4060 "Alpine and boreal heaths" and 6230 "Species-rich *Nardus* Grasslands, on silicious substrates in mountain areas". This limit corresponds also to the limit given in Mountousis et al. (2022) [17] between "mountainous and "subalpine grasslands", these authors founding the last more productive.

Our results showed also the tight link between the Daphno-Festucetalia and limestone and confirmed the tight bond between the Nardetalia and acidic substrat. For the Festuco-Brometalia the substrate is mainly basic, but it is frequently of tertiary deposits and alluvions.

Our study confirms also the links between habitat types and phytosociological taxa at order level:

- The habitat type 62A0 "Eastern sub-mediterranean dry grasslands" corresponds to Festuco-brometalia.
- The habitat types 6170 and 4090 correspond both to Daphno-festucetalia
- The habitat type 6230 corresponds to the Nardetalia
- The habitat types 7140 and 7230 correspond both to the Phragmitetalia
- The habitat types 5210 and 4060 correspond both to the Erico-pinetalia.

Concerning the lower levels of the phytosociological classification, it was possible to find a correspondence between the VG5 (*Saxifraga scardica*-*Thymus boissieri*-*Sesleria tenerrima*) and one association from Quezel (1967, 1973), the association with *Sesleria coerulens* (*Sesleria tenerrima* = *Sesleria coerulans* var. *tenerrima* Fritsch) and *Thymus boissieri* of the Astragalo-seslerion alliance.

It was not possible to do this for any other association or alliance for a reason explained by Musarella et al. [18] who have stated that "the species proposed [by Quezel] as characteristics of the alliances are distributed indifferently in all three syntaxa, often with high frequency values. Therefore, it can be easily deduced that a single association cannot be clearly and unambiguously attributed to a specific alliance."

So, at the alliance and association level, it would be very interesting to give ecological significance to the Greek mountain rangelands phytosociological taxa defined by Quezel, but also to those, numerous, defined by Musarella.

REFERENCES

- [1] Hadjigeorgiou, I., Past, present, and future of pastoralism in Greece. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 1: 24, 2011.
- [2] Kiziridis D., Mastrogrianni A., Pleniou M., Xystrakis F., Karadimou E., Tsiptsis S. Tsiripidis I., Land use abandonment in sub-mountainous areas of the Ioannina county. *Proceedings of the 10th Panhellenic Rangeland Congress*. Hellenic Range and Pasture Society – HERPAS. Thessaloniki, 2022.
- [3] Bernués, A.; Ruiz, R.; Olaizola, A.; Villalba, D.; Casasús, I., Sustainability of pasture-based livestock farming systems in the European Mediterranean context: Synergies and trade-offs. *Livest. Sci*, 139, 44–57, 2011.
- [4] Tsiaras S., The role of rangelands in the National Forest Strategy and the E.U. Common Agricultural Policy. 2021-2027. *Proceedings of the 10th Panhellenic Rangeland Congress*. Hellenic Range and Pasture Society – HERPAS. Thessaloniki, 2022.

- [5] Vrahnakis, M., Kazoglou Y., Fotiadis G., Chouvardas D., Papaporfyriou P., Nasiakou S., Kotsios L., Ambas V., Incorporating Natura 2000 habitat types into pasture management plans. *Proceedings of the 9th Panhellenic Rangeland Congress*. Hellenic Range and Pasture Society – HERPAS. Thessaloniki, 2018.
- [6] Dimopoulos P., I., Tsiripidis, F., Xystrakis, A., Kallimanis, M., Panitsa., Monitoring method and habitat conservation status assessment in Greece. Environment and Sustainable Development National Center. Athens (in Greek), 2018.
- [7] Dafis, S., Papasteriadou, E., Lazaridou, T., Tsiafouli, M., Αναγνώριση και περιγραφή των τύπων οικοτόπων σε περιοχές ενδιαφέροντος για τη διατήρηση της φύσης. Technical guide for cartography. Ministry of Environment, Thessaloniki, 2001.
- [8] Quezel P., La végétation des hauts sommets du Pinde et de l'Olympe de Thessalie. *Vegetatio* 14 (1-4), p.p. 127-228, 1967.
- [9] Tsiripidis, F., Xystrakis, A., Kallimanis, M., Panitsa and P. Dimopoulos, A bottom-up approach for the conservation status assessment of structure and functions of habitat types, *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 2018.
- [10] Tsiripidis I., Bergmeier E., Fotiadis G., Dimopoulos P., A new algorithm for the determination of differential taxa. *J Veg Sci* 20: 233–240, 2009.
- [11] Bendali, F., Nellas, N., Conservation status assessment method for habitat types at Site of European Community Interest scale, *International Journal of Innovation and Applied Studies* Vol. 17 No. 2, pp. 548-555, 2016.
- [12] Godron, M., «Application de la théorie de l'information à l'étude de l'homogénéité et de la structure de la végétation», *Oecol. Plant.*, vol. 2, pp. 187-197, 1966.
- [13] Godron, M., Andrieu, J., Mise en évidence statistique d'un continuum a facettes dans les Baronnies, in F. Alexandre et A., Genin, Continu et discontinu dans l'espace géographique, Tours: Presses universitaires François Rabelais, pp. 145-170, 2008.
- [14] Habitat Committee, The Interpretation Manual of European Union Habitat-EUR28. European Commission DG Environment. Nature ENV B.3, 2013.
- [15] Quezel P., Végétation des hautes montagnes de la Grèce méridionale. *Vegetatio* XII, 5-6, 1964.
- [16] Karetzos, G., Μελέτη της οικολογίας και της βλάστησης του όρους Οίτη. Thèse de doctorat, Université de Patras, 421 p., 2002.
- [17] Mountousis, I., Yiakoulaki, M., Koidou, M., Dots, V., Banitsiotis, St., Papanikolaou K., Herbage production and energy value of the Prefecture of Florina's grasslands. *Proceedings of the 10th Panhellenic Rangeland Congress*. Hellenic Range and Pasture Society – HERPAS. Thessaloniki, 2022.
- [18] Carmelo Maria Musarella C.M., Brullo S. and Giusso del Galdo G., Contribution to the Orophilous Cushion-Like Vegetation of Central-Southern and Insular Greece. *Plants*, 9 (12), 2020.

Les Notes de route: « une esthétique de l'existence »

Mustapha Charfaoui and Hafida El Mderssi

Centre d'études Doctorales «Homme - Société - Éducation», Faculté des sciences de l'Éducation,
Université Mohamed V, Rabat, Morocco

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

RESUME: Le voyage en tant qu'acte de déplacement est une activité humaine qui frise le besoin. Cette constante culturelle constitue la toile de fond des œuvres depuis l'antiquité, en passant par le voyage d'Ulysse, les voyages des chevaliers, des explorateurs, des missionnaires, des romantiques etc. Pour l'âme humaine, le voyage est d'une nécessité irrévocable car il est une source méritoire d'apprentissage comme l'affirme H. Miller: « *Une destination n'est jamais un lieu, mais une nouvelle façon de voir les choses* » (Miller, p. 40). C'est ce que nous montre encore le voyage effectué par Isabelle Eberhardt que nous allons découvrir à travers son ouvrage *Notes de route: Maroc, Algérie, Tunisie*, sorte d'odyssée saharienne. Notre but sera atteint si nous montrons en quoi cette œuvre, objet de tant de lectures et de critiques, fait foi de prolixité en se repliant sur des territoires inexplorés semblables aux terres australes. Pour une réponse calibrée, notre étude emprunte deux voies à jamais impensables. Dans un premier temps, il est intéressant d'approcher le genre de cette œuvre et le mesurer à l'aune de la profession journalistique de l'écrivaine et l'hégémonie de son *aisthesis*. Partie consacrée à la mise en scène en tant que lieu textuel de « pactisation » autour de la *parrësia* du narré, qui décèle l'achoppement de ce procédé sur le sillon des impressions impossible d'outre-passager. Prises en charge par des micro-récits phénoménologiques, les effusions, manifestation subjectives du moi intime, jouent en défaveur de ce contrat de lecture. Le deuxième pan semble être l'enjeu majeur de notre étude. Le texte nous livre en quoi tracer une expérience d'investissement dans une « *esthétique de l'existence* », accent incantatoire de l'œuvre, menée à travers la quête de l'identité et de l'authenticité ontologique.

MOTS-CLEFS: Récit de voyage, pactisation, objectivité, impression, *esthétique de l'existence*, projet identitaire, quête ontologique.

1 INTRODUCTION

Le livre V de l'*Émile* de Rousseau tourne autour de l'une des questions les plus enracinées dans l'histoire de la pensée à savoir « la question du voyage ». Il s'agit là précisément de voir le voyage comme partie intégrante dans le corps pédagogique servant comme dispositif à l'éducation du jeune Emile. C'est l'un des lieux communs des réflexions qui n'ont cessé de multiplier les avantages du voyage que nous n'étayons pas en détails ici, mais il serait quand même important d'avancer l'une des citations les plus connues qui résument les bienfaits du voyage: « *Le voyager me semble un exercice profitable. L'âme a une continuelle excitation à remarquer des choses inconnues et nouvelles, et je ne sache point meilleure école, comme j'ai dit souvent, à former la vie, que de lui proposer incessamment la diversité de tant d'autres vies, fantaisies et usances, et de lui faire goûter une si perpétuelle variété de formes de notre nature* » (Montaigne, III, 9) Cette citation érigée au niveau d'un aphorisme aura sa pleine confirmation dans le récit de voyage d'Isabelle Eberhardt: Odyssée saharienne à diverses facettes. Dès lors, la question suivante s'impose d'elle-même: en quoi cette œuvre, objet de tant de lectures et de critiques, fait foi de prolixité en se repliant sur des territoires inexplorés semblables aux terres australes. Problématique que nous allons tenter d'approcher à partir de deux axes de recherche qui, dans leur diversité et leur complémentarité, sont à même d'apporter quelques éléments de réponse. Dans un premier temps, il est intéressant d'interroger le genre de cette œuvre tiraillée entre la profession journalistique de l'écrivaine et l'hégémonie de son *aisthesis*. Autrement dit, il s'agit de voir en quoi la mise en scène, en tant que lieu textuel, témoigne d'une « pactisation » latente autour de la *parrësia* indispensable à la mission de la narratrice, et déceler comment ce procédé bute sur le siège de l'éprouvé affectif qui, balisé par le récit phénoménologique, porte atteinte à cette pactisation.

Ce n'est là qu'une ébauche de notre analyse qui, pour arriver à bon port, nécessite un autre coup de pinceau relatif à la liaison légitime des résonnances de ce voyage à une « *esthétique de l'existence* », secret abyssal de l'œuvre, menée à travers la quête de l'identité et par extension de l'authenticité ontologique.

2 LES NOTES DE ROUTE, ENTRE PROFESSION JOURNALISTIQUE ET HÉGÉMONIE DE L'AISTHESIS

Avant de commencer, il revient à noter deux éléments. D'un côté, l'écrivaine est une journaliste-reporter engagée par le journal *l'Akhbar* et la *Dépêche algérienne* à l'occasion de la guerre d'El Mounkar. De l'autre côté, le récit de voyage est l'un des genres les plus polymorphe et ambigu dans la mesure où: « *ce genre « multiforme » (...) comporte des matériaux d'analyse précieux car ils véhiculent des témoignages directs ou indirects, rapportés sur le vif ou différés, se présentant sous forme de journaux de bord, de correspondances, d'essais, de dialogues rapportés, au style descriptif, impersonnel ou bien lyrique, rhétorique, etc.* » (Gohard-Radenkovic, p.82). Sans nous attarder sur cette question d'hybridité inhérente au genre, il importe de faire une analyse de la relation de l'écrivaine aux propos disséminés, de manière disparate mais conclusive, dans son témoignage. Vu que le genre en question soustrait à la catégorie générique du la fiction en se revendiquant comme référentiel, la question de la véracité s'impose d'elle-même comme légitime. De ces deux remarques placées de front découle la question suivante: Dans quelle mesure les propos d'Isabelle sont en concordance avec la réalité telle qu'elle est ? Pour répondre, implicitement bien entendu, l'écrivaine emprunte à la littérature un procédé qui participe, dans une grande mesure, à la véracité de ses *notes de voyage*, il s'agit de le mise en scène.

2.1 LA MISE EN SCÈNE: PACTE D'OBJECTIVITÉ ET DE RÉALISME

Pour se fier à tout écrit, l'écrivain fait un contrat, explicite ou implicite, avec son lecteur à la manière du pacte autobiographique. Pour ce qui est de notre œuvre, l'écrivaine instaure indirectement la mise en scène comme dispositif de pactisation avec le lectorat sur la *parrésia* de son témoignage. Un survol de l'œuvre est suffisant pour savoir la place importante accordée à ce procédé qui ne joue pas seulement un rôle purement conventionnel-diégétique d'alternance entre *mimesis* et *diégésis*. Souvent, les écrivains optent pour la mise en scène en cas des moments-clés de l'histoire qui méritent du relief et un report au premier plan au niveau narratif, tout en faisant coïncider temps d'histoire et temps de récit: Prenons un exemple, la scène où le juif Haïm vient demander justice aux Ksouriens contre les bandits qui ont outragé sa femme: Cette scène insérée sur le mode du *mimésis* consacre l'illusion de l'immédiateté, du *hic et nunc* de la scène, puisque le temps de la narration épouse celui de la fiction. Un tel traitement de la mise en scène est réducteur et est loin de tout expliquer puisqu'il laisse échapper la dimension de la construction de *l'effet du réel*, ou *l'illusion référentielle*. L'insertion de la scène outre toute sa force de visualisation *in situ*, de détails quant aux paroles et leur mode d'énonciation (style direct, intonation, tonalité, rythme, prosodie etc.), et à la gestualité (geste vague du vieillard, son regard ardent, timidité du juif etc.), elle assure au lecteur un nouveau statut de « témoin oculaire par procuration ». En ce faisant, Il assouvit son désir scopique sous l'habillage d'une tierce instance assistant au dialogue sans aucun intermédiaire, et la lecture devient ainsi, disons-le selon la conception de Vincent Jouve du troisième régime de lecture: « *un prétexte permettant de vivre par procuration certaines situations fantasmatiques, de satisfaire des pulsions inconscientes, d'exercer un voyeurisme « légitime »* » (Reuter, p.14)

Ce vécu par procuration est profitable à l'instance écrivaine qui s'efface de la scène en minimisant au maximum possible la distance entre le texte et le lecteur, en fortifiant le rapport entre l'énonciation et ses énonciateurs, et finalement en éradiquant toute trace déictique à l'exception de quelques remarques brèves ajoutées comme supplément pour une meilleure compréhension. De cette trinité découle une volonté de consacrer le ton objectif de ce qui est dit. L'objectivité est donc assurée par l'usage délibéré de la mise en scène qui interdit toute insertion de la narratrice (par l'intermédiaire de ses fonctions communicative, métanarrative, modalisante, évaluative, idéologique...) surtout que sa mission de journaliste-reporter exige une restauration fidèle des faits. Dès lors, ce recours à la théâtralité assurée par la mise en scène est non seulement une simple pause et lieu textuel de variation au niveau des modes narratifs, elle s'avère surtout un lieu fondamental de pactisation entre la narratrice et son lectorat sur *l'alitheia* du dit.

Comme le procédé en question se déploie au gré de la progression diégétique, il serait aisé de multiplier les exemples, prenons celui-ci à l'appui de notre hypothèse. Au sahel tunisien, accompagnée du jeune Khalifa du Monastir afin de récolter les arriérés de l'impôt de capitation payée par les indigènes, La narratrice nous transpose la scène touchante entre l'un desdits autochtones et le cheikh: « *Mohammed ben Dou'! —An'am ! (Présent.) —Combien dois-tu? —Quarante francs, --Pourquoi ne payes-tu pas ?—Je suis rouge-nu Sidi. (Idiotisme tunisien pour dire fakir, pauvre.) —«• Tu n'as ni maison, ni jardin, ni rien ? D'un geste de résignation noble, le Bédouin lève la main.: —Elhal-hal Allah !" (La chance appartient à Dieu.); —Va-t'en à gauche. ', »* (Eberhardt, p.223). Cette scène obéissant aux mêmes caractéristiques sert la même volonté de fiabilité et de plausibilité. Ce qui le prouve aussi, c'est l'usage des mots en arabe dialectale qui œuvre pour l'authenticité de ce qui est narré. La récurrence de ce procédé lui assigne une fonction extratextuel qui n'est plus seulement diégétique, il s'agit de le régir comme dispositif

d'authenticité et lieu fondamental de pactisation latente sur la vérité de ce qui est dit. Pourtant, cette veine de la mise en place-confirimation de véracité est parasitée par l'une des expressions de la subjectivité du moi écrivant. Il s'agit d'une mise en avant d'une théorie d'effusions subjectives dont les cliquetis accompagnent en cadence la relation des événements.

2.2 LE MICRO-RÉCIT PHÉNOMÉNOLOGIQUE: DISTORSION DE L'OBJECTIVITÉ

Il est presque impossible d'imaginer un récit de voyage sans sa composante descriptive dans la mesure où via sa fonction *mimésique* s'opère un transfert des informations du phénomène observé- la communicabilité de l'image- quel que soit sa nature (être vivant, paysage, sentiments etc.). Parmi ses fonctions, la plus connue est celle d'ornement où les fragments descriptifs marquent une pause dans le récit comme lieu secondaire que certains attestent comme non justifié. Cette fonction « conventionnelle » est inexistante dans les relations de voyage et son insertion dans celles-ci la fait échapper à l'opprobre de son inutilité dans la mesure où ce genre d'écriture assure à la description en fondu enchaîné une place majeure dans sa macrostructure comme le montre ce passage tiré du Grand Dictionnaire Universel: « *(le genre descriptif) ne devrait survivre que dans les ouvrages où il a réellement une raison d'être, c'est que la description, à moins qu'il ne s'agisse de récit de voyage, ne doit pas faire le fond d'une œuvre, mais seulement en être l'ornement.* » (Larousse, Tome VI). Cette citation met la lumière sur le bien-fondé du processus descriptif dans la macrostructure du récit de voyage dans le sens où ce dernier exploite ses différentes fonctions et plus précisément sa fonction *narrative*. Celle-ci se cristallise manifestement dans l'exemple suivant: « *Au pied du pic arrondi du Djebel-Tefchtelt, nous trouvons le douar du makhzen d'Oued-Dermel: une vingtaine de tentes nomades basses à rayures noires et grises, aplaties sur le sol, comme tapies peureusement. Les mokhazni, recrutés un peu partout dans les fractions des Amour, sont campés là, avec femmes et enfants, pour surveiller la voie ferrée et les montagnes alentour, où se terrent les pillards. Les petits chevaux entravés entre les tentes mangent mélancoliquement des brassées de drinn. Quelques chèvres noires jouent avec les petits- enfants et les chiens qui, à notre approche bondissent, hérissés, féroces, l'œil sanglant. Un grand air de solitude et de tristesse règne autour de ce campement de soldats musulmans.* ». Ce fragment descriptif à titre illustratif est d'une charge narrative considérable, il fixe des informations sur les personnages (les mokazni) et les lieux (leur douar) fondée sur une procédure élémentaire; à savoir l'usage des adjectifs qualificatifs évaluatifs et non axiologiques « *basses* », « *petits* », « *sanglant* », de même, des adjectifs de couleur « *noires* », « *grises* », ainsi que les adverbes « *mélancoliquement* » caractérisant les verbes qui œuvrent ensemble à la mise en scène d'un tableau objectif et réel. Sur ce, il est à noter que le talent descriptif de la narratrice est hors-pair comme l'atteste l'extrait de la description du passage vers Hadjerath-M'guil faisant figure de parangon d'une ingéniosité descriptive qui reste encore à définir.

Le pan en question est une description imagée qui légitime de la désigner comme *ekphrasis* du fait que l'objet décrit est semblable à une œuvre d'art ou à une représentation iconique. Cette plume picturale œuvre pour la précision, l'objectivité et le réalisme du narré. Néanmoins, la narratrice semble parfois, dans la majorité des cas sous le charme de la nature saisissante et ensorcelante, donner libre cours à ce que nous pouvons désigner provisoirement par la « description via l'impression ». Il s'agit d'un processus qui est la base d'une double opération respective d'intériorisation et d'extériorisation; puisque la description est la rencontre de deux systèmes sémiologiques à savoir celui de la vision (intériorisation) et celui de la parole (extériorisation). Cette dernière est proférée sous forme d'impression et le lecteur sent que le la décrit ne forme pas à proprement parler le contenu de la parole mais c'est l'affect que ce décrit suscite qui est véhiculée par l'acte langagier. D'une façon plus tranchante, la narratrice semble de temps en temps ne pas transmettre autant une vision sur le phénomène décrit et sa photographie brute que la perception intime déclenchée par ce phénomène. Prenons l'exemple de la tentative d'attaque des pillards dans le Sud-Oranais où la narratrice avance que: « *La sensation que j'éprouve n'est pas de la peur; mais toute cette mise en scène, tout ce vacarme des chiens, avec ces gens qui nous en veulent, qui sont là, dans la nuit, tout près et qu'on ne voit pas, tout cela produit sur moi une bizarre impression de rêve un peu trouble. Pourtant, je sens le désir enfantin que l'attaque se produise, qu'il se passe enfin quelque chose.* » Face à cette tentative d'attaque, la narratrice commence et termine ce fragment par les impressions déclenchées par l'éventuel attentat à son état larvaire, elle décrit brièvement l'entourage « *vacarme* » « *chiens aboyant* » « *nuit* » qui peuvent à premier vue paraître en relation avec la fonction narrative d'atmosphère propre à la description. Or, à voir de près le commencement et la fin du passage, il est facile de déduire qu'il s'agit d'une expérience subjective de retour-vers-soi phénoménologique éprouvé par le sujet témoin. La narratrice porte moins d'attention au bruit lui-même qu'à l'émotion déclenchée par ce bruit. Sur ce, l'entourage ne fonctionne pas comme fin en soi qu'il faut décrire mais comme prétexte servant à une micro-autoanalyse réflexive dont le but est de s'arrêter sur ce qui passe en son for intérieur « *bizarre impression de rêve* », « *désir enfantin* ». Le récit descriptif glisse subtilement vers un micro-récit phénoménologique. De même, l'extrait de la visite à la koubba de Sidi Slimane est très intéressant dans la mesure où il atteste de la révélation fulgurante et prompte de l'impression –dérive incontrôlable- détrônant le droit de cité assigné à la description de l'endroit; l'impression l'emporte en succédant le geste traditionnel descriptif: « *Visite à la Koubba de Sidi Slimane Bou-Semakha, un matin très chaud et très clair d'octobre. Impression intense de recul subit vers les siècles abolis de foi et d'immobilité* » (Eberhardt, p.62). Sur la ligne de la vogue des passions, la journaliste éprouve les sentiments des romantiques face aux ruines qui

déclenchent un frisson nostalgique. Dans ces deux exemples, La narratrice décrit moins l'objet visé ou selon la terminologie phénoménologique le *noème* que la façon dont ce *noème* est donné à sa conscience. Il est à noter que toute l'œuvre est jalonné de ces impressions: « *une singulière impression d'abandon prématuré* », « *l'impression de la mort* » « *tout cela produisit en moi une impression de monde fermé* » « *une impression de paix immense, d'immobilité* » etc. La récurrence des impressions peuvent faire de l'œuvre un « itinéraire des impressions » où la narratrice va même jusqu'à identifier les lieux par les sensations qu'ils stimulent en elle: « *La grande paix automnale de ce pays évoqua en moi des souvenirs tristes et doux, des impressions pareilles, ressenties jadis, dans la même saison, à Bône,* » (Eberhardt, p.228), et donc chaque lieu est caractérisé par une impression, qui, parfois indescriptible, contraint l'usage de la description négative « *Aucune parole ne saurait rendre l'amère tristesse de cette impression; il m'a semblé que je regardais un paysage quelconque,* » (Eberhardt, p.319). Tout cela nous mène à dire que l'on est sur le terrain d'une impression subjective qui se définit par « *un mode descriptif dont l'intention apparaîtra clairement, comme étant ce qui appartient à un sujet individuel et qui diffère, ou varie, d'un sujet à l'autre.* » (Provençal, p.362).

Aussi objective qu'elle puisse sembler, l'expérience vécue à travers ces impressions est loin de l'être, c'est-à-dire qu'il est impossible de modifier l'instance-témoin sans modifier la chose elle-même. Ce qui pose le problème de la véracité du genre et son appartenance surtout que dans la préface, Victor Barrucand parle des « *impressions du Sud-Oranais* » et la narratrice déclare poétiquement: « *Dans un mois peut-être je m'en irai là-bas, dans le grand désert vague, chercher des impressions nouvelles, chercher les matériaux qui serviront à l'œuvre que je voudrais édifier* » (Eberhardt, p.307). Entre profession journalistique et hégémonie de l'éprouvé affectif, ce récit de voyage tient place. La profession journalistique se trouve parasitée et contrariée par ces micro-récits phénoménologiques disséminés de manière très considérable dans l'œuvre de notre voyageuse. Et on n'aura pas tort de considérer le genre à l'intersection de ces deux rubriques assez loin l'une de l'autre, et si en amont dialoguent la veine de l'objectivité et la consistance constante de l'*aisthesis*, en aval l'ethos ectoral, comme étant l'image d'un discours passionné plus que passionnel, restituée à ce témoignage quelques résonances ontologico-existentielles.

3 LES NOTES DE ROUTE: L'ITINÉRAIRE VERS « UNE ESTHÉTIQUE DE L'EXISTENCE »

Dans la présente partie, nous analyserons en quoi la mission journalistique de la narratrice prend une envergure beaucoup plus subtile qui épouse les majestueuses dimensions de la quête. Celle-ci est le fond d'une recherche d'une « *esthétique de l'existence* », expression empruntée aux travaux de Michel Foucault signifiant: « *des pratiques réfléchies et volontaires par lesquelles les hommes, non seulement se fixent des règles de conduite, mais cherchent à se transformer eux-mêmes, à se modifier dans leur être singulier, et à faire de leur vie une œuvre qui porte certaines valeurs esthétiques et réponde à certains critères de style* » (Foucault, p. 18). Le rapprochement, lisible et visible, entre l'existence et l'œuvre d'art est parlant dans la mesure où il incombe à l'être humain d'acquiescer le statut de Pygmalion qui doit s'acquiescer de sa mission sublime de sculpter sa vie à l'instar d'une statue. C'est l'appel auquel répond notre voyageuse cherchant un canon esthétique à partir duquel son œuvre émerge. Cette praxis dessinant une ligne de conduite est, en l'occurrence, l'enjeu de deux variantes; d'une part, elle se manifeste dans sa quête d'identité, et de l'autre part de son aspiration à l'authenticité ontologique.

3.1 LE PROJET IDENTITAIRE EN GESTATION

Approcher la thématique identitaire est à jamais délicat mais nécessaire. Commençons par une définition basique mais profitable à notre exposé. L'identité est: « *ce qui fait que je ne suis identique à aucune autre personne* » (Maalouf, p.18). Donc la quête identitaire est un acheminement sur l'axe de l'unicité et de la singularité; une éthique d'individualité et d'originalité du moi par rapport à l'autre. Pour délimiter notre camp d'investigation il est commode de voir que la quête identitaire dans ce voyage se joue suivant trois composants: identité spatiale, identité spirituelle et identité interactionniste.

En effet, chercher une identité spatiale c'est trouver son identité sur l'axe spatial, ou mieux trouver une maison au sens bachelardien du terme, qui « *Sans elle, l'homme serait un être dispersé* » (Bachelard p.38). Cette identité spatiale la narratrice l'a trouvée dans l'immense Sahara moutonnante envers laquelle elle n'a cessé d'exprimer son attachement le plus viscéral, sorte de dévotion invétérée dont l'itératif de l'expression lui donne le relief saisissant d'un leitmotiv dans l'œuvre: « *Hélas ! aucun foyer, pas même celui qui est bien à moi, mon humble foyer de pauvre, ne saurait me remplacer mon Sahara, mon horizon vague et onduleux, mes doux levers d'aurore sur l'infini grisâtre et mes couchers de soleil ensanglantant les petites villes croulantes aux noms étranges, mon pauvre Souf, inoubliable, l'humble compagnon de mes courses solitaires dans le cher pays dont je lui donnai le nom, ma défroque saharienne, ma liberté et mes rêves !* » (Eberhardt, p.317). Cette citation nous montre que les étiquettes souvent assignées au Sahara notamment de l'abandon de soi et de la stérilité subissent un démenti dans la mesure où il devient un foyer fécond, un chez soi où l'âme se trouve en communion avec elle-même, où la mobilité de cette bohémienne s'avère une revanche contre le contact obturé avec l'extérieur d'antan (certains biographes mentionnent que dans son enfance elle était enfermé avec son frère dans leur villa et n'ayant pas le droit de sortir). Ainsi devient-il paradoxalement une fixation de son être intime, un havre propice à l'appel socratique gravé sur le temple d'Apollon à Delphes

«*Gnothi seauton*», et le désert se transforme en texte ou le sujet se lit et un miroir où se miroite son image, en contrecarrant par-là sa symbolique poisseuse de perte, de dispersion et d'égarement.

En portant ses dieux Lares au Sahara, la jeune femme la tonalise sur une mode d'intimité et la hisse au niveau de la maison dans le sens où « *la maison abrite la rêverie, la maison protège le rêveur, la maison nous permet de rêver en paix.* » et ceci est avancée clairement par cette Louise Michel du Sahara dans la citation susmentionnée. Le Sahara thaumaturgique est aussi un emblème de la solitude et la narratrice ne cesse de consacrer cela en revêtant l'énigmatique stature de l'errante solitaire. L'immense désert infini est un espace fibré d'une esthétique de tristesse et de solitude qui est la meilleure occasion de réduire l'émiettement identitaire et de se constituer comme l'expriment très nettement les propos suivants: « *Et tous les espaces de nos solitudes passées, les espaces où nous avons souffert de la solitude, joui de la solitude, désiré la solitude, compromis la solitude sont en nous ineffaçables. Et très précisément, l'être ne veut pas les effacer. Il sait d'instinct que ces espaces de sa solitude sont constitutifs* » (Bachelard, p. 37).

A l'instar de cette quête spatiale, ce voyage peut être approché de l'ongle d'une quête spirituelle. L'errance dans le désert, le nomadisme, la fréquence des zaouiyas, mode de vie d'Eberhardt, sont l'univers de l'ermite. En se convertissant à l'islam, elle a connu non seulement l'islam théorique mais l'islam pratique tel qu'il régit la vie des indigènes. Également, elle affiche son adhésion sincère à la foi islamique associée à une poétique de la lenteur et jointe à une panoplie de paramètres qui marquent sa personnalité à savoir l'indifférence devant la mort, l'immémorial sincérité et la paix de l'âme. De plus en plus, l'écrivaine fraie son chemin dans le soufisme et les zaouiyas en infirmant certaines images clichées embrigadant les images acoustiques relatifs à ces endroits: « *Les zaouiya ne sont pas, comme l'affirment certains auteurs qui ne les connaissent que de nom, des « écoles de fanatisme ».* Outre l'instruction musulmane, les zaouiya dispensent les bienfaits de leur charité à des milliers de pauvres, d'orphelins, de veuves et d'infirmités qui, sans elles, seraient sans asile et sans secours. Plus que tout autre, la zaouiya de Lella Zeyneb est un refuge pour les déshérités qui y affluent de toutes parts. » (Eberhardt, pp.292-293). La zaouiya de Lella Zeyneb était la scène d'une discussion avec cette dernière que nous exploiterons comme exemple pour voir comment la figure de l'autre et surtout du marginal est l'un des ingrédients du projet identitaire de la narratrice.

Durant tout son voyage, l'écrivaine a rencontré une théorie des gens qui appartiennent à des milieux différents à savoir le Bédouin, le gommier, le tunisien, le juif, les spahis etc. qui sont des types archétypaux rarement individualisés subissant le poids du holisme du commun et du collectif, mais encore avec des figures exceptionnelles voire marginales à savoir les marabouts, les danseuses et les prostituées. Ce qui nous intéresse ici n'est pas la perspective esthétique-folklorique relative à l'effet que produit cet Autre sur la vue notamment via le costume, l'habitat... mais surtout l'impact singulier sur la narratrice suivant l'adage que la re-connaissance de soi suppose et passe par la re-connaissance de l'autre comme le dit Sartre: « *pour obtenir une vérité quelconque sur moi il faut que je passe par l'autre* » (Sartre p. 30). L'autre est important dans la mesure où je me façonne à son contact et l'altérité est à la base de l'identité. Nous avons choisi de traiter le cas de figure de Lella Zayneb qui a laissé une trace jamais ineffaçable dans l'esprit de la voyageuse, laissons celle-ci s'exprimer: « *Cette personnalité de femme, vivant dans le célibat et jouant un grand rôle religieux, est peut-être unique dans l'Occident musulman et mériterait, certes, d'être étudiée mieux que je n'ai pu le faire pendant un séjour trop rapide à la zaouiya.* » (Eberhardt, p.294). Cette attention particulière donnée à cette figure excentrée vivant à la marge est intéressante. Lella Zayneb est figure hors pair car elle ne s'est jamais mariée et a renoncé à la vie mondaine frelatée et tous ses loisirs pour faire le bien dans le sentier de Dieu, fonction rarement accordée à une femme. Entretemps, il faut nuancer que la narratrice n'a dévoilé qu'un fragment de sa conversation avec Lella Zayneb et que sur le reste, elle s'est gardée discrète. Cette rencontre énergique l'a illuminée comme le note implicitement ses journaliers: « *De ce voyage, rapide comme un rêve, de Bou-Saada, je suis revenue plus forte, guérie de la malade langue qui me minait à Alger...* » Écrit-elle le 7 juillet 1902. L'on aura pas tort si l'on dit que cette rencontre a mis en branle quelque chose en elle dans la mesure où elle fait de cette maraboute une sorte d'idéal en lui assignant un statut hors pair, de par son excentricité qui peut être vue comme forme de révolte contre les barricades du commun, rébellion dont les étincelles ont fini, selon un processus de transsubjectivité, par contaminer la narratrice.

3.2 A LA RECHERCHE D'UNE AUTHENTICITÉ DE L'ÊTRE

En effectuant ce voyage, la narratrice a répondu à la dénonciation du philosophe qui défend le plus obstinément l'individu à savoir Kierkegaard qui nous met en garde de passer à côté de notre existence, de nous-même pendant que nous vivons. En revanche, il encourage les choix éthiques et l'établissement des convictions profondes érigées sur une base émotionnelle. Cette voie effrayée par la narratrice commence par une révolte qui marque un choix, un trajet et une destinée à vivre. Son intransigeance se manifeste à travers son refus des conventions sociales qui déborde de la personnalité d'une jeune femme entre 20 et 27 ans au dix-neuvième siècle laissant derrière elle tout pour s'engager comme vagabonde dans le désert inconnu en ayant pour guide sa voix intérieure, elle écrit à ce propos: « *Un droit que bien peu d'intellectuels se soucient de revendiquer, c'est le droit à l'errance, au vagabondage. Et pourtant, le vagabondage, c'est l'affranchissement, et la vie le long des routes,*

c'est la liberté. [...] Être seul, être pauvre de besoins, être ignoré, étranger et chez soi partout, et marcher, solitaire et grand à la conquête du monde » (Eberhardt, p.22). Ainsi, elle va même jusqu'à associer la déambulation à un droit qui est à la fois synonyme d'affranchissement et portique vers la liberté. Sur ce, il est difficile de passer outre d'un détail biographique; la narratrice a reçu une éducation libertaire de son maître Trophimowsky, disciple de Bakounine, le grand précepteur de l'anarchisme basé sur la liberté partagée et la violence révolutionnaire. Elle se déclare en rupture de ban avec le monde occidental féru du rentable et du rémunéré et s'adonne, en qualité d'un disciple de Nietzsche, au vagabondage alléchant comme activité intellectuelle et désintéressée fondée sur la quête du moi, de la beauté sauvage et de l'irrationalité poétique en suivant ses préceptes: « *La beauté sauvage de l'irrationalité poétique vous réfute, utilitaristes ! Vouloir précisément se libérer enfin de l'utile – Voilà ce qui a élevé l'homme, voilà ce qui lui a inspiré la moralité et l'art !* » (Nietzsche, p.94). C'est là l'attitude d'une hypostase romantique qui n'a cessé d'exprimer son admiration du grand poète de la déchirure humaine Dostoïevski comme le mentionne explicitement ses notes.

Cette révolte la mène directement à une réconciliation avec soi, à trouver une authenticité du *Dasein* (l'existence/ l'être) comme volonté qui, au-delà d'une quête identitaire, s'inscrit dans l'intention acharnée d'une connaissance subjective du moi qui en se prolongeant dépose sur son passage l'écume d'une réalisation de soi et d'une coïncidence avec la singularité essentielle de l'être dans un rapport de soi à soi. L'œuvre de la cette vagabonde friande du désert, concrétion d'une paix aux confins du nirvana, est une quête d'authenticité personnelle définie comme: « *le fait de se conduire et de se présenter soi-même dans sa vie d'une manière qui soit fidèle à la fois à ses principes, aux valeurs auxquelles on souscrit, aux idéaux auxquels on se soumet, et à ses sentiments, inclinations, désirs, préférences, croyances véritables.* » (Romano, p. 42) c'est ce que déclare la narratrice en disant que: « *Telle est ma vraie vie, celle d'une âme aventureuse, affranchie de mille petites tyrannies, de ce qu'on appelle les usages, le « reçu »... et avide de vie au grand soleil changeante et libre* ». A part les accents révolutionnaires de ce discours dénotatif, la narratrice définit sa vie et explique exactement en mention ce qu'elle est dans sa formule sommative « *âme aventureuse* » et ce qu'elle souhaite « *vie au grand soleil changeant et libre* ». Parler de vraie vie équivaut une atteinte de la vérité de celle-ci et une réalisation de l'authenticité dans son modèle romantique qui: « *met l'accent sur un noyau d'originalité absolue qui résiderait en chaque individu et s'exprimerait en premier lieu dans ses réactions affectives: être authentique, ce serait alors se mettre à l'écoute de la « voix de la nature » qui parle à l'intérieur de chaque homme, du sentiment intérieur qui ne trompe jamais (et ce sentiment intérieur, ou cet « instinct divin », comme l'appelle Rousseau (...), par conséquent, la vie de vérité consiste à exprimer dans sa vie sa nature particulière, ce que les théoriciens de cette première lignée de penseurs n'hésitent pas à appeler souvent son « moi ». La vie tout entière doit devenir alors expression intégrale de celui que l'on est, et l'épicentre de l'être de chacun réside avant tout dans ce qu'il ressent.* » (Romano, pp. 43-44). Aucune autre formule ne semble baliser aussi intensément la densité de l'aventure, extérieure et intérieure, d' Eberhardt mieux que celle qui vient d'être insérée.

4 CONCLUSION

Somme toute, le voyage effectué par Isabelle Eberhardt figure comme une anthologie affective pour le lecteur tantôt endeuillé par la mort de la chamelle grise de Maamar-ould Djilali, tantôt ému par les cantilènes térébrantes des goudiers, sorte d'hululements lugubres criant leurs vibrantes douleurs d'amour et de guerre, tantôt fasciné par le charme religieux des paysages fluctuants du fascinant Sahara décrit avec une extrême sensibilité... c'est un voyage émotionnel qui est d'une richesse qui reste à définir.

Notre étude s'est intimement penchée sur deux axes qui montrent la prolixité quant aux dimensions de ce témoignage qui, en dépit des études qui lui sont consacrées, ne cesse de se régénérer à l'instar d'un phénix pour donner d'autres lectures qui le rajeunissent et confirme l'immortalité de ce genre d'écriture. Dans un premier temps, l'attention est attirée sur l'appartenance du texte au reportage vu la profession de l'écrivaine engagée comme journaliste-reporter au journal l'*Akhbar* et la *Dépêche algérienne* ce qui fait surgir la question du réalisme et de l'objectivité à la surface. Ce pacte du dire-vrai est subtilement instauré par la narratrice à l'aide de la mise en scène comme lieu fondamental de la pactisation sur l'*alètheia* non seulement de ce qui constitue le contenu de la mise en scène mais du témoignage entier dans un rapport synecdochique de la partie pour le tout. Effort qui bute sur la rature des micro-récits phénoménologiques, baptisés comme manifestation criante d'une hégémonie coriace des impressions jalonnant le tissu textuel. Par ailleurs, une vision qui surmonte les apories du genre peut être révélatrice d'une dimension fine qui s'inscrit dans la quête profonde d'une « *esthétique* » ou « *stylistiques de l'existence* ». Cette dernière est menée au gré d'un projet identitaire emboîté lui aussi dans une quête beaucoup plus intense; celle de l'authenticité ontologique suivant le modèle romantique. Cette mission journalistique était le tremplin de cette écrivaine lapicide d'agir en cynique, c'est-à-dire de perfectionner sa vie en la hissant au niveau d'un chef d'œuvre.

REFERENCES

- [1] Bachelard, G. La poétique de l'espace, Paris, PUF, 1981.
- [2] Eberhardt, Au Pays Des Sables, Paris, Hachette BNF, 2017.
- [3] Eberhardt, I, Notes de route: Maroc, Algérie, Tunisie / Isabelle Eberhardt, Paris, Charpentier et Fasquelle, 1908.
- [4] Foucault, F. Histoire de la sexualité, Paris, Gallimard, 1976.
- [5] Gohard-Radenkovic. A, « L'altérité dans les récits de voyage ». In: *L'Homme et la société*, N. 134, 1999.
- [6] Larousse, P. Grand Dictionnaire Universel du XIXème siècle, Paris, Hachette BNF, 2017.
- [7] Maalouf, A. Les identités meurtrières, Paris, Grasset & Fasquelle, 1998.
- [8] Miller, H *Big*, Sur et les oranges de Jérôme Bosch; traduit de l'américain par Roger Giroux, Paris, Buchet-Chastel, 1959.
- [9] Nietzsche, F. Le gai savoir, Paris, GF Flammarion, 2020.
- [10] Provençal, Y « Une analyse de la notion d'objectivité. In: *Philosophiques*», 14 (2), 1987.
- [11] Reuter, Y. « La notion de scène: construction théorique et intérêts didactiques. In: *Pratiques: linguistique, littérature, didactique*, n°81, 1994.
- [12] Rochd, M. Isabelle Eberhardt, Le dernier voyage, édition critique de Dans l'ombre chaude de l'islam, Alger, ENAL, 1991.
- [13] Romano, C. L'authenticité: une esquisse de définition. In *Philosophiques*, 47 (1), 2020.
- [14] Sartre, J-P, L'existentialisme est un humanisme, Paris, Nagel, 1946.

Evaluation de l'activité anti-inflammatoire des extraits aqueux de feuilles de *Morinda Lucida Benth.* (*Rubiaceae*)

[Evaluation of the anti-inflammatory activity of aqueous extracts of *Morinda Lucida Benth.* leaves (*Rubiaceae*)]

Ta Bi Irié Honoré¹, Doh Koffi Stéphane², and N'Guessan Koffi³

¹UFR Ingénierie Agronomique Forestière et Environnementale (IAFE), Université de Man, Côte d'Ivoire

²UFR Sciences médicales, Université Alassane OUATTARA de Bouaké, Côte d'Ivoire

³Laboratoire de Botanique, UFR Biosciences, Université Félix HOUPOUËT-BOIGNY, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The decoction of *Morinda lucida* leaves is used by ivoirien traditional healers in the treatment of inflammation. This study seeks the scientific foundations of this practice. It evaluates the anti-inflammatory activity of aqueous extracts from *Morinda lucida* leaves and then performs phytochemical screening to indicate the chemical groups responsible for the activity. In relation to the anti-inflammatory activity, the results obtained with *Morinda lucida* were compared to those of physiological control (NaCl 0.9%) and the diclofenac sodium 25 mg/kg. The parameter considered for this purpose is the percentage increase in paw circumference (%AUG). These results showed at $p < 0.001$ a significant difference between the %AUG of phytomedicine treatment at different doses and those of NaCl. However, at the dose of 7350 mg/kg administered orally, the %AUG of the phytomedicine are statically the same as those of diclofenac 25 mg/kg. This section reveals that the aqueous extracts of the leaves of *Morinda lucida* have anti-inflammatory properties. Concerning the tri-phytochemical tests, the results indicated that the leaves of *Morinda lucida* contains: alkaloids, flavonoids, polyphenols, sterols and polyterpenes. These chemical groups could justify the anti-inflammatory activity of the plant.

KEYWORDS: Plant, *Morinda lucida*, anti-inflammatory, phytomedicine, Côte d'Ivoire.

RESUME: Le décocté des feuilles de *Morinda lucida* est utilisé par les tradipraticiens ivoiriens dans le traitement de l'inflammation. Cette étude s'inscrit dans la recherche des fondements scientifiques de cette pratique. Elle évalue l'activité anti-inflammatoire des extraits aqueux de feuilles de *Morinda lucida* puis fait un criblage phytochimique pour indiquer les groupes chimiques responsables de ladite activité. En rapport avec l'activité anti-inflammatoire, les résultats obtenus avec *Morinda lucida* ont été comparés à ceux de contrôle physiologique (NaCl 0,9%) et à ceux du diclofenac sodique 25 mg/kg. Le paramètre considéré à cet effet est le pourcentage d'augmentation de la circonférence de la patte (%AUG). Ces résultats ont montré une différence significative à $p < 0,001$ entre les %AUG de traitement au phytomédicament à différentes doses et ceux du NaCl. Cependant, à la dose de 7350 mg/kg en administration par voie orale, les AUG du phytomédicament sont statiquement les mêmes que ceux du diclofenac 25 mg/kg. Cette section révèle donc que les extraits aqueux des feuilles de *Morinda lucida* ont des propriétés anti-inflammatoires. Concernant, les tests tri-phytochimiques, les résultats ont indiqué que les feuilles de *Morinda lucida* renferment: les alcaloïdes, les flavonoïdes, les polyphénols, les stérols et les polyterpènes. Ces groupes chimiques pourraient justifier l'activité anti-inflammatoire de la plante.

MOTS-CLEFS: Plante, *Morinda lucida*, anti-inflammatoire, phytomédicament, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

L'inflammation est une réaction de défense de l'organisme à diverses agressions qui peuvent être d'origine physique, chimique, biologique ou infectieuse [1]. En médecine moderne, cette affection est traitée par des produits chimiques connus sous l'appellation de anti-inflammatoires stéroïdiens et non stéroïdiens. Malheureusement, ces médicaments provoquent chez l'Homme d'autres troubles de santé notamment les problèmes cardiovasculaires [2]. Le recours aux phymédicaments est donc de plus en plus encouragé. En Côte d'Ivoire, plusieurs investigations ethnomédicinales ont indiqué que le décocté des feuilles de *Morinda lucida* est utilisé dans le traitement des affections anti-inflammatoires en médecine traditionnelle [3]. Cependant, dans le pays, aucune étude scientifique n'a pour l'instant évalué l'activité anti-inflammatoire des feuilles de *Morinda lucida*. Cette étude permet de vérifier les propriétés anti-inflammatoires de ces organes. Elle vise donc l'évaluation des extraits aqueux des feuilles de *Morinda lucida* à différentes doses. Elle fait également un criblage phytochimique pour rechercher les bases scientifiques de l'activité anti-inflammatoire de la plante.

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 MATERIEL

2.1.1 MATÉRIEL DE L'ÉVALUATION DE L'ACTIVITÉ ANTI-INFLAMMATOIRE

MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé pour l'activité anti-inflammatoire est constitué des extraits issus des feuilles séchées de *Morinda lucida*. Les feuilles ont été récoltées sur le site de l'Université de Man (Côte d'Ivoire).

ANIMAUX UTILISÉS

Les expériences ont été réalisées chez les rats adultes de race WISTAR de poids variant entre 100 et 190 grammes âgés de 2 à 3 mois. Ils ont été nourris des granulés de la société FACI (Fabrication d'Aliments de Côte d'Ivoire) et ont eu comme boisson l'eau de robinet.

MATÉRIEL TECHNIQUE

Pour évaluer l'activité anti-inflammatoire, nous avons eu recours à un appareil de mesure de diamètres de pattes de rat, en occurrence un pied à coulisse à affichage électronique de marque DIGITAL CALIPER et de capacité 0 à 150 mm. La préparation des extraits a nécessité l'usage de coton hydrophile, d'une balance électronique, d'une éprouvette graduée, d'une seringue 2CC, d'une seringue à insuline pour l'injection de la carragénine, d'un mortier, d'un pilon en porcelaine, des bocal stériles en verre, un réfrigérateur, des cages métalliques garnies de litière de copeaux de bois, de spatules, de l'encre indélébile et d'une canule à incubation.

PRODUITS CHIMIQUES

La solution de carragénine à 1% a été utilisée pour provoquer l'œdème de la patte du rat. L'anti-inflammatoire de référence a été le diclofénac sodique 25 mg/kg (Olfen-75 SR). Nous avons eu également besoin de sérum physiologique (NaCl) comme témoin, au cours des expériences. La préparation des extraits a nécessité de l'eau distillée.

2.1.2 MATÉRIEL DU CRIBLAGE PHYTOCHIMIQUE

MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Le screening phytochimique a été réalisé à partir des feuilles séchées de *Morinda lucida*.

MATÉRIEL TECHNIQUE

Une marmite de cuisine de 5 litres a été nécessaire pour avoir des décoctés de feuilles de la plante. Nous avons utilisé une étuve à 40°C, pour obtenir des extraits secs à partir des décoctés. Une balance électrique a permis de faire les différentes

pesées. Nous disposons d'un bain-marie à 37°C et un chauffe-eau. Nous avons eu également besoin de spatules, de coton hydrophile utilisé comme filtre, d'une baguette de trituration et de pinces.

MATÉRIEL CHIMIQUE SOLVANTS ET RÉACTIFS

Les tests tri-phytochimiques ont été réalisés à partir des extraits aqueux. Le solvant utilisé a été l'eau distillée. La recherche des différents groupes chimiques a nécessité plusieurs réactifs. Le réactif de Bornstraëgen a été utilisé dans la recherche des substances quinoniques. La caractérisation des alcaloïdes s'est faite avec le réactif de Burchard et du réactif de Dragendorff.

2.2 METHODE

2.2.1 PRÉPARATION DES EXTRAITS AQUEUX

Les extraits aqueux ont été choisis, dans cette expérience, pour rester proche du modèle des tradithérapeutes. Trois (3) litres du décocté des feuilles de *Morinda lucida* ont d'abord été essorés dans un carré de tissu propre, filtrés successivement deux fois sur du coton hydrophile puis sur papier Wattman 3 mm. Le volume du filtrat (environ 3 l) a été évaporé au rotavapor puis à l'étuve à 60°C. Au bout de 2 jours, les cristaux obtenus sont rendus en poudre, grâce à un mortier et un pilon en porcelaine. La poudre fine recueillie a pesé 32,59 g. De cette poudre, nous avons obtenu la concentration à saturation ou concentration maximale à 245 mg/ml. Cette concentration a été diluée successivement au 1/2, 1/3, 1/4 et au 1/5 pour donner les concentrations respectives de: 122,5; 81,66; 61,25 et 49 mg/ml. Les doses correspondantes en mg/kg/vo de poids corporel à ces différentes concentrations sont respectivement: 7350; 3675; 2450; 1837,5; 1470 mg/kg/vo (voie orale). Ces doses sont codifiées: EML1, EML2, EML3, EML4 et EML5.

2.2.2 CONDITIONNEMENT, CONSTITUTION DES LOTS ET GAVAGE DES RATS

Les animaux ont d'abord été conditionnés, puis soumis à un jeûne de 16 heures avant le traitement et répartis en 8 lots de 6. La constitution des lots s'est faite de façon suivante en fonction des traitements:

- Lot 01: rats témoins recevant du NaCl à 10 ml/kg
- Lot 02: rats traités avec EML à 2500 mg/kg/vo
- Lot 03: rats traités avec EML à 1875 mg/kg/vo
- Lot 04: rats traités avec EML à 1500 mg/kg/vo
- Lot 05: rats traités avec EML à 7350 mg/kg/vo
- Lot 06: rats traités avec EML à 2450 mg/kg/vo
- Lot 07: rats traités avec EML à 1470 mg/kg/vo
- Lot 08: rats traités avec le diclofenac à 25 mg/kg

2.2.3 INDUCTION DE L'INFLAMMATION

L'expérience a été réalisée sur le modèle de l'œdème aigu de la patte de rat induit par la carragénine [4]. Ainsi, 0,2 ml de solution de la carragénine 1% est injectée sous le coussinet plantaire de la patte droite de chaque rat 1 heure après l'administration des différents traitements. Des mesures du volume de la patte postérieure sont ensuite réalisées avec un pied à coulisse, 1h, 2h, 3h, 4h, 5h, 6h, 12h et 24h après l'injection de la carragénine aux rats.

2.2.4 PARAMÈTRE ÉVALUÉ

Dans cette section, le paramètre évalué est le pourcentage de l'augmentation de la circonférence de la patte œdématisée (%AUG). Il se calcule de la manière [5], [6], [7] :

$$\%AUG = \frac{\text{Circonférence de la patte au temps } t - \text{Circonférence initiale de la patte (Co)}}{\text{Circonférence initiale de la patte (Co)}} \times 100$$

2.2.5 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES DE L'ACTIVITÉ ANTI-INFLAMMATOIRE

Les moyennes de l'augmentation des circonférences des pattes infectées par l'inflammation à la carraghénine pour chaque heure ont été calculées grâce au logiciel Graphpad Prism 5.0. Les pourcentages d'augmentation de la circonférence de la patte

(% AUG) des extraits aqueux des feuilles de *Morinda lucida* ont été comparées à ceux du NaCl (solution témoin) et ceux du diclofenac (anti-inflammatoire de référence) par le test statistique ANOVA 1 complété par le test de comparaisons multiples de Tukey.

2.2.6 TESTS DE CARACTÉRISATION TRI-PHYTOCHIMIQUE

Le screening phytochimique ou criblage phytochimique est un ensemble de tests de détection des grands groupes de composés chimiques présents dans la plante ou dans l'un des organes. La détection de ces groupes chimiques est basée sur le principe qu'ils peuvent induire des variations de coloration visible à l'œil nu, dans un milieu, en présence de réactifs appropriés. Dans notre cas, ces tests ont été effectués sur des extraits aqueux selon la méthode classique de caractérisation des groupes chimiques déjà décrite dans des travaux similaires précédents [8], [9], [10].

RECHERCHE DES ALCALOÏDES

La caractérisation des alcaloïdes s'est faite à partir du réactif de DRAGENDORFF (réactif à l'iodobismuthate de potassium) et celui de BURCHARD (réactif iodo-ioduré). Pour cela, nous avons évaporé à sec dans une capsule, 6 ml de chaque solution, repris le résidu par 6 ml d'alcool à 60° et réparti la solution alcoolique dans 2 tubes à essai. Après cette étape, nous avons ajouté dans le premier tube 2 gouttes de réactif de DRAGENDORFF et dans le second tube, 2 gouttes de réactif de BURCHARD. Dans le premier tube, l'apparition de précipité ou d'une coloration orangée a indiqué la présence d'alcaloïdes et dans le second tube, l'observation d'un précipité ou d'une coloration blanc-crème a été la preuve d'une réaction positive.

RECHERCHE DES FLAVONOÏDES

La recherche des flavonoïdes a été effectuée à partir de la réaction à la Cyanidine. Elle a consisté à évaporer à sec dans une capsule, 2 ml de chaque solution et laisser refroidir. Le résidu est repris dans 5 ml d'alcool chlorhydrique au demi. La solution est versée dans un tube à essai dans lequel nous avons ajouté 2 à 3 copeaux de magnésium et observé un dégagement de chaleur. Une coloration rose-orangée ou parfois violacée a été obtenue. Nous avons enfin ajouté 3 gouttes d'alcool isoamylique qui intensifie la coloration en cas de présence des flavonoïdes.

RECHERCHE DES STÉROLS ET DES POLYTERPÈNES

La mise en évidence de ces groupes chimiques a été faite par la réaction de Liebermann. Nous avons évaporé à sec, sans carboniser le résidu, dans une capsule sur le bain de sable, 5 ml de la solution. Le résidu a été par la suite dissolu dans 1ml d'anhydride acétique et la solution obtenue est versée dans un tube à essai. Nous avons enfin versé 0,5 ml d'acide sulfurique le long du tube à essai et observé la solution. L'apparition à l'interphase, d'un anneau pourpre ou violet, virant au bleu puis vert, a indiqué une réaction positive.

RECHERCHE DES POLYPHÉNOLS

La réaction au chlorure ferrique (FeCl_3) a permis de caractériser les polyphénols. A 2 ml de chaque solution, nous avons ajouté une goutte de solution alcoolique de chlorure ferrique à 2%. Le chlorure ferrique provoque en présence de dérivés polyphénoliques, l'apparition d'une coloration bleue noirâtre ou verte plus ou moins foncée fut le signe de la présence de polyphénols.

RECHERCHE DES SAPONOSIDES

La mise en évidence des saponosides s'est faite par appréciation de l'abondance des mousses après agitation. Nous avons versé 15 ml de chaque extrait dans un tube à essai, agité vigoureusement pendant 10 secondes et laissé au repos pendant 10 min. La persistance de la mousse à une hauteur de 2 à 3 cm, était la démonstration de la présence des saponosides.

RECHERCHE DES SUBSTANCES QUINONIQUES LIBRES OU COMBINÉES

La mise en évidence des substances quinoniques libres a été faite par le réactif de Bornstraëgen. Pour les substances quinoniques combinées, nous avons procédé à une hydrolyse préalable. L'expérience a consisté à hydrolyser les solutions pour caractériser l'ensemble des substances quinoniques c'est-à-dire les substances quinoniques libres et les substances quinoniques composées. Nous avons pour cela, évaporé à sec 2 ml de chaque solution dans une capsule, trituré le résidu dans

5 ml d'acide chlorhydrique au 1/5, maintenu la solution obtenue dans le bain-marie bouillant pendant 30 min. Nous avons par la suite, après refroidissement, extrait l'hydrolysate par 20 ml de chloroforme dans un tube à essai, recueilli la phase chloroformique dans un autre tube et ajouté 0.5 ml d'ammoniaque dilué au 1/2. L'apparition d'une coloration allant du rouge au violet atteste la présence des quinones.

3 RESULTATS

3.1 EVALUATION DE L'ACTIVITÉ ANTI-INFLAMMATOIRE

Les pourcentages AUG, les moyennes obtenues et les résultats des tests statistiques effectués sont consignés dans le tableau I. Ce tableau montre qu'il existe une différence significative pour $P < 0,001$ entre les pourcentages d'augmentation des circonférences de la patte (AUG) des animaux ayant subi le traitement témoin (NaCl) évoluant de $57,30 \pm 6,63\%$ à $89,71 \pm 5,12\%$ et ceux des animaux ayant reçu les phytomédicaments EML1, EML2, EML3 et l'anti-inflammatoire de référence, le diclofénac. Il n'existe pas de différence significative entre ces pourcentages AUG du diclofénac et ceux des animaux traités à l'extrait de *Morinda lucida* à la dose 7350 mg/kg p.c/vo (EML1) pendant toute la durée de l'expérience. Les pourcentages AUG du diclofénac et ceux de EML1 sont faibles. Ils varient de $1,90 \pm 1,47\%$ à $21,06 \pm 5,88\%$ pour le diclofénac et de $2,87 \pm 0,96\%$ à $19,21 \pm 4,50\%$ pour EML1. Cependant, il existe une différence significative pour $P < 0,001$ entre les pourcentages AUG du traitement au diclofénac et ceux des traitements EML2 (de $25,74 \pm 9,53\%$ à $47,28 \pm 0,58\%$) et EML3 (de $38,22 \pm 8,73\%$ à $58,81 \pm 31,18\%$). Les AUG du diclofénac sont moins importants que ceux de EML2 et EML3. Pour les comparaisons entre les extraits aqueux de *Morinda lucida*, une différence significative existe entre les AUG de EML1 pour $P < 0,001$ et ceux de EML2 et EML3. Les AUG de EML1 sont moins importants que ceux de EML2 qui sont aussi moins importants que ceux de EML3. Ces différentes comparaisons des pourcentages AUG montrent que les extraits aqueux de *Morinda lucida* exercent une activité anti-inflammatoire. On note aussi un effet dose-réponse au niveau des extraits dont les effets anti-inflammatoires croissent au fur et à mesure que la dose augmente.

Tableau 1. Evolution du pourcentage de l'augmentation de la circonférence de la patte pour les traitements témoins et les extraits EML

Traitements (Dose/kg)	1h	2h	3h	4h	5h	6h	12h	24h
NaCl 0,9% (10ml)	$57,30 \pm 6,63^e$	$79,45 \pm 8,59^e$	$84,71 \pm 6,08^e$	$89,71 \pm 5,12^e$	$88,55 \pm 5,85^e$	$86,76 \pm 6,12^e$	$83,25 \pm 10,57^e$	$79,43 \pm 11,62^e$
Diclofenac (25mg)	$1,90 \pm 1,47^a$	$9,12 \pm 1,84^a$	$13,58 \pm 3,54^a$	$21,06 \pm 5,88^a$	$13,20 \pm 4,47^a$	$9,89 \pm 3,27^a$	$5,95 \pm 1,23^a$	$5,73 \pm 1,21^a$
EML1 (7350mg)	$5,91 \pm 1,87^b$	$9,72 \pm 3,22^b$	$15,67 \pm 3,84^b$	$19,21 \pm 4,5^b$	$16,53 \pm 3,97^b$	$14,57 \pm 4,23^b$	$12,34 \pm 2,23^b$	$2,87 \pm 0,96^b$
EML2 (2450mg)	$25,74 \pm 9,53^c$	$35,16 \pm 6,16^c$	$40,53 \pm 3,14^c$	$43,74 \pm 2,17^c$	$47,28 \pm 0,58^c$	$41,56 \pm 0,82^c$	$34,72 \pm 0,91^c$	$29,45 \pm 1,82^c$
EML3 (1470mg)	$38,22 \pm 8,73^d$	$48,92 \pm 11,3^d$	$57,12 \pm 8,7^d$	$56,83 \pm 9,87^d$	$58,81 \pm 31,18^d$	$53,28 \pm 10,56^d$	$45,87 \pm 7,12^d$	$42,71 \pm 5,97^d$

Les moyennes suivies des lettres différentes dans la même colonne sont significativement différentes pour $p < 0,001$.

3.2 CRIBLAGE PHYTOCHIMIQUE

Les résultats des tests phytochimiques réalisés sur les extraits aqueux des feuilles de *Morinda lucida* sont consignés dans le tableau 1. D'un test à l'autre et d'un extrait à l'autre, nous observons des différences. Les tests des substances quinoniques sont négatifs dans l'extrait aqueux de la plante. Les alcaloïdes et les flavonoïdes sont abondants dans l'extrait de la plante. La réaction de Liebermann est également positive. L'extrait testé renferme donc des stérols et des polyterpènes. Les polyphénols et les saponosides sont aussi représentés dans l'extrait de la plante.

Tableau 2. Screening phytochimique des extraits de *Morinda lucida*

Groupes chimiques	Alcaloïdes (B et D)	Flavonoïdes	Stérols et Polyterpènes	Polyphénols	Saponosides	Substances quinoniques
Résultats	++	++	+	+	+	-

++: Abondance du groupe chimique +: Présence moyenne du groupe chimique

-: absence du groupe chimique B: Burchard D: Dragendorff

4 DISCUSSION

Les résultats montrent que les extraits aqueux des feuilles de *Morinda lucida* exercent une activité anti-inflammatoire. Cette activité est similaire à celle du diclofenac sodique 25mg/kg à la dose 7350 mg/kg/vo. D'ailleurs les propriétés anti-inflammatoires de *Morinda lucida* ont déjà été évoqués dans des études précédentes [11], [12].

En rapport avec le screening phytochimique, l'activité anti-inflammatoire de *Morinda lucida* pourrait se justifier par la présence de plusieurs groupes chimiques. En effet, les alcaloïdes, les saponosides et les polyphénols exercent une activité anti-inflammatoire [13]. L'activité anti-inflammatoire des alcaloïdes est amplifiée en présence des flavonoïdes [14]. L'utilisation de décocté des feuilles de *Morinda lucida* dans le traitement des maladies inflammatoires pourrait être scientifiquement justifiée. Eu égard aux problèmes cardiovasculaires provoqués par les anti-inflammatoires (anti-inflammatoires stéroïdiens et non stéroïdiens) prescrits par la médecine moderne [15]. Le recours à cette plante aux propriétés anti-inflammatoires serait souhaitable et encouragé surtout que la plante se retrouve partout en Côte d'Ivoire. D'ailleurs, le diclofenac, utilisé dans cette étude comme anti-inflammatoire de référence a des inconvénients sur la santé. Ce produit chimique provoque l'augmentation du risque de thrombose artérielle chez le malade qui l'absorbe [16], [17].

5 CONCLUSION

Les feuilles de *Morinda lucida* présentent une efficacité sur l'œdème aigu de la patte induit par la carragénine 1%, avec une meilleure activité exercée à la dose de 7350 mg/kg/vo. Ces organes ont donc des propriétés anti-inflammatoires. Cette activité pourrait se justifier par la présence de divers groupes chimiques: les alcaloïdes, les flavonoïdes, les polyphénols, les saponosides, les stérols et les polyterpènes. Ces résultats pourraient justifier l'utilisation empirique de la plante dans le traitement de l'inflammation et servir de bases scientifiques pour la recherche de substituts des anti-inflammatoires pharmaceutiques actuels.

REFERENCES

- [1] Ndiaye M., Sy G., Dièye A. M., Touré M.T., Faye B. Evaluation de l'activité antiinflammatoire de feuilles d'*annona reticulata* (annonaceae) sur l'œdème aigu de la patte de rat induit par la carragénine. Pharm. Méd. Trad. Afr. 2006, Vol. XIV: 179-186.
- [2] Heymonet C. Les plantes à visée anti-inflammatoire utilisées en phytothérapie. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Faculté de Pharmacie, Université de Lorraine. 2013, 199 p.
- [3] Ta B.I.H. Etudes ethnobotanique, phytochimique et pharmacodynamique de quelques espèces du genre *Corchorus* L., recensées en Côte d'Ivoire. Thèse unique de Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, 2017,142.
- [4] Ta B.I.H, N'Guessan K, Bomisso EL, Assa RR, Aké S. Etude ethnobotanique de quelques espèces du genre *Corchorus* rencontrées en Côte d'Ivoire. European Scientific Journal. 2016: 415-431.
- [5] Epa C., Elion I. R. D. G., Etou O. A.W., Attibayéba, Ongoka P. R., Abena A. A. Effet anti-inflammatoire et cicatrisant des extraits aqueux et éthanolique des écorces du tronc de *Buchholzia coriacea* Engl. (Capparidaceae). Journal of Applied Biosciences. 2015, 94: 8858– 8868.
- [6] Kouamé Y. Y., Okpekon A. T., Yapi H. F., Gbassi K. G. Evaluation of anti-inflammatory activities of aqueous and ethanolic extracts of *Xylopia villosa* (Anonaceae). Asian Journal of Biochemical and Pharmaceutical Research. 2016, Vol. 6 Issue 3: 106-112.
- [7] Ta B. I. H., Aké C. B., Konkon N. G. and N'Guessan K. Evaluation of the anti-inflammatory activity of aqueous extracts from *Corchorus olitorius* (Malvaceae). The Pharma Innovation Journal. 2018; 7 (4): 800-802.
- [8] N'Guessan K., Kouassi K. E., Kouadio K. Ethnobotanical study of plants used in traditional medicine to treat diabetes, by Abbey and Krobou People of Agboville (Côte-d'Ivoire). American Journal of Scientific Research (AJSR), 2009; 4: 45-58.
- [9] Ta B. I. H. et N'Guessan K. Etude ethnopharmacologique des plantes hypotensives rencontrées sur les marchés d'Abidjan, Côte d'Ivoire. International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 32 No. 4 May. 2021, 522-530pp.
- [10] Kolling M., Winkley K. & Von D. M. For someone who's rich, it's not a problem. Insights from Tanzania on diabetes health-seeking and medical pluralism among Dar es Salam's and urbanpoor. Globalisation and health, 2010; 6: 8.
- [11] N'Guessan K. Plantes médicinales et pratiques médicales traditionnelles chez les peuples Abbey et Krobou du Département d'Agboville (Côte-d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Spécialité Ethnobotanique, Université de Cocody-Abidjan (Côte-d'Ivoire). UFR Biosciences, Laboratoire de Botanique, 2008; 235 p.
- [12] Aké-Assi L. Abstract of African medicine and pharmacopoeia: some plants traditionally used in the coverage of primary health care. NEI-CEDA edition, Abidjan (Ivory Coast), 2011; 157 p.
- [13] Kouamé K. j., Fatou S. O-S., Georges A., N'guessan Z., Koffi Roger K., Kouassi Emile B. Kangah Mireille K.T., Jean-Jacques K.K. & Severin K. Activité Anti-Inflammatoire Et Études Phytochimiques De L'extrait Aqueux Des Écorces *Distemonanthus Benthamianus* Baill. (Caesalpiniaceae: Leguminosae - Caesalpinoideae). European Scientific Journal, ESJ, 2021, 74.
- [14] Békro Y., Békro J. A. M., Boua B. B., Tra B. F. H. & Ehilé E. E. Etude ethnobotanique et screening de *Caesalpinia benthamiana* (Bail.) Herend. et Zarucchi (Caesalpiniaceae). Rev. Sci. Nat., 2007; 4 (2): 217-225.
- [15] Heymonet C. Les plantes à visée anti-inflammatoire utilisées en phytothérapie. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Faculté de Pharmacie, Université de Lorraine. 2013, 199p.
- [16] N'Guessan K, Kadja B, Zihiri GN, Traoré D, Aké-Assi L. Screening phytochimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes utilisées en pays Krobou (Agboville, Côte- d'Ivoire). Sciences et Nature. 2009; 6 (1): 1-15.
- [17] Nuhrich A. Anti-inflammatoires non stéroïdiens. Rapport de l'UFR des Sciences pharmaceutiques de l'Université de Bordeaux- France, 2015, 59.

Etude des contaminations en éléments trace-métalliques des préparations extemporanées de phytomédicaments et des eaux de consommation utilisées des populations riveraines au Parc National de Togodo-Sud

[Study of trace metal contamination of extemporaneous preparations of phytomedicines and drinking water used by the local population in Togodo-Sud National Park]

Ouro-Djeri Hafez^{1,4}, Koudouvo Koffi¹, Ayah Massabalo³, Esseh Komlavi¹, Gnandi Kissao², Tchacondo Tchadjobo⁴, Agbonon Amégnona¹, Akpavi Sémihinva⁵, Ouro-Djeri Essowê⁶, and Gbeassor Messanvi¹

¹Centre de Recherche et de Formation sur les Plantes Médicinales (CERFOPLAM), Université de Lomé (UL), 1 BP 1515 Lomé, Togo

²Laboratoire d'Analyses de Géochimie Environnementale, Université de Lomé, Lomé-TOGO, 1 BP 1515 Lomé, Togo

³Laboratoire d'Hydrologie Appliquée and Environnement (LHAE), Université de Lomé, Lomé-TOGO, 1 BP 1515 Lomé, Togo

⁴Laboratoire des Sciences Biomédicales, Alimentaires et de Santé Environnementale (LaSBASE), Université de Lomé, Lomé-TOGO, 1 BP 1515 Lomé, Togo

⁵Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale (LBEV), Université de Lomé (UL), 1 BP 1515 Lomé, Togo

⁶Laboratoire de Recherche sur la dynamique des milieux et des sociétés (LARDYMES), Université de Lomé (UL), 1 BP 1515 Lomé, Togo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The present study is conducted in the villages bordering the Togodo-Sud National Park (PNTS), which is grouped into four cantons (Tométy-Kondji, Sedomé, Gboto and Esse-Godjin) in the Yoto 3 commune of Togo. The populations have difficult access to health care and drinking water. Extemporaneous preparations of water-based phytomedicines (PEP) can be a source of contamination due to chemical pollutants. The objective of the study is to evaluate the contamination of PEP and drinking water used in the PNTS area by metallic trace elements (MTE). Thus, fifteen (15) samples each of PEP and ECU were taken in two seasons (dry and rainy) and 09 parameters were analysed: total iron (Fe^{2+} and Fe^{3+}), cadmium (Cd), lead (Pb), copper (Cu), chromium (Cr), zinc (Zn), nickel (Ni), arsenic (As) and mercury (Hg).

The results show that the majority of the samples from the PEPs do not comply with the WHO and EU standards by almost 80%. Also, the highest concentrations of harmful elements were detected in the dry season. For Cd, the maximum concentration in PEP is 0.014 mg/l in the dry season against 0.002 mg/l in the rainy season. Also, Pb levels vary from 0.103 mg/l in the dry season to 0.113 mg/l in the rainy season. With regard to ECU, the maximum Cd concentration is 0.008 mg/l in the dry season. Pb levels reach 0.102 mg/l in the dry season and from 0 to 0.061 mg/l in the rainy season. Extreme concentrations were also observed with the other parameters.

The results show limitations in the use of the samples. In view of these results, microbiological and bacteriological analyses are important in order to raise awareness among the population.

KEYWORDS: Extemporaneous preparations of phytomedicines, used drinking water, Togodo-Sud National Park, Trace metals.

RESUME: La présente étude est menée dans les villages riverains au Parc National de Togodo-Sud (PNTS) regroupé en quatre cantons (Tométy-Kondji, Sedomé, Gboto et Esse-Godjin) dans la commune Yoto 3 au Togo. Les populations ont un accès difficile aux soins de santé et à l'eau potable. Les préparations extemporanées de phytomédicaments (PEP) à base de l'eau peuvent être sources de contaminations dues aux polluants chimiques. L'objectif de l'étude est d'évaluer la contamination en Eléments Traces Métalliques (ETM) des PEP et eaux de consommation utilisées (ECU) des populations riveraines au PNTS. Ainsi, quinze (15) échantillons chacun des PEP et des ECU ont été prélevés en deux saisons (sèche et pluvieuse) et 09 paramètres ont été analysés: le fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+}), le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le zinc (Zn), le nickel (Ni), l'arsenic (As) et le mercure (Hg).

Les résultats montrent que les échantillons des PEP sont majoritairement non-conforme aux normes de l'OMS et de l'UE à près de 80%. Aussi, les grandes concentrations en éléments nocifs ont été détectées en saison sèche. Pour le Cd, la concentration maximum en PEP est de 0,014 mg/l en saison sèche contre 0,002 mg/l en saison pluvieuse. Aussi, les teneurs en Pb varient de 0,103 mg/l en saison sèche contre 0,113 mg/l en saison pluvieuse. En ce qui concerne es ECU, les concentrations maximums en Cd est de 0,008 mg/l en saison sèche. Les teneurs en Pb atteignent 0,102 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,061 mg/l en saison pluvieuse. Des concentrations extrêmes ont été également observés avec les autres paramètres.

Les résultats montrent des limites dans l'usage des échantillons. Face à ces résultats, des analyses microbiologiques et bactériologiques sont importantes en vue de sensibiliser la population.

MOTS-CLEFS: Préparations extemporanées de phytomédicaments, eaux de consommations utilisées, Parc National de Togodo-Sud, Eléments traces métalliques.

1 INTRODUCTION

En Afrique, les plantes médicinales constituent des ressources précieuses pour la grande majorité des populations rurales qui s'en servent pour assurer leurs soins de santé primaire (Jiofack et al., 2010). Leur plus-value est reconnue dans leur utilisation pour le traitement efficace de diverses affections chroniques, invalidantes ou incurables (OMS, 2012). Reléguée au dernier plan il n'y a pas si longtemps par les politiques de santé des Etats africains, la médecine traditionnelle (MT) connaît un regain d'expansion. De nombreux facteurs sont souvent avancés pour expliquer le mouvement actuel en faveur de la MT. On peut en citer la facilité d'accès et leur coût abordable; les insuffisances de la médecine moderne et les habitudes socio-culturelles. Aujourd'hui, du fait que la médecine moderne manque cruellement de nouveaux traitements et que l'efficacité des médicaments tels que les antibiotiques (considérés comme la solution quasi universelle aux infections graves) décroît (Gueye, 2019), les traitements à base de plantes reviennent au premier plan.

L'expansion démographique et l'essor économique que connaissent les pays du monde et surtout ceux de l'Afrique ont des conséquences sur l'environnement et sur les plans d'eau dû au manque d'infrastructures d'assainissement (Sokegbe et al., 2017). Les besoins d'approvisionnement en eau potable (AEP) des populations rurales du Togo en général et celles riveraines au parc national de Togodo-Sud en particulier, sont très importants. Près de 10 % de togolais s'abreuvent grâce aux eaux de surface. 38 % de la population togolaise ne dispose pas, à moins de 30 minutes de marche, d'une source d'eau potable en 2015 (FPHN, 2018). Selon le gouvernement togolais, le taux national de desserte en eau potable est d'environ 70% en 2019 dont 58% en milieu urbain en 2020, et 50% en semi urbain, le Togo envisage d'atteindre les 80% d'ici 2025. Mais le pourcentage réel de la population utilisant une source d'approvisionnement en eau potable est beaucoup plus faible, en raison, d'une part, de la dispersion de l'habitat et, d'autre part, du mauvais entretien des équipements et de la discontinuité de leur fonctionnement. Deux contraintes, l'une naturelle et l'autre financière sont à l'origine de cette faible desserte dans la zone d'étude. La nappe phréatique de la zone est profonde et se situe entre 115 à 200 mètres (Barry et al., 2022). La population de la zone étant pauvre (Blivi et al., 2005) ne disposent pas de moyens financiers pour réaliser des forages dans les aquifères profonds de la zone. Face à cette situation, les eaux de surface dont celles de ruissèlement, de rivière et du fleuve Mono et des pluies sont de plus en plus sollicitées.

La zone d'étude, riveraine au Parc National de Togodo-Sud (PNTS), constituées en majorité d'ethnie Adja dont l'un des problèmes à la base est l'accès aux soins de santé primaire (Koudouvo et al., 2011a). Des récentes études sur les maladies soignées par la MT dans les populations riveraines du PNTS (Koudouvo et al., 2011a; Dolo et al., 2012) révèlent que la décoction et macération constituent les principales modes de préparation des phytomédicaments. Les préparations extemporanées de phytomédicaments (PEP) (les macérés, les décoctés et les infusés) sont souvent produites en utilisant l'eau fraîche et/ou l'alcool ordinaire comme solvant et consommé par voie orale sans chauffage. Les PEP à base de l'eau peuvent être sources de contaminations dues aux éléments traces métalliques (ETM) contenus dans ces eaux de consommation utilisées (ECU).

De nos jours, peu de données sont disponibles sur les contaminations en ETM dans les PEP et les ECU dans les milieux ruraux. La présente étude a eu pour objectif l'évaluation de la contamination en ETM des PEP et ECU des populations riveraines au PNTS, afin de mesurer les risques sanitaires auxquels sont exposées les personnes qui les utilisent.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 CADRE GEOGRAPHIQUE ET POPULATION DE L'ETUDE

La zone d'étude est composée des cantons (Tomety-Kondji, Sédomé, Gboto et Esse-Godjin) riverains au Parc National de Togodo-Sud (PNTS), situés dans la commune de Yoto 3 de la préfecture de Yoto (région maritime au Togo). La zone est située entre 09.00° et 17.00° latitudes Nord et entre 02°00 et 19°00 longitudes Est. Elle est limitée au nord par le PNTS, au sud par le canton d'Amoussimé, à l'est par le fleuve mono et à l'ouest par le canton de Kouvé. A la suite du quatrième recensement général de la population et de l'habitat en 2010 (RGPH4, 2010), la population était estimée à 42.196 habitants avec un taux de croissance démographique de 3,16 % par an. La

végétation est composée de celle du PNTS, des forêts disparates, des reliques de forêts galeries, savanes, prairies. La zone d'étude jouit d'un climat de type subéquatorial, comportant une grande saison des pluies de mars à juillet maximum en juin) et une petite saison des pluies de septembre à novembre (maximum en octobre) (Deneau, 1956). La pluviométrie est en moyenne de 800 mm contre 1200 mm pour le reste de la région (Badassam, 2021). L'humidité relative est de l'ordre de 76,5% en moyenne et une évaporation de 61.16 mm. Les vents dans la zone sont relativement faibles, leur vitesse moyenne entre un et trois mètres par seconde (1 à 3 m/s). D'une moyenne annuelle comprise entre 28 à 29 °C (Badameli et Dubreuil, 2010), les températures maximales sont, en général, plus élevées en saison sèche qu'en saison pluvieuse (direction générale de la météorologie nationale, 2021). Le groupe majoritaire reste les Adja.

2.2 MATÉRIEL

Les matériels utilisés pour cette étude sont essentiellement composés de:

- Fiches de relevé des données sur les PEP et les ECU;
- Appareil photo numérique pour les prises de vue;
- Flacons en polyéthylène propres d'un litre (1,5 L) pour le prélèvement des échantillons d'eau;
- GPS de marque Garmin gpsmap 62 pour le géo référencement des points;
- Logiciel de cartographie des coordonnées GPS;
- 02 glacières contenant des morceaux de glaces pour la conservation des échantillons;
- Réactifs (hydroxyde de sodium 5,0 N, acide sulfurique 5,25 N, nitriver 3, nitriver 5, cyanurate d'ammoniaque, salicylate d'ammoniaque, persulfate de potassium, etc.);
- Instruments de laboratoire (bêchers, éprouvettes graduées, pipette sérologique, poire de sécurité, cuves carrées de 10 ml, plaque chauffante, thermostat);
- Spectromètre d'absorption atomique de type ice 3000 SERIES THERMO FISCHER couplé à un émetteur de vapeur froide (le VP 100);
- Multi paramètres de marque Sanxin SX 736: ph/mv/Conductivity/DO pour la mesure in situ de certaines caractéristiques (ph, température, conductivité électrique, TDS) de la qualité des eaux

L'analyse statistique a été réalisée sur les échantillons (15 PEP et 15 ECU par saison) et à l'ensemble des paramètres (09 variables) en saison sèche et en saison pluvieuse. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel Excel 2016. Les valeurs des paramètres ont été comparées aux valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO, 2011) pour l'eau de boisson. L'application de toutes ces différentes méthodes a permis d'évaluer la qualité saisonnière des échantillons.

2.3 MÉTHODE

2.3.1 COLLECTE DES PRÉPARATIONS EXTEMPORANÉES DE PHYTOMÉDICAMENTS (PEP) ET DES EAUX DE CONSOMMATION UTILISÉES (ECU) POUR LES PRÉPARER

Les échantillons des PEP et ECU ont été prélevés au niveau des 15 PMT en deux campagnes: saison sèche (Avril 2021) et saison pluvieuse (Août 2021). Les coordonnées géographiques des lieux de prélèvement sont présentés ci-dessous (figure 1). A chaque PMT, l'échantillon de la PEP est pris instantanément après préparation en notre présence et l'ECU pour le préparer est aussitôt prélevé. En guise de référence, les prélèvements des échantillons ont été réalisés à chaque saison et pour chaque PMT avec les mêmes recettes et types d'eau afin d'évaluer l'évolution de la contamination des échantillons. Les échantillons ont été prélevés selon les normes NF EN ISO 5667-3 et FD T90-523-1 telles que décrites par Rodier et *al.* (2009). Au total, 15 échantillons de PEP et 15 échantillons d'ECU par saison (provenant des 15 PMT) ont été prélevés soit 30 échantillons de PEP et 30 échantillons d'ECU au cours des deux saisons dans des bouteilles en polyéthylène de 1,5 litres. Ces bouteilles sont préalablement lavées à l'acide nitrique (10%) puis rincées à l'eau distillée. Les échantillons ont été ensuite placés dans deux glacières contenant des blocs réfrigérants et transportés au Laboratoire d'Analyses de Géochimie Environnementale de l'Université de Lomé où ils ont été conservés au réfrigérateur à 4°C jusqu'aux analyses des paramètres physicochimiques (Issola et *al.*, 2008; Rodier et *al.*, 2009; Yao et *al.*, 2009b; Ouro-Sama, 2019). Les échantillons destinés au dosage des éléments traces ont été filtrés à 0,45 µm, acidifiés à 1 % avec l'acide nitrique afin de maintenir les éléments traces en solution et empêcher leur précipitation selon les normes françaises (FD T90-523-3; NF EN ISO 5667-3) puis conservés à température ambiante jusqu'aux analyses (Rodier et *al.*, 2009; Tay et *al.*, 2009). Cette acidification fortement recommandée permet ainsi d'éviter les phénomènes d'adsorption sur les colloïdes ou sur les parois du flacon, ou d'autres réactions d'ordre biochimique (N'guessan et *al.*, 2016; Sow, 2018).

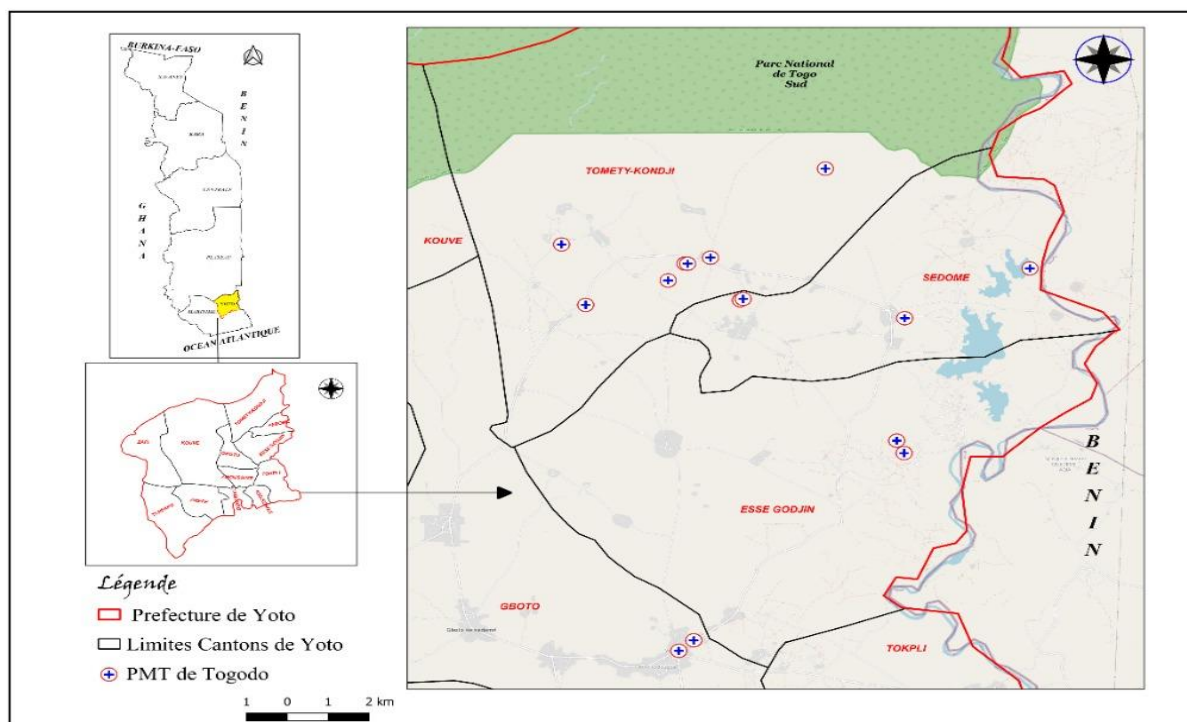


Fig. 1. Lieux de prélèvement des PEP et ECU

Source: OURO-DJERI Hafez, 2022

2.3.2 EVALUATION DES QUALITÉS EN ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES DES PEP ET DES ECU

2.3.2.1 MESURES EFFECTUÉES

TECHNIQUE DE DOSAGE

Au total 09 éléments traces ont été dosés. Il s'agit de l'Arsenic (As), du Fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+}), du Cadmium (Cd), du Cuivre (Cu), du Chrome (Cr), du Plomb (Pb), du Zinc (Zn), du Nickel (Ni) et du Mercure (Hg). Ce dosage a porté directement sur les échantillons acidifiés. Ainsi, les éléments traces (As, Fe, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn, Hg) ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) à flamme (air/acétylène) selon les normes (NF T90-020; NF EN ISO 7980; NFT 90-005; NF EN 1233; NF EN ISO 5961; NF T90-112). Quant aux éléments traces (As et Hg), ils ont été dosés par le spectromètre d'absorption atomique couplé à un générateur d'hydrure et de vapeur froide de type Thermo Scientific VP 100 avec flamme (air/acétylène) pour le As et sans flamme pour le Hg (NF EN ISO 11969; NF EN 1483).

La concentration finale (Cf) des éléments traces dans les échantillons a été calculée par la formule suivante:

$$C_f \text{ (mg/kg)} = \frac{\text{Concentration lue} \times \text{Volume de dilution}}{\text{Masse prélevée}}$$

PRINCIPE DE LA SPECTROMÉTRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE

La spectrométrie atomique étudie les absorptions de lumière par l'atome libre, c'est à dire lorsque celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre. Généralement, seuls les électrons externes de l'atome sont concernés. L'absorption des radiations lumineuses des régions visibles et UV du spectre par les atomes libres résulte d'un changement dans la structure électronique. On l'observe lorsque la radiation caractéristique (de résonance en général) d'un élément passe dans un nuage de vapeur atomique de l'échantillon. L'échantillon est vaporisé par aspiration de la solution dans une flamme.

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer Lambert selon laquelle l'absorbance est proportionnelle au coefficient d'absorption spécifique **a**, au trajet optique **b** et à la concentration **c**.

$$A = abc$$

Où:

$A = \log I_0/I$

I = intensité après absorption par les atomes

I_0 = intensité initiale de la source lumineuse.

L'échantillon vaporisé dans la flamme pour donner des atomes neutres est généralement une solution aqueuse. Ces atomes par absorption des rayons lumineux de longueur d'onde spécifique à l'élément passent à un niveau d'énergie supérieure. La mesure de l'intensité lumineuse avant et après le passage dans la vapeur atomique permet de déterminer la concentration de la solution étudiée.

PRÉPARATION DES SOLUTIONS ÉTALONS

Pour doser chaque élément chimique, il faut d'abord un étalonnage du spectrophotomètre à partir des solutions étalons avant de faire passer chaque échantillon.

La détermination des teneurs de nos échantillons en élément chimique a été réalisée par rapport à la courbe d'étalonnage avec une série de solutions étalons de concentrations bien connues. Les solutions étalons permettent donc d'étalonner l'appareil de mesure. Les concentrations des solutions étalons sont choisies en tenant compte des concentrations prévisibles des solutions étudiées. Celles-ci doivent être comprises entre les gammes des solutions étalons.

2.3.2.2 LIGNES DIRECTRICES SUR LES CONCENTRATIONS DE QUELQUES ETM

Le tableau 1 présente la concentration maximale admissible de quelques ETM toxiques dans les ressources en eau selon les normes internationales.

Tableau 1. Lignes directrices sur les concentrations de quelques ETM toxiques dans les ressources en eau

ETM	Fe	Hg	Cd	Pb	As	Cr	Cu	Ni	Zn
Concentration dans l'eau de surface OMS, 2006 (µg/L)		<0,5	<1	-	-	<2	-	<20	-
Limites de qualité des eaux brutes douces superficielles utilisées pour la production d'eau potable France, 2007 (mg/L)	0,2	0,001	0,005	0,05	0,1	0,05	-	-	5
Lignes directrices sur l'eau potable fixées par l'OMS, 2006 (mg/L)	300	0,001	0,003	0,01	0,01	0,003	2	0,07	3

Source: OMS, 2006; OMS, 2011; Arrêté français du 11/01/2007

3 RÉSULTATS

3.1 LES PEP ET ECU COLLECTÉS

3.1.1 PEP COLLECTÉS

Quinze (15) PEP par saison a été collecté lors de l'étude. La liste des identités des PMT est mis sous anonymat. L'échantillon de PEP est préparé instantanément en notre présence avec collecte des plantes et l'ECU. 73% des recettes sont en association. Le nombre de plantes par recette vari d'une plante à six plantes. Deux modes de préparation ont été recensé dont 67% en macération puis 33% en décoction. Les recettes sont à administrer par voie orale. Les parties de plantes utilisées sont à majorité les feuilles (54,29%), les tiges feuillées (17,14%) et les fruits (11,43%). Les maladies traitées par ces PEP sont entre autres les IST/VIH, hernie, paludisme, maux de ventre, anémie, hernie, etc. les noms des plantes ne sont pas listés dans le tableau ci-dessous pour des raisons de conservation des connaissances des PMT.

3.1.2 ECU COLLECTÉS

Les eaux de consommation utilisées (ECU) pour la préparation des PEP sont de plusieurs catégories. Nous avons regroupé ces eaux en 05 catégories notamment les eaux de pluie, les eaux de puits, les eaux de forage, les eaux de surface (fleuve et rivière) et les eaux de fontaines. Sur les 15 échantillons par saisons, 27,5% sont des eaux de pluie collectées, 26% sont des eaux de puits ensuite 19,5% sont des eaux de forage suivi de 14% des eaux de surface (fleuve et rivière) et 13% des eaux de fontaines de la Togolaise Des Eaux (TDE). Le canton de Sédomé comporte à elle seule les 14% des eaux de surface comme ECU tandis que le canton de Gboto comporte les 13% des eaux de fontaines.

3.2 ELÉMENTS PHYSICOCHIMIQUES DES PEP ET ECU

3.2.1 ELÉMENT PHYSICOCHIMIQUES DES PEP

Les valeurs statistiques des teneurs en élément traces (Fe, Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, Ni, As et Hg) des eaux en saison sèche et en saison pluvieuse varient de façon hétérogène. Les teneurs en fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+}) varient de 0 à 14,8 mg/l en saison sèche et de 0,05 à 12 mg/l en saison pluvieuse. Pour le Cd, elles oscillent respectivement entre 0 et 0,014 mg/l en saison sèche et entre 0 et 0,002 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en Pb varient de 0 à 0,103 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,113 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs varient respectivement de 0 à 0,15 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,091 mg/l en saison pluvieuse pour le Cu. Les teneurs en Cr obtenue en saison sèche varient de 0,099 à 0,13 mg/l contre 0,012 à 0,285 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en Zn varient de 0 à 3,206 mg/l en saison sèche et de 0 à 1,426 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs Ni varient de 0,021 à 0,195 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,131 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en As obtenue en saison sèche varient de 0 à 15,06 $\mu\text{g/l}$ contre 0 à 12,38 $\mu\text{g/l}$ en saison pluvieuse. Pour le Hg, les teneurs sont de 0 à 42 $\mu\text{g/l}$ en saison sèche et de 0 à 7,51 $\mu\text{g/l}$ en saison pluvieuse.

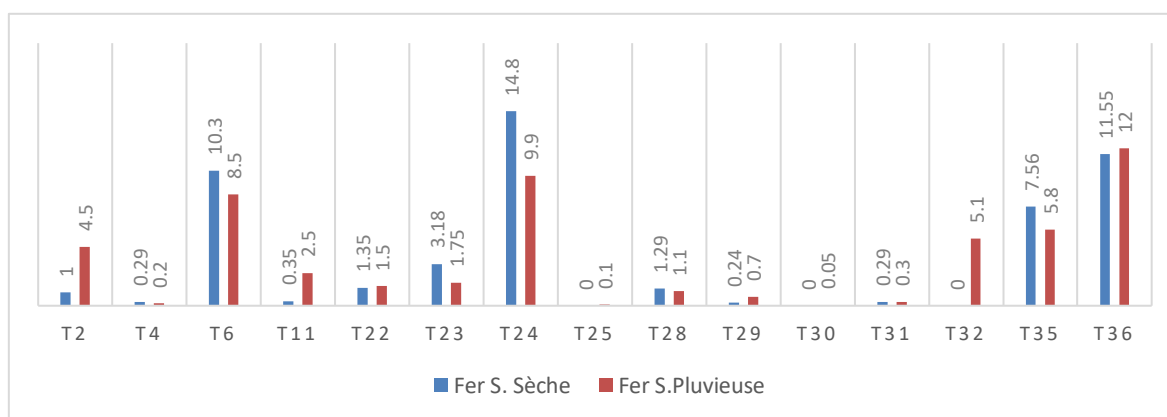


Fig. 2. Variation saisonnière et spatiale du Fer total des PEP

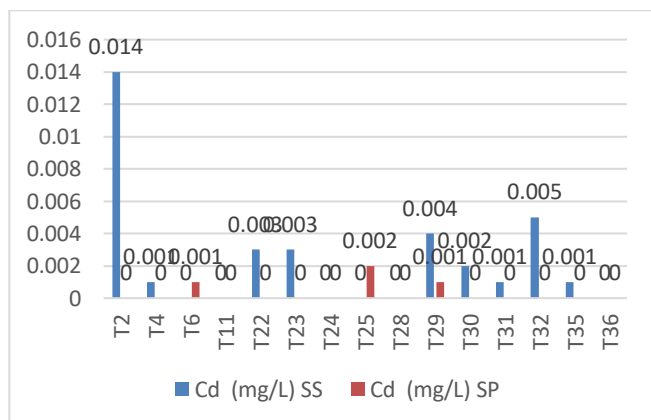


Fig. 3. Variation saisonnière et spatiale du cadmium des PEP

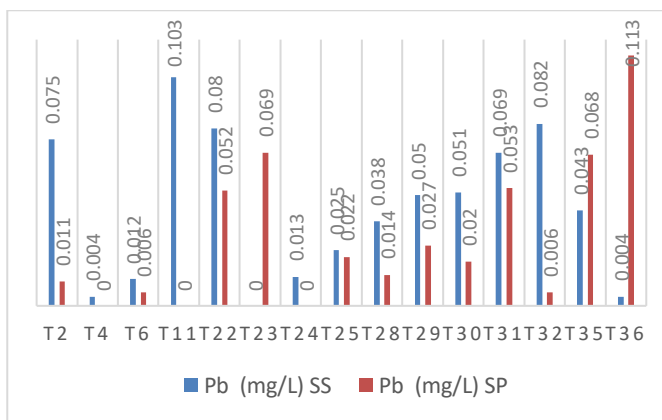


Fig. 4. Variation saisonnière et spatiale du plomb des PEP

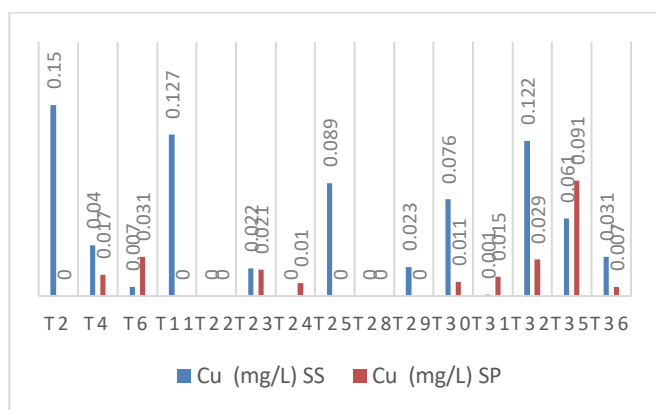


Fig. 5. Variation saisonnière et spatiale du cuivre des PEP

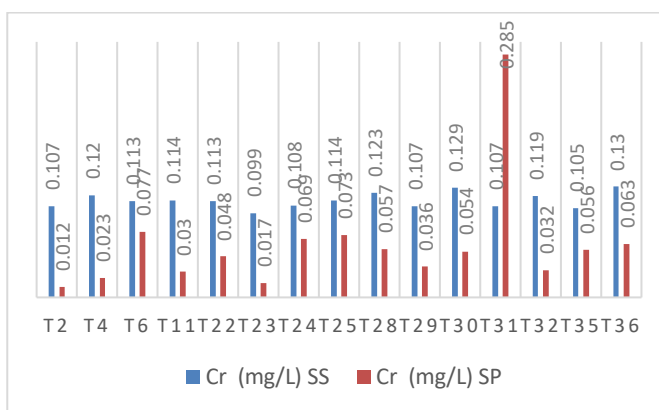


Fig. 6. Variation saisonnière et spatiale du chrome des PEP

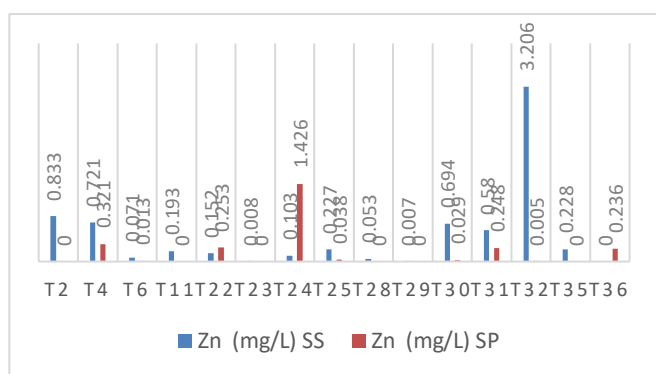


Fig. 7. Variation saisonnière et spatiale du zinc des PEP

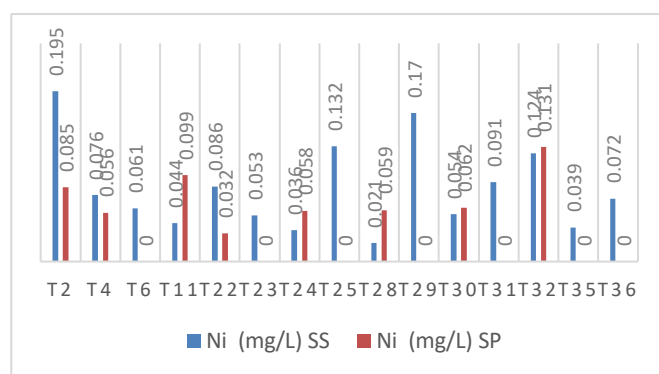


Fig. 8. Variation saisonnière et spatiale du nickel des PEP

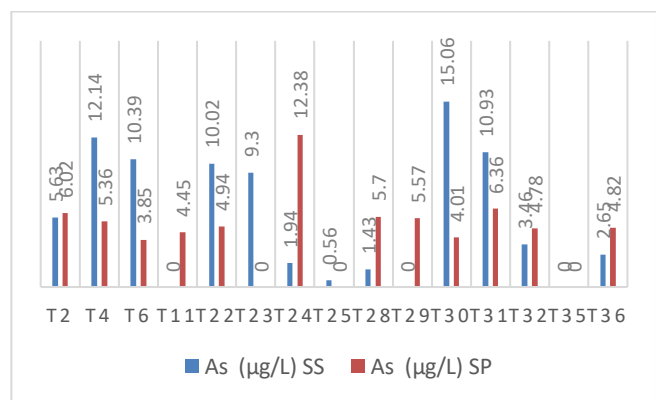


Fig. 9. Variation saisonnière et spatiale de l'arsenic des PEP

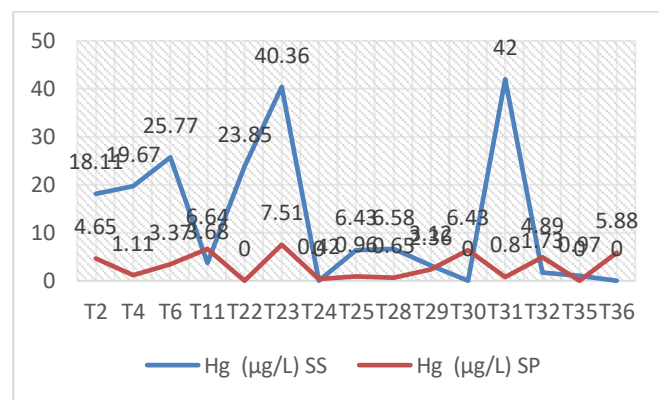


Fig. 10. Variation saisonnière et spatiale du mercure des PEP

3.2.2 ÉLÉMENTS PHYSICOCHIMIQUES DES ECU

Les teneurs en fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+}) varient de 0 à 1,28 mg/l en saison sèche et de 0 à 1,11 mg/l en saison pluvieuse. Pour le Cd, elles oscillent respectivement entre 0 et 0,008 mg/l en saison sèche et entre 0 et 0,001 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en Pb varient de 0 à 0,102 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,061 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs varient respectivement de 0 à 0,049 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,022 mg/l en saison pluvieuse pour le Cu. Les teneurs en Cr obtenue en saison sèche varient de 0,034 à 0,19 mg/l contre 0 à 0,029 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en Zn varient de 0 à 0,016 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,945 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs Ni varient de 0,006 à 0,114 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,201 mg/l en saison pluvieuse. Les teneurs en As obtenue en saison sèche varient de 0 à 9,46 µg/l contre 0 à 4,31 µg/l en saison pluvieuse. Pour le Hg, les teneurs sont de 41,36 à 88,1 µg/l en saison sèche et de 1,68 à 15,35 µg/l en saison pluvieuse.

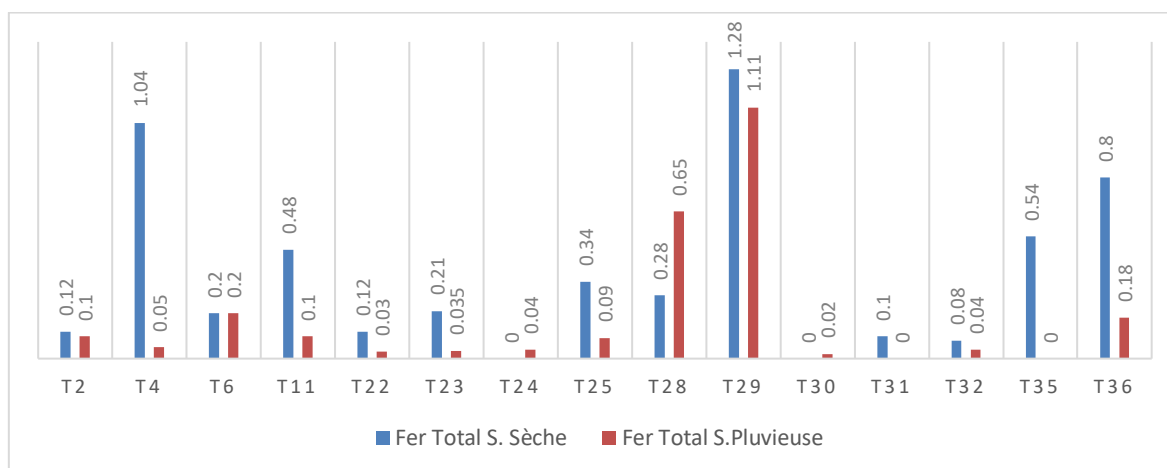


Fig. 11. Variation saisonnière et spatiale du fer total des ECU

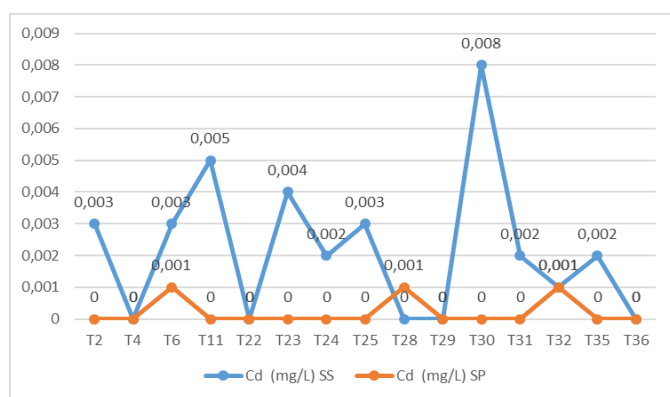


Fig. 12. Variation saisonnière et spatiale du cadmium des ECU

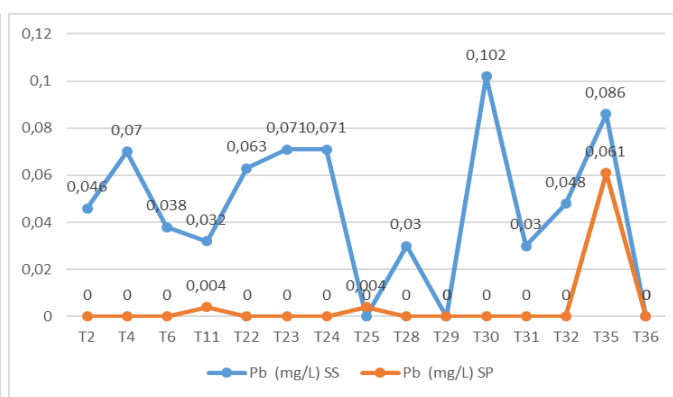


Fig. 13. Variation saisonnière et spatiale du plomb des ECU

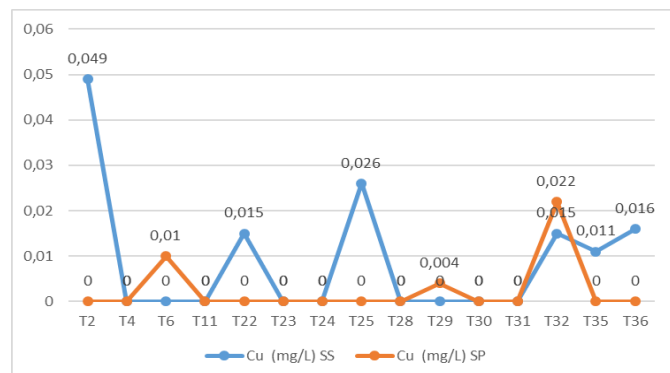


Fig. 14. Variation saisonnière et spatiale du cuivre des ECU

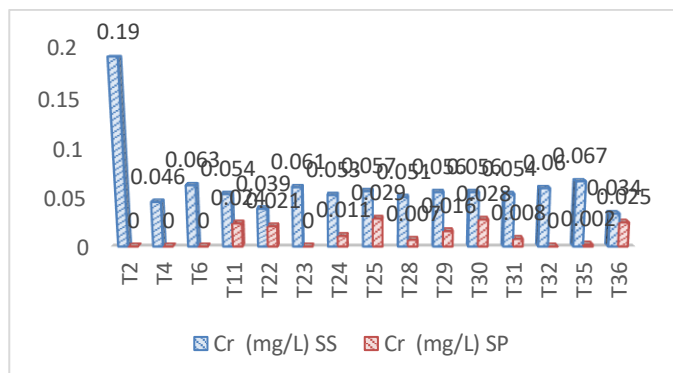


Fig. 15. Variation saisonnière et spatiale du chrome des ECU

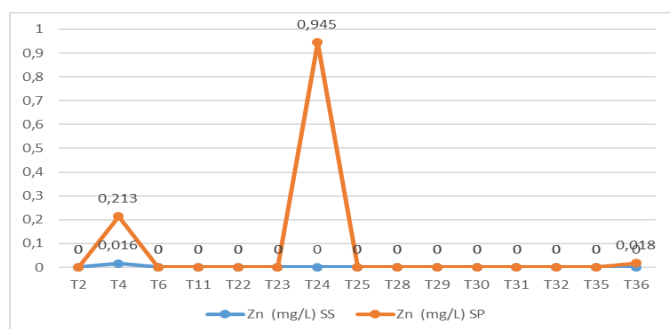


Fig. 16. Variation saisonnière et spatiale du zinc des ECU

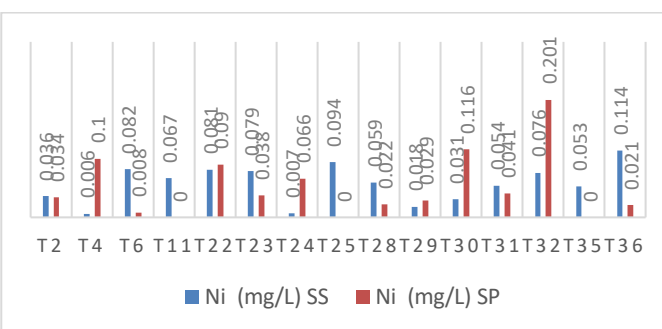


Fig. 17. Variation saisonnière et spatiale du nickel des ECU

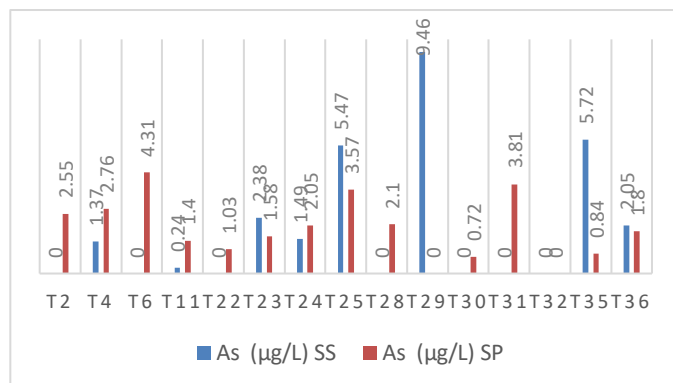


Fig. 18. Variation saisonnière et spatiale de l'arsenic des ECU

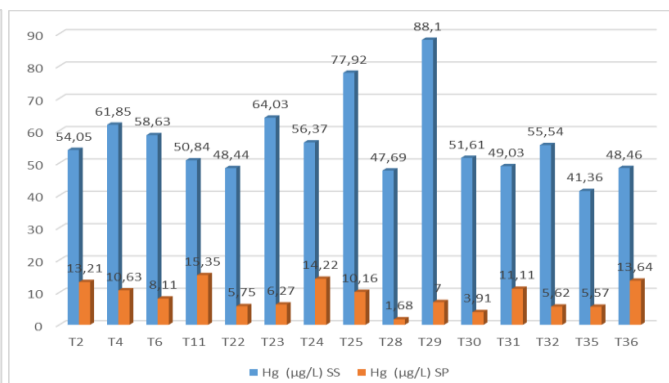


Fig. 19. Variation saisonnière et spatiale du mercure des ECU

4 DISCUSSION

Les paramètres analysés ont été faite simultanément sur les PEP et les ECU. Il s'agit d'une première du genre où les paramètres physico-chimiques ont été recherchés sur les PEP. Selon la revue bibliographique, la plupart des études ont concernés les screening phytochimique et biochimique des plantes et recettes de plantes et la qualité hygiénique de quelques recettes (Gbekley *et al.*, 2017).

Nous avons considéré dans le cadre du présent étude les paramètres similaires pour les PEP et ECU. Ainsi, les résultats ont été comparés prioritairement à la directive de l'OMS, ensuite à la norme française et à la valeur guide de l'UE.

Les éléments traces métalliques (ETM) analysés dans les échantillons des PEP et des ECU sont au nombre de neuf (09) à savoir le fer (Fe), le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le zinc (Zn), le nickel (Ni), l'arsenic (As) et le mercure (Hg). Des 09 ETM, seul le Fe n'est pas considéré comme toxiques dans les ressources en eau par l'OMS (2006). En effet, les éléments tels Cd, Hg, Pb, Zn, Ni, Cu, As et Cr autres les apports naturels comme les apports telluriques, sont des éléments chimiques caractéristiques d'une pollution de type urbain (Ayah *et al.*, 2015).

Le fer (Fe) est naturellement présent dans les eaux souterraines sous forme ferreux (Fe^{2+}) soluble ou sous forme ferrique (Fe^{3+}) insoluble pouvant être complexé, colloïdal ou précipité (Matini *et al.*, 2009). Il est beaucoup plus bénéfique que nuisible sur la santé. Cependant, sa présence dans l'eau ou préparation à base de l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui le précipitent (Belghiti *et al.*, 2013; Hane *et al.*, 2020). Les tableaux 12 et 13 montrent que les teneurs en fer total (Fe^{2+} et Fe^{3+}) dans les PEP et ECU sont très variables mais 76,70% des ECU et 43,33% des PEP restent dans les normes établies par l'OMS. Ces résultats se rapproche des travaux de Wanélus (2016) qui a mesuré dans la région métropolitaine de Port-au-Prince des concentrations qui varient de <0.015 à 0.066 mg/L en Fe. A l'absence d'activités industrielles dans la zone d'étude, la présence du fer dans les différents échantillons pourrait être d'origine géologique (décomposition de la roche et des minéraux). Pour 23,30% des ECU et 56,67% des PEP non conformes et supérieurs aux normes établies par l'OMS, ces résultats concordent avec ceux de Orelie (2017) dont le maxima de concentration en fer mesuré est de 2 mg/L. Ceci pourrait être dû au phénomène de lessivage des sols.

Les teneurs en Cuivre (Cu) varient de 0 à 0,15 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,091 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 0 à 0,049 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,022 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. Quant aux concentrations en Zinc (Zn), elles varient de 0 à 3,206 mg/l en saison sèche et de 0 à 1,426 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 0 à 0,016 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,945 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. Tous les échantillons sont conformes aux normes établies par l'OMS sauf 3,33% des PEP en saison

sèche sont supérieurs à la norme des concentrations en Zn. Nous observons une hausse des concentrations en Cu et Zn dans les ECU vers les PEP. D'autres auteurs ayant travaillé sur la même problématique ont trouvé des résultats qui se rapprochent de ceux de la présente étude. Wanélus (2016) a mesuré dans la région métropolitaine de Port-au-Prince des concentrations qui varient de 0.002 à 0.018 mg/L en Cu et de < 0.015 à 0.35 mg/L en Zn. Orélien (2017) a obtenu une teneur de 0.85 mg/L en Zn et 1.33 mg/L en Cu alors que la norme est de 2 mg/L. Ces situations sont probablement dues aux activités agricoles pratiquées dans la zone. Notons que le cuivre peut être non seulement utilisé comme fertilisant chimique mais aussi dans la fabrication des fongicides (INERIS, 2005). Vu que ces paramètres (Cu et Zn), à concentration élevée, peuvent poser de graves problèmes de santé (Levallois et Phaneuf, 1992; Gaudreau et Mercier, 1998; Mohod et Dhote, 2013), une attention particulière et rapide est nécessaire.

En ce qui concerne le Nickel (Ni), les concentrations varient de 0,021 à 0,195 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,131 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 0,006 à 0,114 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,201 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. 26,66% des ECU et 36,66% des PEP ont des concentrations au-delà de la norme de l'OMS. Les teneurs en Cd oscillent entre 0 et 0,014 mg/l en saison sèche, 0 et 0,002 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 0 et 0,008 mg/l en saison sèche et entre 0 et 0,001 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. 90% des échantillons des ECU et 83,34% des PEP sont conformes aux normes. Les teneurs en Pb varient de 0 à 0,103 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,113 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 0 à 0,102 mg/l en saison sèche et de 0 à 0,061 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. Nous avons relevé 43,33% des échantillons des ECU et 56,66% des échantillons des PEP qui ont des teneurs supérieurs aux normes. En général, nous constatons des teneurs dans les PEP supérieurs à ceux des ECU. Cette évolution peut être justifiée par des principes actifs et chlorophylles présents dans les PEP qui seront à l'origine de l'augmentation des teneurs. Les plantes présentent plus souvent des bioaccumulations en ETM selon son environnement (Gnandi et al., 2003). Les teneurs en Cr obtenues en saison sèche varient de 0,099 à 0,13 mg/l contre 0,012 à 0,285 mg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre une concentration en saison sèche variant de 0,034 à 0,19 mg/l et 0 à 0,029 mg/l en saison pluvieuse pour les ECU. L'ensemble des échantillons des PEP et 80% des ECU ont des concentrations dépassant les normes. Les concentrations en As obtenues en saison sèche varient de 0 à 15,06 µg/l contre 0 à 12,38 µg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre des teneurs en saison sèche variant de 0 à 9,46 µg/l et de 0 à 4,31 µg/l en saison pluvieuse. Nous relevons 20% des PEP dont les concentrations dépassent les normes. Les résultats concordent en partie avec ceux de Orélien (2017) dont la valeur mesurée a été inférieure à la limite de quantification (1 µg/L) pour tous les échantillons d'eau analysés.

Les teneurs en Cr et As sont plus élevées dans les PEP, les plantes médicinales seraient responsables du taux élevé des concentrations suite à une bioaccumulation. Pour le Hg, les teneurs sont de 0 à 42 µg/l en saison sèche et de 0 à 7,51 µg/l en saison pluvieuse pour les PEP contre 41,36 à 88,1 µg/l en saison sèche et de 1,68 à 15,35 µg/l en saison pluvieuse pour les ECU. L'ensemble des ECU et 73,33% des PEP ont des concentrations très élevées que la normale fixée par les normes de l'OMS. Les concentrations en Hg sont importantes dans les ECU que les PEP. Ce constat peut s'expliquer par la présence des plantes dans les PEP qui seraient responsables de la dissipation des concentrations en Hg. Selon Mohod et Dhote (2013), les métaux toxiques sont généralement présents dans les effluents industriels, municipaux et urbains. Le faible teneur en arsenic pourrait être lié à l'absence complète d'activités industrielles et d'effluents municipaux dans notre zone d'étude. Par ailleurs, l'usage des pesticides et herbicides dans la zone pourrait en être la cause. Wanélus (2016), dans son travail de caractérisation de l'eau destinée à la consommation humaine dans la région métropolitaine de Port-au-Prince, a trouvé des résultats identiques (< 1 µg/L) à la présente étude. Dans l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire, Ahoussi et al. (2013) ont montré aussi que des concentrations très faibles en arsenic (<0.002 mg/L) et autres ETM ont été obtenues dans les eaux des sources exploitées par la population du village Mangouin-Yrongouin. Il semble qu'en absence des activités industrielles, la concentration de ce metalloïde dans les eaux naturelles et autres solutions de consommation humaine ne pose presque pas de problème de conformité aux normes (Orélien, 2017).

5 CONCLUSION

L'étude physico-chimique des PEP et ECU a permis de constater que les paramètres présentent généralement de fortes variations saisonnières et spatiales. Cette étude a indiqué une variation significative entre les concentrations saisonnières des paramètres des PEP et des ECU. Selon les positions spatiales d'un canton à l'autre des échantillons, ces derniers sont pollués par les ETM avec des concentrations significativement supérieures aux normes de l'OMS pour plusieurs échantillons à majorité des PEP pendant les deux saisons. En outre, les teneurs sont pour la plupart supérieures en saison pluvieuse par apport fluviale avec des eaux de crues ayant lessivé les sols agricoles. Il a été noté des variations de concentrations beaucoup plus importantes au niveau des PEP. Ces teneurs dans les PEP au détriment des ECU étant aussi dépendantes de la présence des principes actifs et chlorophylles des plantes composantes ces préparations. Selon l'élément, ces plantes libèrent encore plus ou dissipent ce dernier. Cette situation pourrait causer des problèmes de santé nouveaux au détriment des maladies qu'on souhaite guérir.

REFERENCES

- [1] AFNOR. 1997. Eaux: méthode d'Essai. Directive relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine; directive 80/777/ CEE du 15juillet 1980. Ed Afnor Paris. 624p.
- [2] AFNOR. 1997. Qualité de l'Eau (Tome 2), Méthodes d'Analyse 1: Analyse Organoleptique, Mesures Physicochimiques, Paramètres Globaux, Composés Organiques (2e édn). AFNOR: Paris.
- [3] Ahoussi K. E., Koffi Y. B., Kouassi A. M., Soro B., Biemi J. 2013. Etude hydrochimique et microbiologique de l'ouest montagneux de la Cote d'Ivoire: Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). 17p.
- [4] Ayah, Massabalo. 2015. Contribution des apports anthropiques dans la pollution d'un hydrosystème lagunaire subtropical: hydrogéochimie du système lagunaire de Lomé. Thèse de doctorat de l'Université de Lomé, Lomé, Togo. 209p.
- [5] Badameli, A., et V. Dubreuil. 2010. Diagnostic du changement climatique au Togo à travers l'évolution de la température entre 1961 et 2010. XXVIII Colloque de l'association internationale de Climatologie, Liège, 2015, 7p.
- [6] Badassam T.E-E., 2021. Evaluation de la contamination en éléments traces dans les eaux et sédiments de la lagune de Lomé (Togo) et bioaccumulation chez deux espèces de poisson. Thèse de doctorat de l'Université de Lomé, Lomé, Togo. 195p.
- [7] Belghiti M. L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R. 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de la nappe plio-quaternaire de la région de Meknès (Maroc). 16p.
- [8] Blivi, A., 2005. Erosion côtière dans le Golfe de Guinée en Afrique de l'Ouest: exemple du Togo. Communication en Nairobi du 17 au 29 octobre 2005, REDDA/RIOD/UNCCD, 9p.
- [9] Deneau V., 1956: Singularités climatiques du Bas-Togo. Mémoire de la Météorologie Nationale, Paris.
- [10] DGEA. 2009. Étude de faisabilité des forages manuels au Togo : Identification des zones potentiellement favorables. Direction Générale de l'Eau et de l'Assainissement, Togo. 59p.
- [11] DGSCN. 2011. Rapport sur les résultats du 4ème Recensement Général de la Population et de l'Habitat (4ème RGPH, 2010). Bureau central du recensement (Togo), 65p.
- [12] Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. 28p.
- [13] Dolo A., Coulibaly M., Maïga B., Daou M., Arama C., Troye-Blomberg M., Doumbo O. 2012. Réponse humorale anti-Plasmodium falciparum AMA1 et MSP1 dans deux groupes ethniques vivant en sympatrie au Mali. Bulletin de la Société de pathologie exotique 105: 364±369.
- [14] Gaudreau, D. Et Mercier M., 1998. La contamination de l'eau des puits privés par les nitrates en milieu rural. Module de Santé environnementale. Direction de la santé publique. Régie régionale de la santé et des services sociaux de la Montérégie. ISBN 2-89342-107-5. 64 p.
- [15] Gbekley H. E., Katawa G., Karou S. D., Anani K., Tchadjobo T., Ameyapoh Y., Batawila K., Simpore J., 2017. Ethnobotanical Study Of Plants Used To Treat Asthma In The Maritime Region In Togo. Afr J Tradit Complement Altern Med., 14 (1): 196-212 doi: 10.21010/ajtcam.v14i1.22 196.
- [16] Gnandi, K., 2003, Les déchets miniers phosphatés, source de la pollution marine au Togo, J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), série A, Tome 7, vol. 2: pp. 75–90.
- [17] Gueye F. 2019, Médecine traditionnelle du Sénégal: exemples de quelques plantes médicinales de la pharmacopée sénégalaise traditionnelle. Thèse de doctorat de l'Université d'Aix- Marseille, Marseille, France. 176p.
- [18] Hane M., Diagne I., Ndiaye M., Ndiaye B., Dione C. T., Cisse D. Et Diop A., 2020. Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits et de forage consommées dans la commune de Sinthiou Maléme dans la région de Tambacounda (Sénégal). Int. J. Biol. Chem. Sci. 14 (9): 3400-3412, ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print). DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.34>.
- [19] INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques). 2005a. Zinc et ses dérivés. Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. 69p.
- [20] Institut National de la Statistique et des Études Économiques et Démographiques (INSEED), 2010. Perspectives démographiques du Togo 2011-2031; 26p.
- [21] Issola Y., Marcel A.K., Dougni B.K., Jean B., 2008. Caractéristiques physico-chimiques d'une lagune côtière tropicale: lagune de Fresque (Côte d'Ivoire). Afrique Science, 4 (3): 368-393.
- [22] Jiofack T, Fokunang C, Guedje N, Kemeuze V, Fongnzossie E, Nkongmeneck BA, Mapongmetsem PM, Tsabang N. 2010. Ethnobotanical uses of medicinal plants of two ethnoecological regions of Cameroon. International Journal of Medicine and Medical Sciences, 2 (3): 60-79.
- [23] Koudouvo K, Karou DS, Kokou K, Essien K, Aklikokou K, Glitho IA, Simpore J, Sanogo R, De Souza C, Gbeassor M. 2011a. An ethnobotanical study of antimalarial plants in Togo Maritime Region. Journal of Ethnopharmacology 134 (2011) 183–190. DOI: 10.1016/j.jep.2010.12.011
- [24] Levallois P. et Phaneuf D. 1992. Les risques associés à la contamination de l'eau potable par les nitrates. Bulletin d'information en santé environnementale. Centre de santé publique de Québec. Volume 3 - No 3. 18p.
- [25] Matini L, Moutou JM, Kongo-Mantono MS. 2009. Evaluation hydrochimique des eaux souterraines au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo. Afr. Sci., 5 (1): 82-98.

- [26] Mohod C. V., Dhote J. 2013. Review of heavy metals in drinking water and their effect in human health. 5p
- [27] N'Guessan K, Tra Bi FH, Koné MW. 2009. Étude ethnopharmacologique des plantes antipaludiques utilisées en médecine traditionnelle chez les Abbey et Krobou d'Agboville (Côte-d'Ivoire). *Ethnopharmacologia*, 44: 42–50.
- [28] NM 03.7.009, (2012), Qualité des eaux Détermination du pH.
- [29] NM 03.7.011, (2001), Qualité des eaux Détermination de la conductivité électrique.
- [30] NM 03.7.013, 1999, Qualité de l'eau - Dosage des nitrites - Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
- [31] NM. 03.7.012 (1999), Qualité de l'eau Dosage de l'ammonium, Méthode spectrométrique manuelle.
- [32] NM.03.7.001, (2006), Qualité des eaux d'alimentation humaine.
- [33] NM.03.7.002, (2011), Contrôle et surveillance de l'eau dans les réseaux d'approvisionnement public.
- [34] NM.03.7.016, (1990), Qualité des eaux Détermination de l'odeur.
- [35] NM.03.7.017, (1990), Qualité des eaux Détermination du goût.
- [36] NM.03.7.024 (1990), Qualité de l'eau Détermination des chlorures, Dosage volumétrique par la méthode au nitrate mercurique.
- [37] Orélien F., 2017. Étude de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dans le sous-bassin versant de Ravine Diable (Anse-à-Veau). Mémoire de Master, Communauté française de Belgique, 85 p.
- [38] Ouro-Sama, K. 2019. Régime alimentaire et étude écotoxicologique liée aux éléments traces d'un poisson Siluriforme (*Chrysichthys nigrodigitatus*, Lacépède, 1803) du complexe Lac Togo-Lagune d'Aného. Thèse de doctorat de l'Université de Lomé, Lomé, Togo. 256p.
- [39] Rodier J., Legude B., Merlet N. Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H. et Rodi L. 2009. L'analyse de l'eau. 9th Edition. Dunod.1579p.
- [40] Sokegbe O.Y., Djeri B., Kogno E., Kangnidossou M., Mensah R.T., Soncy K. et Ameyapoh Y., 2017. Les risques sanitaires liés aux sources d'eau de boisson dans le district n°2 de Lomé-commune: cas du quartier d'Adakpamé. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11 (5): 2341-2351. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.31>.
- [41] UE. 2015. Directive (UE) n° 2015/1787 du 06/10/15 modifiant les annexes II et III de la directive98/83/CE du Conseil relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.
- [42] Wanélus F. 2016. Caractérisation physico-chimique de l'eau destinée à la consommation humaine dans la Région Métropolitaine de Port-au-Prince, Haïti. Travail de Fin d'Etudes. 64p.
- [43] WHO (World Health Organization). 2006. Guidelines for drinking-water quality. First addendum to third edition. Volume 1. Recommendations. 595p.
- [44] WHO (World Health Organization). 2011. Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. Geneva. 564p.
- [45] Yao K. M., Métongo B. S., Trokourey A. & Bokra Y., 2009. La pollution des eaux de la zone urbaine d'une lagune tropicale par les matières oxydables (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire). *AJOL, Int. Biol. Chem. Sci.* 3 (3): 598-605.

Contribution de la télédétection et d'un SIG à la cartographie des unités de l'occupation du sol et ses changements face au problème d'inondation sur le plateau d'Allada au Bénin entre 1986-2020

[Contribution of remote sensing and GIS to the mapping of land use units and its changes in the face of the flooding problem on the Plateau of Allada in Benin between 1986 and 2020]

KPOHA Josiane Nadège^{1,3}, AKOKPONHOUE Hounnigbo Bertrand^{2,3}, OREKAN Vincent¹, and N'Guessan Bi Vami Hermann⁴

¹Department, Biodiversity and Environmental Expertise Laboratory, University of Abomey-Calavi, BP: 677 Abomey Calavi, Benin

²Laboratory of Applied Hydrology, National Water Institute (INE), University of Abomey-Calavi, 01BP. 526 Cotonou, Benin

³International Chair in Mathematical Physics and Applications (CIPMA UNESCO Chair), University of Abomey-Calavi, 072 BP. 50 Cotonou, Benin

⁴Centre Universitaire de Recherche Appliquée en Télédétection (CURAT, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, 22 BP 801 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this study is to map the land cover units (LCU) of the Plateau of Allada from the supervised classification by the maximum likelihood method of Landsat multi-spectral images (TM 1986, ETM+ 2000 and OLI 2020) and to highlight their evolutions by analyzing the areas and the rates of change. The approach used combines image pre-processing, identification of land use unit classes, construction and execution of supervised classification by the maximum likelihood method and quantification of change. All of these treatments applied to the images, allowed us to obtain the land use maps in 1986, 2000 and 2020 with five land use classes (forest/gallery/swamp, plantation, mosaic/fallow/crops, dwellings/bare ground, and water yard). Analysis of the dynamics of the land use units from 1986 to 2020 shows a progressive trend in the area of the mosaic/crop/fallow (25.97%) and habitat/bare soil (10.51%) classes and a regressive trend in the forest/gallery/swamp (-5.82%), plantation (-0.13%) and water (-0.25%) classes. Quantification of change from 1986 to 2020 is assessed by an estimated rate of change (Tc) of -5.82% (forest/gallery/swamp); 1.38% (mosaic/fallow/crop); 2.79% (dwellings/bare ground); -0.13% (plantations) and -0.25% (watercourse). This evolution is due to the expansion of the housing/bare soil and the mosaic/fallow/crops areas. This is the result of the strong human pressure on the vegetation formations. These results constitute a decision-making tool for the sustainable management and urbanisation of the Plateau of Allada.

KEYWORDS: Land use dynamics, change detection, supervised classification, maximum likelihood, progressive tendency, regressive tendency.

RESUME: L'objectif de cette étude est de cartographier les unités d'occupation du sol (OCS) du Plateau d'Allada à partir de la classification supervisée par la méthode de maximum de vraisemblance des images multi spectrales à multitemps de Landsat (TM 1986, ETM+ 2000 et OLI 2020) et ressortir leurs évolutions en analysant les superficies et les taux de changement.

L'approche utilisée combine le prétraitement des images, l'identification des classes d'unités d'occupation du sol, la construction et l'exécution de la classification supervisée par la méthode maximum de vraisemblance et la quantification du changement. L'ensemble de ses traitements appliqués aux images, ont permis d'obtenir les cartes d'occupation du sol en 1986, 2000 et 2020 avec cinq classes d'occupation du sol (forêts/galeries/marécage, plantation, mosaïque/jachères/cultures, habitations/sols nus, et cour eau). L'analyse de la dynamique des unités d'occupation du sol de 1986 à 2020 présente une tendance progressive des superficies des classes de mosaïques/cultures/jachères de (25.97%) et habitats/sol nu (10.51%) et une tendance régressive des classes de forêt/galerie/marécage (-5.82%), plantations (-0.13%) et eau (-0.25%). La quantification du changement de 1986 à 2020 est évaluée par un taux de changement (Tc) estimé à -5.82% (forêt/galerie/marécage); 1.38% (mosaïque/jachères/cultures); 2.79% (habitations/sols nus); -0.13% (plantations) et -0.25% (cour d'eau). Cette évolution est due à l'expansion des zones habitations/sol nu, et la mosaïque/jachère/cultures. Ceci résulte de la forte pression humaine exercée sur les formations végétales. Ces résultats constituent un outil d'aide à la prise de décision, pour une gestion durable et l'urbanisation du plateau d'Allada.

MOTS-CLÉS: Dynamique occupation du sol, détection du changement, classification supervisée, maximum de vraisemblance, tendance progressive, tendance régressive.

1 INTRODUCTION

La télédétection spatiale offre une opportunité d'observer de façon continue la surface de la Terre et permet de générer de grandes bases de données dont l'exploitation fournit des informations sur l'état des ressources naturelles, des écosystèmes locaux et de leur évolution. Depuis quelques années, la production de données sur l'occupation du sol constitue un intérêt de plus en plus croissant dans les projets environnementaux et la gestion des écosystèmes [1] (Observatoire du Sahara et du Sahel, 2015). Les unités d'occupation du sol évoluent au cours du temps. En télédétection, cette évolution est à la fois un mouvement spectral et/ou spatial d'une entité à travers le temps [2], [3]. Reconnaître un changement consiste en la cartographie de régions changées dans plusieurs images de la même scène prise à différentes dates [4]. Les changements les plus spectaculaires sont d'origine anthropique et sont relatifs aux modes d'occupation du sol [5]. Le Bénin, plus précisément le plateau d'Allada est confrontée à d'énormes difficultés liées à une forte variabilité spatio-temporelle des éléments de son climat. La mauvaise répartition des précipitations et la dégradation des ressources naturelles (eau, végétation, etc.) et de celle humaine (les bâtis) ou le sol constituent de véritables fléaux qui fragilisent le mode de vie des populations. La dynamique des unités d'occupations du sol au cours de ces trente-quatre (34) dernières années est liée à l'action anthropique dans un contexte de la croissance démographique incontrôlé des villes à travers l'urbanisation spontanée. Pour observer et évaluer ces évolutions environnementales dans le temps et dans l'espace, la géomatique et précisément la télédétection sont des outils incontestables de nos jours qui permettent de suivre les éléments caractéristiques qui leur sont propres. Les SIG et la télédétection constituent des approches fiables et pertinentes dans la mise en évidence des unités de l'occupation du sol dans le temps et dans l'espace. Connaître la répartition et l'évolution de l'occupation des sols est essentiel pour évaluer ses conséquences sur l'hydrologie. En effet, ils permettent d'inventorier les différentes unités d'occupation de sol afin d'analyser leur changement dans une période donnée. En appliquant une méthodologie de traitement spécifique et mettre à la disposition des autorités les résultats obtenus pour une prise de décision harmonieuse comme démontré dans les travaux de [6], [7], [8], [9], [10], [5], [11]. Depuis l'avènement des capteurs à haute résolution (HRS) et très haute résolution spatiale (THRS) lancés à partir des années 1990, les méthodes de traitements numériques des images sont de plus en plus développées pour la discrimination des unités d'occupations de sol. La classification supervisée par la méthode de maximum de vraisemblance, utilisée pour présenter l'évolution des unités d'occupation du sol, et de montrer l'impact de leur changement sur le secteur d'étude, évaluer la dynamique de l'occupation du sol, répond à un problème de discrimination. Cette méthode consiste à appliquer le même traitement à chaque pixel, indépendamment des pixels voisins. Cette approche génère des règles de classification de façon automatique à partir d'un apprentissage. C'est une technique de classification supervisée qui, comme toute méthode supervisée, requiert des échantillons de référence (parcelles d'apprentissage) pour chaque classe ainsi qu'un espace d'attributs discriminant. L'objectif général de la présente étude est d'analyser la dynamique d'occupation de sol de 1986 à 2020. De façon spécifique, il s'agit de cartographier les unités d'occupation du sol par la méthode de classification supervisée de maximum de vraisemblance en 1986, 2000 et 2020 à partir des images Landsat et ressortir leurs évolutions en analysant les superficies et les taux de changement afin de voir leurs implications dans les problèmes d'inondations sur le plateau d'Allada. Ce qui permettra de comprendre le niveau d'implication de chaque unité d'occupation de sol dans la cause des inondations présent et future sur le Plateau d'Allada. À partir des résultats obtenus, nous analyserons ensuite la dynamique spatiale de l'occupation du sol et identifierons les principaux facteurs responsables des changements dans la zone d'étude ainsi que les risques environnementaux.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'étude est faite dans la zone Guinéenne du Bénin et plus précisément sur le plateau d'Allada. C'est l'une des régions du Bénin où le taux d'accroissement démographiques est élevé (5,06%) selon [12]. Cette région du Bénin constitue le grenier de Cotonou, la plus grande ville du pays. Il s'étend des méridiens 1°58'26" à 2°25'55" Est et des parallèles 6°21'38" à 6°57'08" Nord. Le plateau d'Allada (Figure 1) descend vers les vallées de l'Ouémé à l'est, du Couffo à l'ouest et la dépression de la Lama au nord. Il est limité au sud par la plaine côtière (sur laquelle est installée la lagune côtière). Il couvre une superficie d'environ 2140 km²; ce qui représente 66% du département de l'Atlantique et environ 2% du territoire national [12]. Il rassemble Sept (7) communes appartenant toutes au département de l'Atlantique (Figure 1). Le secteur d'étude bénéficie d'un climat subéquatorial. Le régime pluviométrique (240mm/j) qui règne sur le plateau d'Allada fait partie des difficultés des populations du secteur d'étude. Il est à noter que les pluies sont particulièrement fortes dans les mois de mai, juin et septembre occasionnant des inondations sur le plateau d'Allada avec pour corollaire l'état des voies et l'état de santé des habitants. Les localités parcourues au cours des travaux de terrain connaissent des affres de plus en plus régulières des pluies ces dernières années et la fréquence d'inondation évolue à la hausse.

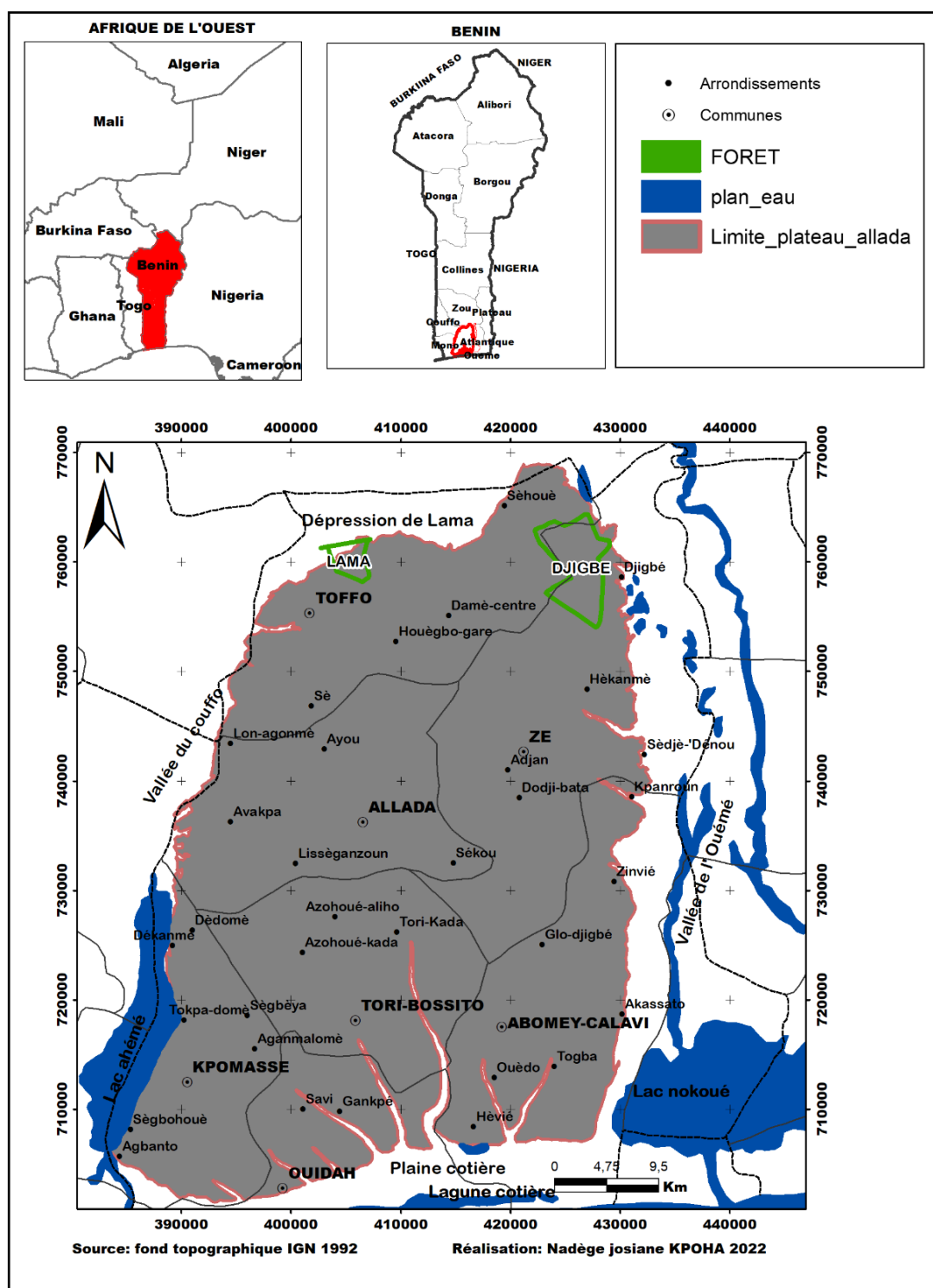


Fig. 1. Situation géographique du plateau d'Allada

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 DONNÉES ET MATÉRIEL

Les données satellitaires utilisées dans la présente étude sont issues de plusieurs capteurs Landsat il s'agit: Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper (ETM+) et Operational Land Imager de Landsat 8 (OLI) dont les différentes caractéristiques sont récapitulées dans le tableau 1.

Ces images ont été choisies du fait de leurs caractéristiques spectrales (images prises sur différentes longueurs d'ondes), spatiales (haute résolution) et temporelle (bonne répétitivité) permettant une bonne cartographie de l'occupation du sol à grande échelle. Les bandes du

multispectrale (bleue, verte, rouge, proche infrarouge, infrarouge moyen et lointain), ont servi à la réalisation de ce travail. Ces scènes d'images ont été acquises en janvier pendant la saison sèche. Le Modèle Numérique d'Altitude (MNT), une représentation numérique de la topographie sur une maille de 30 m x 30 m est exploité pour extraire le relief et la pente de la zone d'étude. Trois logiciels ont permis la réalisation de cette étude: Ecognition Developer. 9.01, pour la segmentation et à la classification d'images; ENVI 5.3 pour la classification supervisée; QGIS 2.18 pour l'interprétation des images, l'extraction de la zone d'étude, habiller et éditer les différentes cartes; ArcGis.10.3.1 ont été utilisé pour les traitements dans un SIG et la gestion des bases de données et enfin Microsoft Excel pour l'analyse statistique des résultats obtenus.

Tableau 1. Récapitulatif des différentes caractéristiques des image Landsat utilisées

Capteurs	Scènes	Bandes spectrales	Résolution spatiale	Date d'acquisition
TM	192-55 192-56	Visible (B-V-R)	30 m	Janvier 1986
ETM+		Proche Infrarouge (PIR)		Mars 2000
OLI		Moyen Infrarouge (MIR)		Février 2020

3.2 MÉTHODOLOGIE

La méthodologie adopter se résume au prétraitement et traitement numériques des images. Elle consiste donc à comparer les cartes des unités d'occupation du sol de 1986, 2000 et 2020. Le but est de mieux distinguer et extraire les classes des unités d'occupation du sol sur les images Landsat, par la méthode de Classification supervisé. Le processus s'est fait en cinq (05) étapes: i) le prétraitement des images TM (1986), ETM+ (2000) et OLI (2020); ii); l'identification des unités d'occupation du sol, iii) le traitement numérique des images Landsat de 1986, 2000 et 2020; iv) l'exécution et la validation des résultats de la classification supervisée par la méthode maximum de vraisemblance; puis v) la quantification du changement.

3.2.1 PRÉTRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES

Après la correction géométrique sur l'image TM de 1986, deux types de pré-traitements ont été appliqués sur les images Landsat. Il s'agit de la correction atmosphérique et radiométrique. La mosaïque des scènes par capteurs grâce à l'outil « Mosaic puis l'extraction de la zone d'étude à partir de l'outil « Image clip » ont été effectuées sur les différentes images. La couverture de la zone d'étude a nécessité deux (02) scènes du découpage Landsat (path/row 192/055 et 192/056). La correction atmosphérique réalisée dans le logiciel ENVI a été exécuté par l'outil « Apply FLAACH Setting » L'option « Radiometric Calibration » dans le même logiciel a permis d'effectuer la correction radiométrique. Ces opérations préalablement réalisées (corrections radiométrique et atmosphérique) ont permis d'avoir des images ayant des informations radiométriques uniforme et sans bruit.

3.2.2 IDENTIFICATION DES CLASSES D'UNITÉ D'OCCUPATION DU SOL

L'unité du paysage ou faciès image est défini comme un ensemble de surfaces ayant des caractéristiques (spectrale, morphologique et textural) communes sur une image. Les rayonnements réfléchis en fonction de la longueur d'onde sont appelés signature spectrale de la surface. L'eau, les sols nus et les habitats, reflètent différemment selon les canaux. Les images satellitaires Landsat TM, ETM et OLI sont caractérisées respectivement 6, 7 et 11 bandes. Chaque bande contient des informations propres qu'elle capte grâce à la différence des longueurs d'onde. La composition colorée vient mettre en évidence ces différentes informations qui sont déduite par une analyse basée sur le mélange de couleurs primaires et les signatures spectrales des différentes entités de la scène. Elle produit une synthèse d'informations en vue de pouvoir discriminer les différents types d'occupation du sol. Après plusieurs compositions colorées, celle des bandes du proche infrarouge (PIR), le rouge et le bleu (4-5-3) des images de 1986, 2000 et 2020 a été choisie parce qu'elle permet de mieux discriminer les entités d'occupation du sol.

La bande du Proche Infrarouge (PIR) réfléchit plus la végétation et distingue les cultures des sols nus; la bande rouge encore appelé Moyen Infrarouge (MIR 1) sépare les forêts des cultures et la bande bleue ou l'Infrarouge Lointain (MIR 2) a une forte réflectance pour les sols nus et les zones d'habitats. Lors des travaux de terrain effectuée dans la zone d'étude, une observation directe et plus rapprochée a été effectuée. À partir de cette observation, cinq (5) classes d'occupations du sol ont été retenues:

- Classe de Forêt/galerie/marécage: constitue les efforts de conservation de la terre et de la biodiversité dans la zone entièrement dégradée. Elle est marquée par des micro-plantations ou quelques pieds d'arbres conservés sur des sites sacrés communément appelés forêts sacrées ou des forêts communautaires;
- Classe de mosaïque/cultures/jachères: constitue la classe majoritaire d'occupation du sol. Il s'agit essentiellement des mosaïques de cultures, ou par endroit des cultures en terrasse;
- Les plantations: Elles sont caractérisées par des palmiers à huile, des champs d'ananas, des savanes arbustives et des savanes herbeuses fragmentées dans les zones d'agriculture quasi traditionnelle;

- Classe habitations/sol nu: Elle est représentée par les localités, des habitats épars dans les zones de cultures et des habitats regroupés formant les zones urbaines. Les sols débroussaillés et les pistes ou routes;
- Classe Eau: représente les cours d'eau et les zones humides

3.2.3 PRÉ-CLASSIFICATION SUPERVISÉE ET CHOIX DES SITES D'ENTRAÎNEMENT

Le choix des sites d'entraînement est une opération qui consiste à délimiter des parcelles ou des portions représentant tous les types d'occupation de sol obtenus après la composition colorée 4-5-3 et 5-7-4 des images de LANDSAT. En effet, selon les travaux [13], [14], [15], [11] la composition colorée des bandes 4-5-3 et 5-7-4 présentent les meilleures discriminations des types d'occupation du sol. Aussi, les sites ont été choisis en fonction de leur accessibilité, nous avons sélectionné des pixels spectralement représentatifs dans chaque site d'entraînement. Sur la base des polygones ainsi définis, l'extraction automatique des valeurs de pixels contenues à l'intérieur des polygones et le calcul de leur moyenne et écart-type produiront la signature spectrale de chaque classe à partir des bandes choisies de l'image Landsat TM, ETM+ et OLI.

3.2.4 MISSION DE TERRAIN

Les images issues de la composition colorée 4-5-3 de TM et ETM+, 5-7-4 et 5-6-7 de l'image OLI, ont été utilisées pour la mission de vérification sur le terrain. Cette mission a été effectuée du 10 Novembre au 10 Décembre 2021. Nous avons défini une placette dans laquelle toutes les classes sont identifiables. Les points de contrôle ont été choisis à cause de leurs accessibilités. Le but de cette mission est de reconnaître et de définir les éléments paysagers de la zone d'étude et d'effectuer des relevés de points GPS représentatifs de chaque classe d'occupation du sol.

3.2.5 CLASSIFICATION SUPERVISÉE PAR LA MÉTHODE DE MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE

La bonne connaissance de la zone d'étude nous a permis d'opter pour une classification supervisée. Elle consiste à appliquer le même traitement à chaque pixel, indépendamment des pixels voisins. L'algorithme maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood) a été choisi pour la classification des bandes 4-5-3 TM et de ETM+ des bandes 5-7-4 OLI de la composition colorée. Selon [16], cette technique génère des règles de classification de façon automatique à partir d'un apprentissage. C'est une technique de classification supervisée qui, comme toute méthode supervisée, requiert des échantillons de référence (parcelles d'apprentissage) pour chaque classe ainsi qu'un espace d'attributs discriminant. En effet, cette méthode calcule la probabilité d'appartenance d'un pixel à une classe donnée. Le pixel sera affecté à la classe pour laquelle la probabilité est la plus forte. Cependant, si cette probabilité n'atteint pas le seuil escompté, le pixel est classé "inconnu". Ensuite, la qualité de la classification obtenue a été évaluée à l'aide des paramètres calculés par la matrice de confusion que sont la précision globale et le coefficient Kappa [13]. Appelée aussi tableau de contingence, la matrice de confusion est un tableau affichant les statistiques de la précision de classification d'une image, notamment le degré de classification erronée parmi les diverses classes. Elle est calculée avec les valeurs exprimées en pixels et en pourcentage. De plus, d'autres mesures synthétiques de fiabilité de la classification peuvent être calculées: la précision pour l'utilisateur, la précision pour le réalisateur, les erreurs d'omission et de commission [17].

POST-TRAITEMENT

Après la classification de l'image, la matrice de confusion a été exécutée afin de détecter les erreurs, la séparabilité entre les classes et la précision.

La précision globale de l'image 1986 est 85,99%, avec un coefficient de Kappa égale 0,79. Celle de 2000 a une précision 84,82% et un coefficient de Kappa fixé à 0,78. Enfin l'image 2020 présente une précision de 90,97 avec un coefficient de Kappa de 0,87. Ces résultats montrent qu'il y a une bonne séparabilité entre les classes et que la précision est bonne.

VECTORISATION ET CARTOGRAPHIE

La carte d'occupation de sol en mode raster est convertie en donnée vecteur dans le but de faciliter leur gestion dans le logiciel d'analyse SIG. La figure 2 présente la synthèse méthodologique adoptée dans le plateau d'Allada pour cartographier les unités d'occupations du sol à partir des données de télédétection générées dans un SIG.

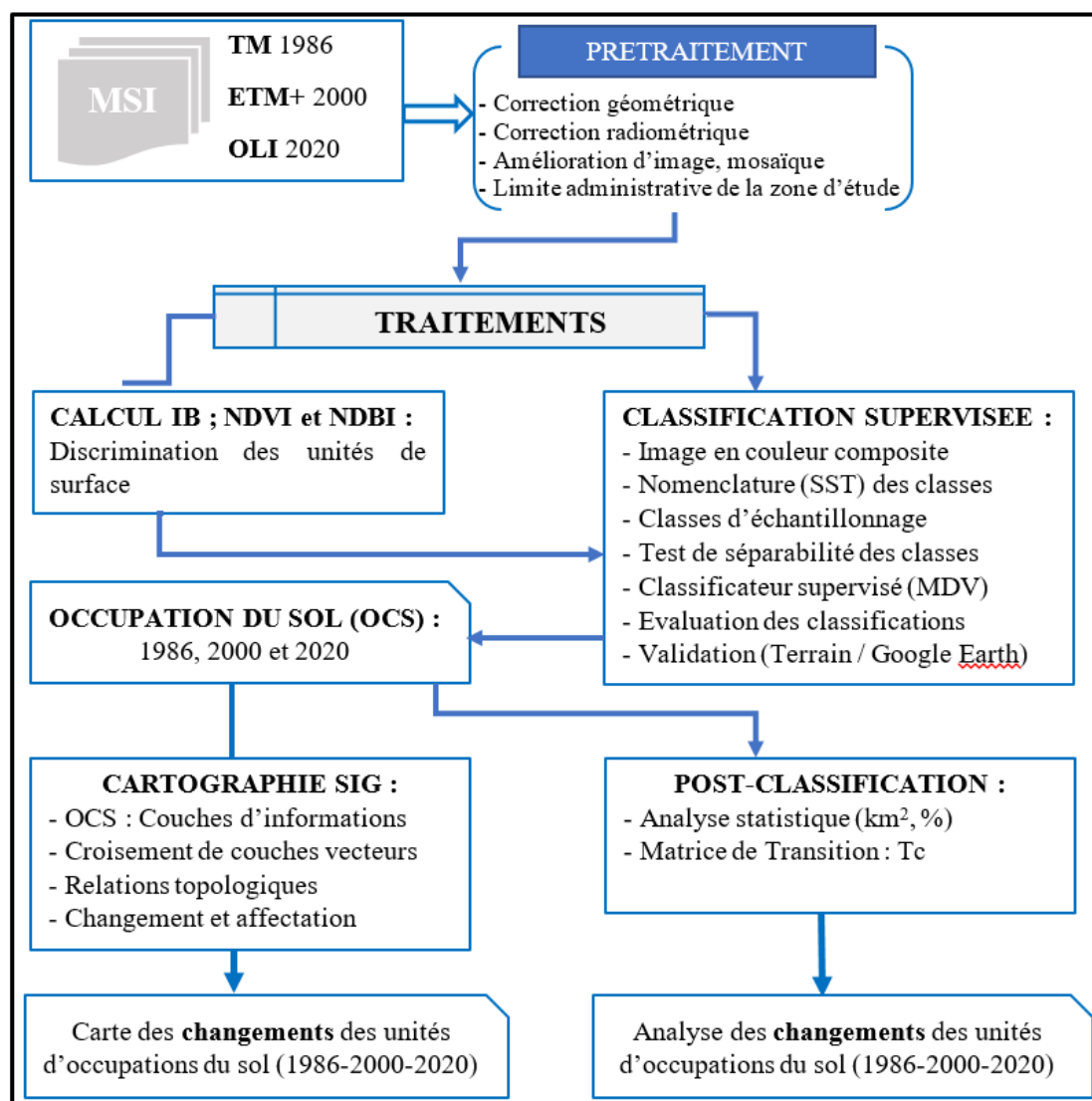


Fig. 2. Méthodologie de cartographie des changements des unités d'occupations du sol à partir des données de télédétection générée dans un SIG

MATRICE DE CONFUSION

Elle permet de mettre en évidence les différentes formes de conversion subies par les unités d'occupation du sol entre deux dates t1 et t2, et décrire les changements intervenus. Elle décrit de manière condensée, les changements d'état des éléments d'un système pendant une période donnée [18], dont les cellules contiennent la valeur d'une variable ayant passé d'une classe initiale x à une classe finale y pendant la période allant de t1 à t2. Dans le cadre des présents travaux, cette matrice est obtenue à partir des valeurs issues de la superposition des cartes d'occupation du sol, dans le logiciel de SIG ArcGIS (grâce à l'algorithme "Intersect polygons" de l'extension Geoprocessing), et traitées dans Excel.

3.2.6 CLASSIFICATION SUPERVISEE PAR LA METHODE DU « PLUS PROCHE VOISIN »

L'algorithme de classification choisi pour l'image Landsat du plateau d'Allada est le « plus proche voisin ». Selon [16], cette technique génère des règles de classification de façon automatique à partir d'un apprentissage. C'est une technique de classification supervisée qui, comme toute méthode supervisée, requiert des échantillons de référence (parcelles d'apprentissage) pour chaque classe ainsi qu'un espace d'attributs discriminant.

Cette classification s'est déroulée ici en trois (3) étapes:

- La “classification 1” a permis d’assigner les objets images à des classes thématiques selon leurs valeurs de NDVI et d’obtenir une première séparabilité des classes (classe forêt/galerie/marécages);
- La “classification 2” s’est faite à partir du NDBI en vue d’obtenir une deuxième séparabilité des classes. L’objet de cette deuxième classification est d’identifier le bâti à l’intérieur des objets-images hétérogènes que la première classification n’a pas permis d’isoler. Cette classification a consisté à assigner les objets-images hétérogènes issus de la « classification 1 » à des classes thématiques à l’aide de leur valeur de NDBI. Ainsi le NDBI s’est comporté comme un filtre qui a permis d’isoler le bâti (Tableau 2).
- La “classification 3” est la classification définitive qui a permis d’exporter les données dans ArcGis en vue de la restitution cartographique. Elle fait suite à l’intégration des données dans Ecognition après la classification 2. Finalement, le couplage NDVI/NDBI qui a permis de classer l’image a suivi la logique booléenne résumée dans le tableau 2, ci-dessous:

Tableau 2. Classe thématique selon les valeurs du NDVI et du NDBI

Classes thématiques	Classes spectrales du NDVI	Classes spectrales du NDBI
	CONDITIONS	
Eau	≤ 0	$\leq 0,0099$
Bâti	001 à 0,099	$\geq 0,01$
Sol nu	0,1 à 0,199	$\leq 0,0099$
Brousse basse	0,2 à 0,299	$\leq 0,0099$
Forêt dégradée/jachère	0,3 à 0,399	$\leq 0,0099$
Forêt dense	$\geq 0,4$	

Le tableau 2, s’interprète comme suit:

- Si le NDBI $\geq 0,01$, alors la classe thématique correspond au “Bâti”;
- Si NDBI $\leq 0,0099$, et si les valeurs du NDVI < 0 , alors, la classe thématique correspondante est “l’Eau”;
- Si le NDBI $\leq 0,0099$, et si les valeurs du NDVI sont comprises entre 0,1 et 0,199, alors, la classe thématique correspondante est le “Sol nu”;
- Si NDBI $\leq 0,0099$, et si les valeurs du NDVI sont comprises entre 0,2 et 0,299, alors, la classe thématique correspondante est une “Brousse basse”;
- Si NDBI $\leq 0,0099$, et si les valeurs du NDVI sont comprises entre 0,3 et 0,399, alors, la classe thématique correspondante est une “Forêt dégradée” ou une “Jachère”;
- Si NDBI $\leq 0,0099$, et si les valeurs du NDVI $\geq 0,4$, alors, la classe thématique correspondante est une “Forêt dense”.

La “classification 3” est l’étape de la classification définitive. Elle a consisté à ajouter les informations issues de la vérité terrain aux résultats de la “classification 2”.

3.2.7 VALIDATION DE LA CLASSIFICATION

La validation des résultats de cette étude a été effectuée à l’aide des données issues de campagne de terrain. Une première visite de terrain en juin 2020 a permis d’identifier, dans un premier temps, six (6) grands ensembles de classes thématiques: eau, bâti, sol nu, forêt dense, forêt dégradée/jachère et brousse basse. Une autre campagne de terrain (de janvier 2021 à juin 2021), a permis de prendre en compte d’autres éléments du sol, et de valider définitivement les résultats de la classification issue du couplage NDVI/NDBI.

Cette étape a consisté à quantifier les objets correctement classés en comparant les résultats des classifications à ceux de la vérité terrain. Au total, plus de 360 points repartis dans plusieurs régions de l’image ont été relevés aléatoirement afin de les confronter aux réalités du terrain. Pour l’évaluation de la classification, le paramètre de précision Kappa a été calculé aussi manuellement à partir de l’équation (1) [19]:

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (1)$$

Avec, P_o la précision globale et le facteur de correction (précision aléatoire)

$$P_e = \frac{\sum X_i * Y_j}{N^2} \quad (2)$$

où X_i ..., Y_i ... et N ... (Eléments à définir)

Deux autres coefficients, notamment, le KIA (Kappa Index of Agreement) total et le KIA par classe, s'ajoutent au Kappa pour parfaire cette évaluation.

3.3 ANALYSE STATISTIQUE DES CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION DU SOL: QUANTIFICATION DU CHANGEMENT

L'analyse spatio-temporelle des unités d'occupation du sol du plateau d'Allada, vise à quantifier, sur la base des données disponibles et les connaissances plus ou moins approfondies sur la cartographie de l'occupation du sol, les caractéristiques spatiales et la dynamique spatio-temporelle des unités d'occupation du sol du dit secteur. Pour mieux cerner l'évolution sur les périodes d'études (1986; 2000 et 2020), deux paramètres sont déterminés: l'analyse des superficies, et le taux de changement des unités d'occupation du sol.

3.3.1 ANALYSE DE SUPERFICIES

L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol, passe par la comparaison des superficies des unités d'occupation du sol de 1986; 2000 et 2020. Cette analyse a été effectuée en calculant les superficies des classes d'occupation du sol à partir des tables attributaires des images classifiées, grâce à l'outil « calculate geometry » du logiciel ArcGis 10.5.

3.3.2 TAUX DE CHANGEMENT (Tc) EN %

Les changements à l'échelle globale ont été déterminés en ressortant les superficies des différentes unités d'occupation du sol pour chaque période dans un SIG. Les changements ont été déterminés sur les trois (3) périodes que sont: la période 1986-2000, la période 2000-2020 et la période 1986-2020. Une analyse approfondie basée sur l'évaluation des changements intervenus au sein de chaque unité d'occupation prise isolément fut faite à travers le calcul du taux de changement annuel d'expansion spatiale, couramment utilisé dans les études sur le changement d'occupation du sol [20], [21]. Ce taux de changement s'évalue à partir de la formule de [22] généralement employée pour mesurer la croissance des agrégats macroéconomiques entre deux périodes données. Cette formule se présente comme suit:

$$Tc = \frac{\ln S2 - \ln S1}{(t2 - t1) \times \ln e} \times 100 \quad (3)$$

Avec S1 la surface d'une classe d'unité de surface à la date t1; S2 la superficie de la même classe d'unité de surface à la date t2; ln le logarithme népérien; e la base des logarithmes népériens (e = 2,71828).

Ce taux de changement, permet d'estimer la proportion de gain (valeur positive) ou de perte (valeur négative) des superficies d'occupation du sol. TC est positif pour les classes d'occupation en progression et négatif pour celles en régression.

4 RESULTAT ET INTERPRETARION

4.1 CLASSIFICATION SUPERVISÉE PAR LA MÉTHODE DE MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE

La classification supervisée par la méthode de maximum de vraisemblance des images, a permis de cartographier l'occupation du sol de la zone d'étude en 1986, 2000 et 2020. Les différentes classifications ont été évaluées par les matrices de confusion à travers la précision globale de la classification et du coefficient Kappa. La valeur du kappa obtenu après chaque classification est supérieure à 0.76, les classifications sont donc jugées excellentes.

4.2 CARTOGRAPHIES DE L'OCCUPATION DU SOL (1986, 2000 ET 2020)

La classification des images TM 1986, ETM+ 2000 et OLI 2020 a été réalisée avec une précision globale et une valeur de kappa. Les changements d'utilisation et d'occupation des sols résultent d'une multitude de facteurs affectant la population du plateau d'Allada. Ces facteurs peuvent être anthropiques ou naturelle. Le résultat de la matrice est présenté dans le Tableau 3.

Tableau 3. Classe thématique selon les valeurs du NDVI et du NDBI

Matrice de confusion		
Année d'image	Coefficient de Kappa	Précision Globale
1986	0.7961	85.99%
2000	0.7852	84.82%
2020	0.8772	90.97%

4.3 CARTES D'OCCUPATIONS DU SOL

Les cartes ci-après (Figure 2), présentent les résultats issus de la Classification supervisée par la méthode de maximum de vraisemblance, des images, des capteurs de la génération Landsat, TM de 1986, ETM+ de 2000 et OLI de 2020. L'analyse de la figure 3 montre qu'en 1986, les rations de la forêt/galerie/marécage ont connu une disparition presque totale en 2020 au profit des mosaïques/jachères/cultures et habitation/sol nu. Par conséquent, les végétales naturelles telle que la plantation est en régression considérable au profit des formations anthropiques. Ce qui en général explique par les diverses pressions que ces formations ne cessent de subir.

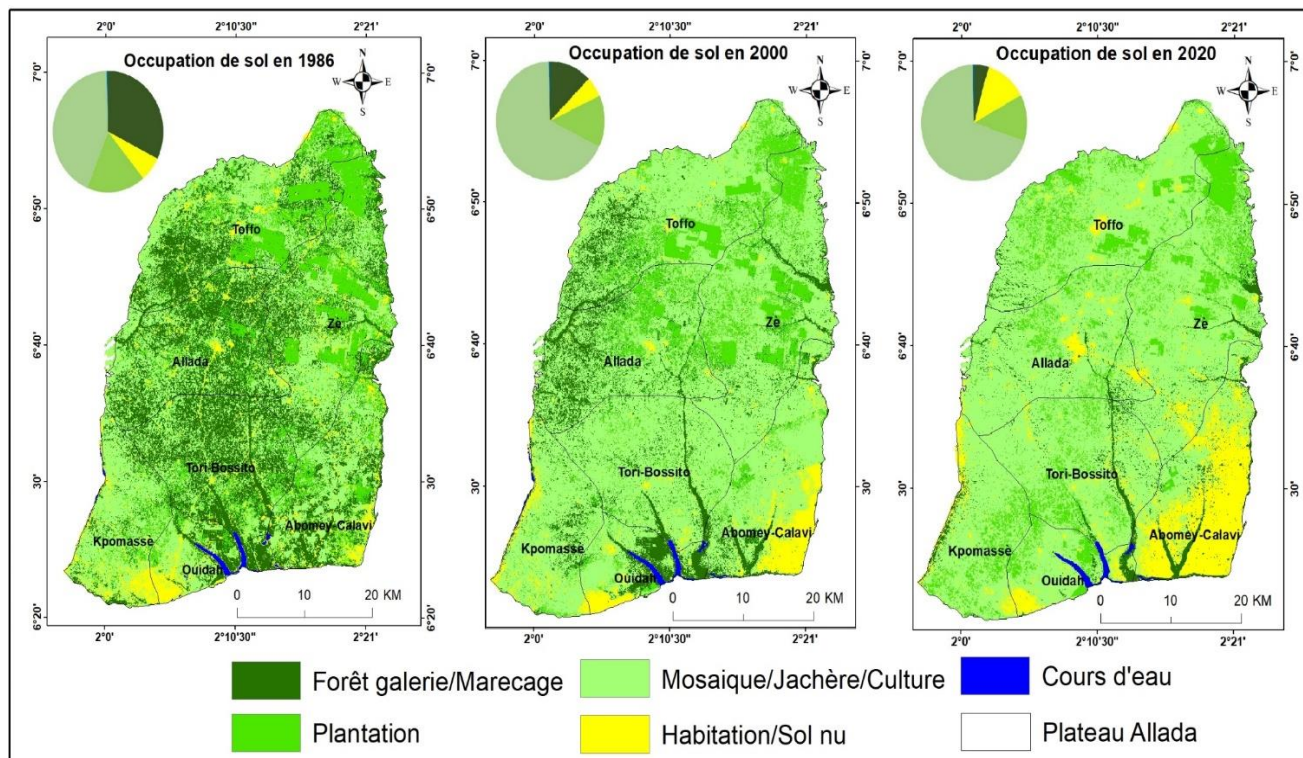


Fig. 3. Cartes d'occupation du sol de 1986 (a), 2000 (b) et 2020 (c) du plateau d'Allada

4.4 ANALYSE STATISTIQUE DES CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION DU SOL: QUANTIFICATION DU CHANGEMENT

4.4.1 ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES UNITÉS D'OCCUPATIONS DE SOL

La Figure 4 illustre l'évolution des unités d'occupation du sol de 1986, 2000 et 2020. On observe plusieurs tendances d'évolution de l'occupation du sol du plateau d'Allada suivant les périodes d'étude. Nous notons:

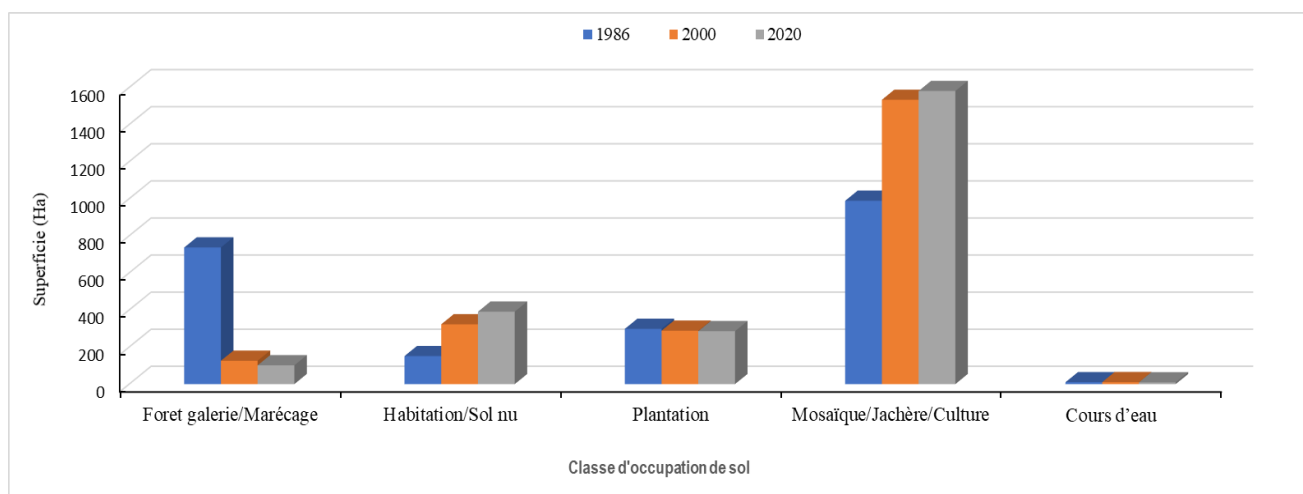


Fig. 4. Evolution des classes d'occupation du sol de 1986 à 2020

DYNAMIQUE ENTRE 1986 ET 2000:

- Une diminution de la superficie des forêts/galerie/marécage de 26.83% et des plantations de 1,54 %;
- Une augmentation des superficies occupées par la classe eau de 0.02%; des mosaïques/cultures/Jachères de 23.89% et des superficies des habitations/sols nus de 7.51%

DYNAMIQUE ENTRE 2000 ET 2020:

- Une diminution des superficies occupées par les plantations, les cours d'eau et des forêts/galerie/marécage respectivement de -0,58 %, 0.05% et 1,06 %;
- Une augmentation des superficies occupées par mosaïques/cultures/Jachères de 2.08% et de la classe habitats/sol nu de 3%

DYNAMIQUE ENTRE 1986 ET 2020:

- Sur toute la période de l'étude, on observe
- Une diminution de la superficie des forêts/galerie/marécage, plantation et de la classe eau respectivement de 27.89%, 2.12% et 0.03%
- Et Une augmentation des superficies des classes mosaïques/cultures/Jachères de 25.97% et habitats/sol nu de 10.51%

L'augmentation ou la diminution correspondent à des changements d'état des classes, ou la conversion d'une classe à une autre.

Tableau 4. Tendance d'évolution des unités d'occupation du sol sur le plateau d'Allada de 1986 à 2020

Classes	Cours d'eau	Habitations/Sol nu	Plantation	Mosaïque/jachère/culture	Foret/galerie/marécage
Cours d'eau	99.92	0.00	0.00	0.00	0.20
Habitations/Sol nu	0.03	99.79	0.04	0.79	0.24
Plantation	0.00	0.00	94.09	16.98	2.52
Mosaïque/Jachère	0.00	0.21	5.05	81.19	3.29
Foret/galerie/marécage	0.05	0.00	0.82	1.04	93.74
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

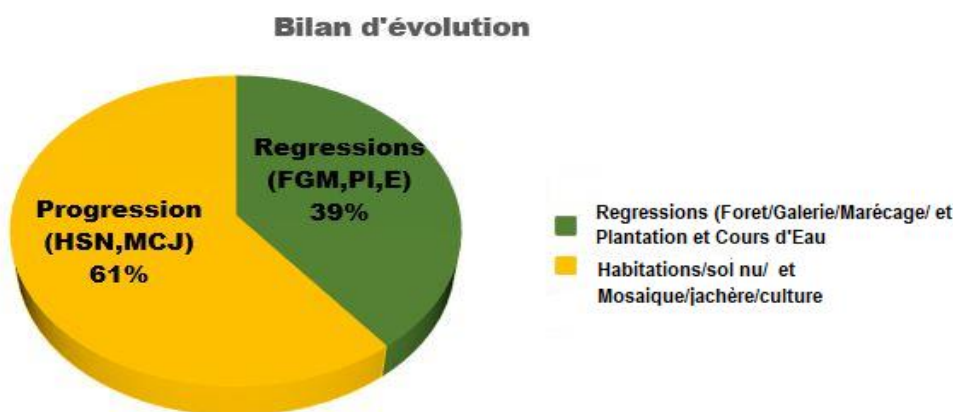


Fig. 5. Bilan de l'évolution des unités d'occupation du sol (1986 - 2020)

L'analyse de la figure 5 révèle que les ordres de progression et de régression sont très prononcés du fait les communes urbaines comme Allada, Abomey- Calavi, Ouidah, Tori et kpomassé, sont de plus en plus peuplé. Le couvert végétal qui protège l'environnement contre les inondations, a connu une régression d'ordre de 39% sur sa superficie au profit de la progression croissante des bâtiments et autres 61 %. Ce qui met à nu la topographie de la zone d'étude. De façon générale, la superficie des bâti et cultivée sont près de 2/3. Cette situation est due non seulement à la croissance rapide de la population mais aussi du fait que le Bénin reste un pays à vocation agricole.

4.4.2 TAUX DE CHANGEMENT (TC)

Pour mieux appréhender les changements survenus durant la période 1986 à 2020, les taux de variation des différentes unités d'occupation du sol calculés sont résumés dans le tableau 5.

- **De 1986 à 2000:** Une progression s'observe dans les classes, Mosaïque/Jachère/culture, habitation/sol nus et cour d'eau respectivement dans l'ordre de **3.13%**, **5.41%**, et **0.23%** et une régression des classes Plantation, et Forêt/galerie/marécage respectivement dans l'ordre de **-0.25%**, et **-12.61%**.
- **De 2000 à 2020:** Une progression s'observe dans les classes Mosaïque/Jachère/culture et habitation/sol nus respectivement dans l'ordre de **0.15%**, et **1%**, et une régression des classes Forêt/galerie/marécage, Plantation et cour eau respectivement de l'ordre de **-1.08%**, **-0.13%** et **-0.58%**
- **De 1986 à 2020:** Une régression s'observe dans les classes Forêt/galerie/marécage, plantation et Cour d'eau respectivement de l'ordre de **-5.82%**, **-0.13%** et **-0.25%** et une progression dans les classes Mosaïque/Jachère/culture et habitation/sols nus respectivement de l'ordre de **1.38%**, et **2.79%**.

Tableau 5. Taux de variation des classes d'occupation du sol de 1986 à 2020

Unités d'occupation	Superficies en Ha			Taux de changement annuel Tc (%)		
	1986	2000	2020	1986-2000	2000 à 2020	1986 à 2020
Forêt/galerie/Marécage	737.19	126.15	101.69	-12,61	-1,08	-5,82
Habitation/Sol nu	151.33	322.85	390.9	5,41	1	2,79
Plantation	298.43	288.29	285.69	-0,25	-0,04	-0,13
Mosaïque/Jachère/Culture	989.13	1533.59	1581.03	3,13	0,15	1.38
Cours d'eau	10.58	10.92	9.72	0,23	-0,58	-0.25

5 DISCUSSION

Le traitement et l'analyse des images multispectrales, associées aux données d'observations de terrain in situ, ont montré que le recul du couvert forestier sur le plateau d'Allada entre 1986 et 2020 est essentiellement lié aux pressions anthropiques, suite aux demandes de plus en plus pressantes de terres pour la construction des bâtiments et les cultures. La présente étude dénombre deux grands groupes de facteurs qui peuvent être considérés comme les causes de la dégradation des forêts et des inondations: facteurs démographiques et l'urbanisation anarchique (multiplication des infrastructures), l'extension de l'agriculture paysanne et enfin d'autres facteurs (prédispositions environnementales, facteurs biophysiques).

La précision globale obtenue dans la classification supervisée de la présente étude est de 85,99% pour la classification des images TM 1986, 84,82% pour ETM+ 2000 et 90,97% pour OLI 2020. Le coefficient de Kappa obtenu pour les images TM de l'année 1986 est de 0,79; 0,78 pour les images ETM+ de 2000 et enfin 0,87 pour les images de l'année 2020. Par ailleurs, [2], [23], confirme que les résultats d'une analyse d'image dont la valeur de Kappa est supérieure à 0,50 sont bons et exploitables. [24], [11] dans leurs travaux ont obtenu respectivement comme précisions globales 84,63 % en 1986; 87% en 2000 et 98 % en 2015 et 84,6% pour TM 1990, 89,4% pour ETM+ 2005 et 91,2% pour OLI 2020 ses résultats sont analogue à ceux obtenus sur le plateau d'Allada. L'indice de Kappa de la matrice de confusion sont respectivement de 0,78 pour l'année 1986; 0,75 pour 2000 et 0,96 pour 2015 et 0,76 pour 1990; 0,80 pour 2005 et 0,82 pour 2020. De ce fait, la présente classification qui compte cinq (5) classes est acceptable et permet d'évaluer la tendance de changements de l'occupation du sol sur une période de 34 ans.

S'agissant de la méthodologique, la classification supervisée par la méthode de maximum de vraisemblance peut présenter certaines erreurs liées, notamment, à l'intégration de fichiers provenant d'une autre classification. Dans cette méthode de classification, la détermination des unités d'occupation du sol pendant la discrimination nécessite une très bonne enquête de terrain, ce qui a permis de faire l'inventaire de toutes les unités d'occupation du sol, de faire un bon choix des sites d'entraînement et de prendre plusieurs coordonnées. Nous assistons à une légère confusion entre les classes habitations/sol nu et végétation lorsque sont utilisées les images multispectrales à haute résolution spatiale comme Landsat [25]. [26] a rencontré dans ses travaux une difficulté à séparer la végétation (y compris les cultures) des sols nus, surtout lorsqu'on évolue vers des espaces de plus en plus steppiques, en utilisant la classification supervisée.

En ce qui concerne les résultats de la dynamique de l'occupation du sol de 1986 à 2020, l'évolution progressive des classes habitations/sol nu et mosaïques/cultures/Jachères respectivement de l'ordre de 2.79% et de 1.38% de la superficie de la zone étudiée et l'évolution régressive des superficie des forêts/galerie/marécage, plantation et de la classe eau respectivement de -5.82%, -0.13% et -0.25% est un caractère de la dynamique actuelle du paysage du sud Bénin précisément dans le département d'Atlantique. En effet, la croissance démographique, l'expansion des zones habitées, et l'utilisation incontrôlées des réserves telle que la zone économique, l'aéroport de Glodjigbé, la zone industrielle de Glogjigbé sont autant de facteurs qui expliquent ce phénomène. De plus l'expansion des cultures (palmiers et ananas) en sont d'autre facteur [24], [27], [28]. Les diversifications et les reconversions vers de nouvelles spéculations tels que les palmiers et les vivriers marchands, résultent des initiatives paysannes spécifiques. Il est constaté, au niveau de l'occupation du sol à ces trois dates, que l'année 1986 présente des terres plus couvertes par la végétation. La disparition de ces terres végétales s'explique par les pressions anthropiques sur l'espace et des demandes croissance des infrastructures routières.

Le facteur de conversion élevé de la forêts/galerie/marécage (93.74%), ainsi que le taux de changement négatif (-5.82%), mettent en exergue une régression significative des superficies forestières entre 1986 et 2020. L'analyse de la matrice de transition montre que ces régressions se sont

faites au profit des zones cultivées ("plantations" et "mosaïque/culture/jachère") et des habitations/sol nu. En effet, ces habitations ont été construites de façon anarchique en corrélation avec la poussée démographique que subit cette zone. Ainsi, les bâtiments ont été construits dans les zones d'accumulation d'eau ce qui entraîne pendant la saison pluvieuse des inondations.

6 CONCLUSION

La présente étude portant sur la dynamique de l'occupation du sol du plateau d'Allada par la classification supervisée par la méthode de maximum de vraisemblance a montré l'évolution des différentes unités d'occupation de la zone étudiée de 1986 à 2020. L'utilisation des images Landsat TM, ETM+ et OLI et des SIG a permis d'élaborer les cartes d'occupation du sol, d'analyser l'évolution des unités d'occupation du sol et de quantifier le changement entre 1986-2000, 2000-2020 et 1986-2020. L'utilisation de la méthode de classification supervisée a permis d'extraire les différentes unités d'occupation du sol avec un accord excellent soit une précision globale égale à 85.99%, 84.82% et 90.97% respectivement en 1986; 2000 et 2020, et un coefficient Kappa égale à 0.79; 0.78 et 0.87 respectivement en 1986; 2000 et 2020. L'analyse statistique des cartes d'occupation du sol obtenues de 1986 à 2020 montre une augmentation des superficies des classes habitats/sols nus et, mosaïque/jachère/culture respectivement de 2.79%, et 1.38% et une régression des superficies des classes Forêt/galerie/marécage, plantations et cour d'eau respectivement de -5.82%, -0.13% et -0.25%. Le résultat obtenu montre clairement la disparition progressive de l'espace vert au profit des classes de mosaïques/jachères/cultures, des habitations et des plantations. Il y a donc eu un recul généralisé des forêts galerie marécage et des cours d'eau sur l'ensemble du plateau avec une progression des surfaces mosaïque/jachère/culture et habitation/sol nu. L'augmentation de la surface de mosaïque et de jachère témoigne de l'ampleur de la dégradation des écosystèmes. L'appauvrissement de terres lié aux pratiques culturales contraint les populations à les laisser en jachère. La mise en valeur de nouvelles surfaces cultivables appelle à la destruction des formations végétales. Le recul de la superficie des formations végétales augmente l'exposition de la zone d'étude à l'inondation, car le couvert végétal (forêt, bois) favorise le ralentissement du mouvement des eaux. En effet, la végétation permet de lutter contre le ruissellement, en augmentant l'infiltration de l'eau. Les sols, plus poreux, sont alors à même de stocker de plus grandes quantités d'eau, jouant un rôle d'éponge, plus ou moins important selon l'état de saturation des sols. Elle permet de diminuer la quantité, la concentration et le débit du ruissellement de l'eau et enfin, la végétation maintient les sols grâce aux systèmes racinaires, améliorant ainsi la cohésion des sols et donc renforçant leurs propriétés mécaniques. La destruction des formations végétales met à nu les sols agricoles. Le ruissellement lié à de fortes précipitations entraîne le départ de terre par érosion de façon spectaculaire en creusant de profondes ravines ou plus discrètement.

Compte tenu du changement climatique lié à la croissance de forte intensité pluviométrique sur le plateau d'Allada et ceci au fur et à mesure que les années passent, il urge de développer des politiques allant dans le sens de la construction des infrastructures de drainage, l'urbanisation, l'installation des bâtiments selon leur niveau et orienté l'installation anarchique des populations compte tenue de la croissance démographique.

REMERCIEMENTS

Le traitement des données de cette thèse a été rendu possible grâce au soutien de l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF) qui a financé nos séjours de recherche. Nos remerciements s'adressent également au Professeur N'guessan Bi Vami Hermann enseignant/chercheur au CURAT-Université de Cocody-Côte d'Ivoire) pour ces conseils, assistances et orientations lors du traitement des données du présent article.

REFERENCES

- [1] Observatoire du Sahara et du Sahel, Cartographie de l'occupation du sol – Spécifications techniques, Projet amélioration de la résilience des populations sahéliennes aux mutations environnementales – REPSAHEL, p. 36, 2015.
- [2] H. G. Lund, «Change: Now you see it, now you don't», In Proceedings of the International Conference on Renewable Resource Inventories for Monitoring Changes and Trends, pp. 211-213, 1983.
- [3] A. K. Milne, «Change direction analysis using Landsat imagery: a review of methodology», In Proceedings of the IGARSS'88 Symposium, pp. 541-544, 1988.
- [4] R. J. Radke, S. Andra, O. Al-kofahi, B. Roysam, «Image change detection algorithms: a systematic survey», IEEE Trans. On Image Processing, pp. 294-307, 2005.
- [5] K. A. Stéphane, A. Roland and E. M. Jalal, «Utilisation d'une image satellite LANDSAT 8 pour la cartographie de l'occupation des sols dans la ville de Bondoukou et ses environs en Côte d'Ivoire», vol. 30, no. 1, pp. 10, 2020.
- [6] J. Oszwald, «Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (des années 1980 aux années 2000): suivi par télédétection et développement d'une approche cartographique», Thèse de Doctorat, Université des sciences et technologies de Lille, Lille, France, 304 p, 2005.
- [7] E. N'guessan, H.D. N'da, M. F. Bellan, F. Blasco, «Pression anthropique sur une réserve forestière en Côte d'Ivoire: apport de la télédétection», Revue télédétection vol. 5, no. 5, pp.307-323, 2006.
- [8] C. Hauhouot, P. Pottier, Y. Bamba, «Recul des formations forestières dans la zone humide du littoral de Grand-Bassam, Côte d'Ivoire», Revue internationale de Géomatique, vol. 21, no. 3, pp.327-339, 2011.

- [9] V.H. Bi. N'guessan, «Modélisation markovienne du champ de précipitation et du mode d'occupation du sol pour une prévision du risque d'inondation à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique: cas du département de Sinfra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)», Thèse de doctorat de l'université Felix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, 229 p, 2014.
- [10] S.V.C. Jofack, F. K. Kouamé, H. N. Dibi, B. Tankoano, Y.L. Akpa, N.B. Ngounou, «Cartographie de l'occupation de sol des Hauts Plateaux de l'Ouest Cameroun par réseaux de neurones appliqués à une image LANDSAT 8 OLI», International Journal of Innovation and Scientific Research, vol. 23, no.2, pp. 443-454, 2016.
- [11] A. C. Njeugeut Mbiafe, M. Youan Ta, V. M. Sorokoby, T. V. Assoma, M. G. Adja & J-P. Jourda, «Dynamique d'occupation du sol du bassin versant de la volta, par la méthode de l'arbre de décision, à partir des images multispectrales de la génération Landsat de 1990 à 2020» International Journal of Engineering Science Invention, Vol. 10, no. 4, pp. 34-45, 2021.
- [12] Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin (RGPH-4, 2013). 83 p, 2016.
- [13] Girard, M.C., & Girard, C.M., Traitement des données de Télédétection, DUNOD Ed., Paris, pp. 192-205, 1999.
- [14] P. Hiernaux, & L. Diarra, Pour une technique de télédétection appliquée suivi de l'évolution de la végétation sahélienne, Bilan des activités CIPEA dans le Gourma en 1985. Document de programme AZ 169, CIPEA, Bamako, 32 p, 1986.
- [15] K. J. L. Kouassi «Suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des systèmes d'informations géographiques: cas de la Direction régionale des eaux et forêt de Yamoussokro (Côte d'Ivoire)», mémoire de master, 73p, 2013.
- [16] T. Tormos, «Analyse à l'échelle régionale de l'impact de l'occupation du sol dans les corridors rivières sur l'état écologique des cours d'eau», Thèse de Doctorat de Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech), Français, 508 p, 2010.
- [17] R. G. Congalton, «A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data», Remote sensing of environment, vol. 37, no.1, pp. 37- 46, 1991.
- [18] R. Schlaepfer, «Analyse de la dynamique du paysage. Fiche d'enseignement 4.2, Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes», Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse, 10 p, 2002.
- [19] C. Alexander, «Analyse de l'usage du sol de la région de Bokito (Mbam et Inonbou, Cameroun), à partir de données de la télédétection et implication sur les systèmes de culture agroforestiers. Master en géomatique, université Montpellier III, Paul Valéry UFR III: Sciences Humaines et Sciences de l'Environnement, CIRAD, 40 p, 2013.
- [20] V. J. Mama, & J. Oloukoj, «Évaluation de la précision des traitements analogiques des images satellitaires dans l'étude de la dynamique de l'occupation du sol», Télédétection, vol.3, no. 5, pp. 429-441, 2003.
- [21] J. Oloukoj, & I. Ali, «Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le département des collines au Bénin». Télédétection, vol. 6, no. 4, pp. 305-323, 2006.
- [22] B. Bernier, Introduction à la macroéconomie. Dunod, Paris, 1992.
- [23] JR. R. G. Pontius, «Quantification error versus location error in comparison of categorical maps», Photogrammetric Engineering and remote Sensing, vol. 66, no.8, pp. 1011-1016, 2000.
- [24] K. F Kouame, «Estimation des précipitations par la méthode Tamsat dans le nord de la Côte d'Ivoire et analyse de la variabilité pluviométrique et de ses impacts environnementaux et sociodémographiques: cas de Korhogo», Mémoire de master, l'Université Félix Houphouët Boigny, 78 p, 2015.
- [25] H. E. H. Hassan, F. Ardillier-Carra & L. Charbel, «Les changements d'occupation des sols dans la Béqaa Ouest (Liban) : le rôle des actions anthropiques» EDP Sciences Cahiers Agricultures, vol. 28, no.1 pp. 10, 2019.
- [26] A. Z. Tra Bi, A. Emran, Y. T. Brou, G. Mahe, «Cartographie par arbre de décision de la dynamique de l'occupation du sol du bassin versant du Bouregreg; en région semi-aride au centre Nord-Ouest du Maroc», Revue Scientifique Internationale de Géomatique, vol.1, no.01, pp.43-52, 2014.
- [27] A. N. N. Boko, «Variabilité climatique, changements dans l'environnement et conscience écologique à Korhogo», Thèse de doctorat de troisième cycle, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 355 p, 2015.
- [28] I. A. K. Bindaoudou, «Analyse par télédétection des vecteurs de changement des types d'occupation et d'utilisation du sol de 1987 à 2013 dans la préfecture d'Amou au sud-ouest du Togo», Mémoire de Master, Université Felix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, 2014, 69 p, 2014.

