
Nature & Technology Journal

Academic Journal with International Dissemination



Volume 15

Issue 02 - June 2024





Presentation

"Nature and Technology Review" (NATEC) is a multidisciplinary scientific journal published by Hassiba Benbouali University of Chlef (Algeria) since June 2009. NATEC publishes, in English and French, original research articles and review articles, which cover a wide spectrum of theoretical and experimental work at universities and other national, regional and international research organizations.

The fields covered by NATEC are divided into 3 categories:

- Category A: Fundamental Sciences and Engineering
- Category B: Agronomic and Biological Sciences
- Category C: Environmental Sciences.

NATEC adheres to the ethical guidelines for research and publication of [COPE](#) as described in [Guidelines on Good Publication](#).

NATEC has an international reviewing committee and senior researchers with established competence in their fields.

The submission is exclusively via electronic way through the Algerian Scientific Journal Platform (ASJP): <https://www.asjp.cerist.dz/en/PresentationRevue/47>

All articles submitted to NATEC are subject to a rigorous double-blind peer-to-peer review by at least two referees in the field of the submitted work.

What is considered in the evaluation are originality; accuracy; reproducibility; validity and language.

Possible decisions reserved for an article include acceptance, revision or rejection. If an author is encouraged to revise his or her article, there is no guarantee that the revised version will be published. The decision to reject an article is final.

During the entire evaluation process, the Editorial Board guarantees the anonymity of the referees and authors. Articles are submitted to the experts anonymously. The evaluation sheets sent to the authors are also anonymous.

All members of the Reviewing Committee and Editorial Board are under the obligation of confidentiality of the articles. They are strictly forbidden to divulge the content, in whole or in part, even the abstract, of articles under review by the journal. This prohibition remains valid even for articles that have been definitively rejected.

The submission, evaluation and publication of accepted articles are totally free. The publication is in Open Access under the terms of the BY license of [Creative Commons Attributions 4.0 International](#) which allows to share, copy, reproduce, distribute, communicate, reuse or adapt the published work with the obligation to credit its author.

Acceptance of the manuscript is limited by the legal requirements that will be in effect at the time regarding law, copyright infringement and plagiarism.

"Nature and Technology Journal" is indexed in the following databases: [ASJP](#); [ProQuest](#); [EBSCO](#); [DOAJ](#); [GoogleScholar](#); [Worlcat](#); [ResearchBib](#); [DRJI](#); [MIAR](#); [WebReview](#); [EZB](#); [DFAJ](#); [ACNP](#) et [Mirabel](#).

Committees

Honorary Director:

Pr. GHOUINI Larbi

Publication Director:

Dr. HOCINE Ahmed

Editor-in-Chief:

Pr. ZIDANE Azdina Laboratory of Natural Bio-Resources, Department of Biology, Faculty of Nature and Life Sciences, University Hassiba Benbouali of Chlef (Algeria)

Editorial Committee

Dr. GADOUCHE Leila

Department of Biology & Physiology of Organisms, Faculty of Biological Sciences, USTHB, Algiers, Algeria.

Dr. TAHRAOUI Mohamed Amine

Department of Computer sciences, University Hassiba Benbouali of Chlef, Algeria

Dr. METLEF Sara

Laboratory of Local Natural Bioresources. Faculty of Agronomic and Biological Sciences, University Hassiba Benbouali of Chlef, Algeria

Dr. TAHRAOUI-DOUMA Naima

Process engineering sciences, University Hassiba Benbouali of Chlef, Algeria

Dr. SADOUD Meryem

Laboratory of Beneficial Microorganisms, Functional Foods and Health, Department of biology, Faculty of natural and life sciences, University of Mostaganem, 27000, Algeria

Associated Editors:

Dr. ALLIOUCHE Faiza

Laboratory of Formulation and Manufacture of Artificial Foods for Farmed Fish, CNRDPA, Bou Ismail, Tipaza. Algeria

ARAB Karim

Department of Biology University M'Hamed Bougara of Boumerdes. Algeria

Pr. BEKRO Yves-Alain

University of Abobo-Adjamé, Abidjan, Ivory Coast

Pr. BELAKEHAL Azeddine

Mohamed Khider University of Biskra Algeria

Pr. BEREZOWSKA-AZZAG Ewa

Polytechnic School of Architecture and Urbanism EPAU Algiers, Algeria

Pr. BOUKALA IOUALALEN Malika

University of Science and Technology Houari Boumediene, Algiers, Algeria

Pr. GHOUL Said

Philadelphia University, Aman, Jordan

Pr. HACENE Hocine

University of Science and Technology Houari Boumediene, Algiers, Algeria

Pr. HAMRAT Mostefa

Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

Pr. KHELIDJ Abdelhafid

University of Nantes, Nantes, France

Pr. LACHI Mohammed

GRESPI, Reims, France

Pr. MERAGHNI Fodil

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, France

Pr. M'SADAK Youcef

ISA, Chot Meriem, Sousse Tunisia

Pr. OUALIDA Rached

National School of Biotechnology, Constantine, Algeria

Pr. OULD CHIKH El bahri

Mustapha Stambouli University of Mascara, Algeria

Pr. Paola Ferrazzi

Department of Agricultural, Forestry and Food Sciences, University of Torino, Italy

Pr. RAHAL Farid

Department of Civil Engineering, Mohamed Boudiaf University of Oran, Algeria

Pr. SRAIRI Mohamed Taher

Hassan II Agronomic and Veterinary Institute, Morocco

Pr. TAKY Mohamed

Department of Chemistry, Faculty of Science, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

Pr. YAHIAOUI Karima

Department of Nature and Life Sciences – Univ. M. Bouguerra of Boumerdes, Algeria

Pr. YAOVI Ameyapoh

Higher School of Biological and Food Techniques, University of Lomé, Togo

Pr. ZEMMOURI Nouredine

Mohamed Khider University of Biskra, Algeria

Secretary:

Mr. MAHMOUD Benaouda; b.mahmoud@univ-chlef.dz; Mobil: + (213) 671862766

Ms. RIATI Sabrina; s.riati@univ-chlef.dz

Address:

Revue Nature et Technologie, Direction des publications, Pôle universitaire Ouled-Fares, 4^e étage (Rectorat) 02180, Chlef – Algeria.

Summary

Volume 16

Issue n°02 – June 2024



Revue Nature et Technologie

<https://journals.univ-chlef.dz/index.php/natec>

ISSN: 1112-9778 – EISSN: 2437-0312

Class A: Fundamentals & Engineering Sciences

A Security Model for Internet of Medical Things 01

Mohammed REBBAH, Omar SMAIL, Omar SENOUSSAOUI and Rachid KHALLADI

Towards Context Integration in Content Based Recommender System for Smart Tourism 07

Mhamed HADJHENNI, Nassim DENNOUNIb and Zohra SLAMA

Class B: Agronomic & Biological Sciences

Lead and Aluminum Toxicity Induce Loss and Death of Hepatorenal Cells in Mice 17

Leila GADOUCHE, Khayra ZERROUKIc and Noureddine DJEBLI

Enquête sur la consommation de Helix aspersa en Algérie et Analyse biochimique d'échantillons de deux régions : Chlef et Mostaganem 25

Meryem SADOUD, Sarra METLEF, Azdinia ZIDANE, Fatima AFGHOUL, Chimaa AMEUR DAHMANI et Ali RIAZI

Class C: Environmental Sciences

Diversité et structure de la strate arborée des formations forestières dans le nord des monts Atakora au Togo 35

Fatao DJIDEAL, Wouyo ATAKPAMA, Moussa SAMAROU, Hodabalo EGBELOU et Batawila KOMLANA



A Security Model for Internet of Medical Things

Mohammed REBBAH*, Omar SMAIL, Omar SENOUSSAOUI and Rachid KHALLADI

Department of Computer Science, Faculty of Exact Science, University of Mustapha Stambouli, Mascara, Algeria

Abstract

The Internet of Things (IoT) represents an overarching ideology that blurs the boundaries between the physical and virtual worlds, encompassing a broad spectrum of computing systems and information technologies. IoT devices, such as wearable devices like smart watches and implantable medical devices, are connected to the Internet. Some IoT devices are even integrated into the human body. Generally, wireless communication technologies facilitate connectivity among intelligent and autonomous objects. However, security concerns within IoT pose significant challenges that impede its widespread adoption and evolution. This paper introduces a lightweight and robust security protocol designed to authenticate objects, ensure data integrity during transmission, and detect intrusions in case of attacks on the system.

Keywords: Internet of Things; Security; One Time Password; Mutual authentication; WSN

1. Introduction

The Internet of Things (IoT) has become an integral part of our daily lives, connecting billions of smart and autonomous devices worldwide. This paradigm shift blurs the lines between the physical and virtual worlds, facilitated by advancements in hardware and wireless communication technologies. The IoT is a culmination of various technological advancements, with wireless sensor networks (WSNs) playing a crucial role in enabling its success. However, the widespread adoption of IoT is hindered by significant security challenges, particularly concerning device authentication, data integrity, and intrusion detection

To address these challenges, this paper proposes a comprehensive security protocol tailored for IoT environments. Initially, our protocol focuses on ensuring device authentication to safeguard networks against identity theft. We introduce a Key Personalization system, which securely distributes pre-shared keys to prevent spoofing attacks. Additionally, the protocol includes a data integrity service using the HMAC-SHA256 algorithm to protect against data tampering. Authentication is achieved through robust and lightweight mechanisms such as one-time passwords and challenge/response algorithms, optimized for resource-constrained devices.

In its second iteration, the protocol enhances security by implementing mutual authentication between devices and Coordinators of Personal Area Networks (CPANs). This version improves upon key generation mechanisms,

introduces a hidden broadcast key for secure broadcast messages, and strengthens overall system resilience.

Furthermore, this paper contributes to intrusion detection capabilities within IoT networks. It proposes methods to detect and mitigate unauthorized access and data breaches, crucial for maintaining the integrity and security of interconnected devices. The development of this security framework considers the inherent limitations of communication technologies and devices used within IoT ecosystems.

Our approach aims to establish robust security measures that ensure authentication services for connected objects, maintain data integrity, and effectively detect intrusions, thereby enhancing the trustworthiness and reliability of IoT deployments.

The structure of this paper is as follows: Section 2 provides an overview of existing IoT security frameworks and related works. Section 3 details the proposed security model, providing an in-depth exploration of its components and functionalities. Section 4 presents experimental results and comparative analyses with other solutions. Finally, Section 5 concludes with a summary of findings and avenues for future research in IoT security.

2. Related Works

Significant research efforts have been dedicated to enhancing the security of IoT systems. Below, we summarize several notable approaches related to our work.



Hernandez-Ramos *et al.* [1] introduced TinyTo, a protocol leveraging Public Key Infrastructure (PKI) for ensuring end-to-end security with mutual authentication. The protocol involves a series of handshake messages between the device and server to establish a session key for future communications. However, a notable drawback is the substantial memory requirement for certificate authority operations, and vulnerabilities to replay and denial-of-service attacks were not fully addressed.

In [2], a new shared key authentication Mechanism was proposed for both constrained (Cd) and unconstrained (Ud) IoT devices, eliminating the need for a gateway by utilizing a unified security policy agreed upon by participating entities. The method, relying on IPsec, is recognized for its robustness. Nevertheless, it has been noted vulnerable to Dos/DDos Attacks.

Jyh-Cheng and Yu-Ping [3] proposed an authentication system based on the Extensible Authentication Protocol (EAP), specifically designed for IEEE 802.1x technologies. This system requires entities to exchange IDs followed by authentication using methods like MD5 or TLS. While adaptable and standardized, it necessitates a trustworthy third-party authentication server, leading to high message transmission and resource consumption, making it unsuitable for resource-constrained IoT devices.

Sheetal and Sandeep [4] presented a mutual authentication protocol based on Elliptic Curve Cryptography (ECC) for securing communication between embedded devices and cloud servers using HTTP cookies. ECC offers robust security with efficient computations, but the protocol requires devices to support TCP/IP and HTTP, posing challenges for constrained IoT devices. Vulnerabilities include offline password guessing and insider attacks, alongside issues with device anonymity and session key agreement.

In [5], Ashok Kumar and Gireesh Kumar introduced S-OTP, a connection-less authentication mechanism tailored for mobile devices that does not rely on SMS. However, S-OTP imposes significant overhead due to multiple communication exchanges, limiting its suitability primarily to smartphones.

3. Proposed model

We propose an Intrusion Detection System (IDS) designed to identify malicious entities such as hackers or unauthorized objects attempting to illegitimately access the system. Our solution entails a comprehensive security framework that ensures authentication services for connected objects,

preserves data integrity during exchanges, and proactively detects malicious activities before they can manifest.

The foundation of our approach leverages the "Open Communication protocol for Ad hoc Reliable Industrial Instrumentation" (OCARI) [6], commonly utilized in IoT and Wireless Sensor Network (WSN) systems [7]. An OCARI network comprises multiple sub-networks managed by key entities (e.g., gateways, servers, CPAN). To integrate a device into the network and facilitate data exchange, it must undergo an association phase with the CPAN of the respective network.

Our approach has evolved through several iterative phases or versions. Initially, we developed a protocol ensuring device authentication during association and safeguarding data integrity in unicast mode. Subsequently, enhancements were made to enable mutual authentication between devices and servers or entities, alongside integrity protection for all types of packets (both unicast and broadcast).

3.1. Problem Statement

In most IoT and WSN networks, devices such as sensors or actuators are managed by central entities (e.g., CPAN, routers, servers). When a new device seeks to join a WSN network, it must undergo mutual authentication with the network manager (server, CPAN). Following successful authentication, an asymmetrical secure channel is established to protect exchanged data. The challenge arises when an intruder masquerades as a legitimate device (by stealing credentials such as Uid, username, password), posing either from external or internal origins.

The critical issue at hand is detecting and mitigating intruders who illegitimately assume device identities. In the subsequent section (Contribution), we will delve into strategies for countering external attackers and safeguarding network integrity (see Figure 1).

The attacker initiates an association request using the Uid of a legitimate device. The server responds by generating a challenge and sending it to the device within an authentication request. The attacker intercepts this challenge and calculates the One-Time Password (OTP) and Ku (possibly a session key). Subsequently, the attacker sends the OTP to the server. If the server verifies the OTP and establishes a secure channel, the attacker gains unauthorized access equivalent to that of the legitimate device. However, if the OTP verification fails, the server denies access and sends an error response.

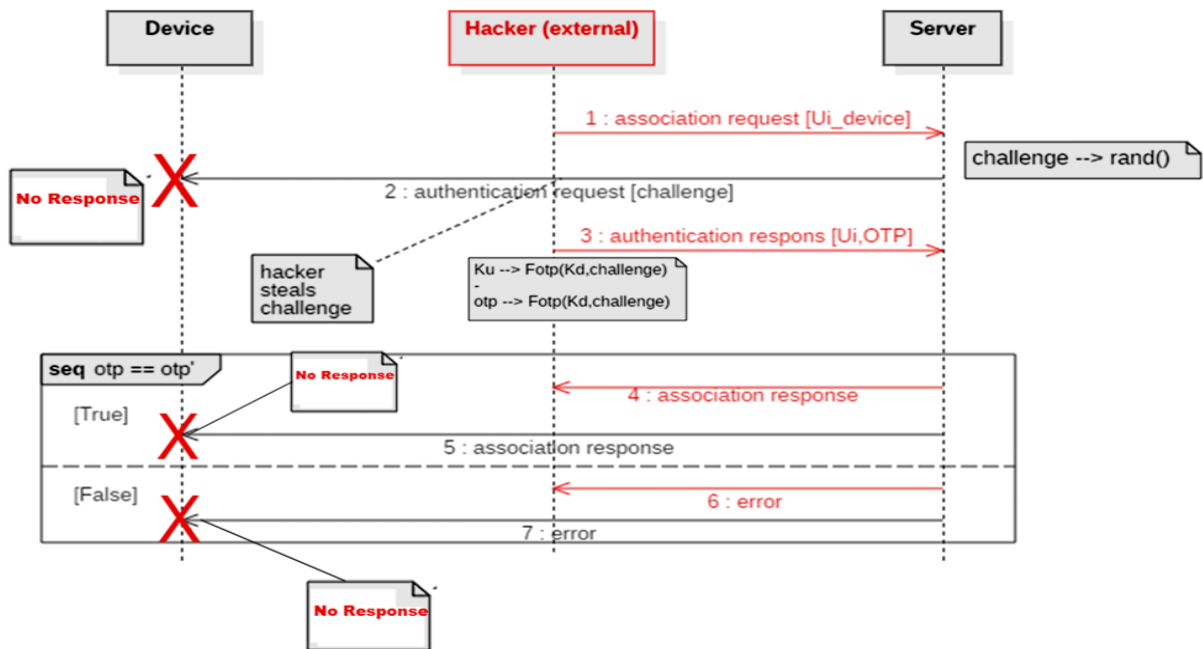


Figure 1: Hacking scenario

3.2. Solution

The major vulnerability highlighted in the previous problem occurs when a device receives an authentication request without having initiated an association request.

Exploiting this weakness, an intruder could potentially manipulate the system. To address this critical issue, it is imperative that our devices respond to all authentication requests, regardless of whether they have initiated a request themselves (refer to Figure 2).

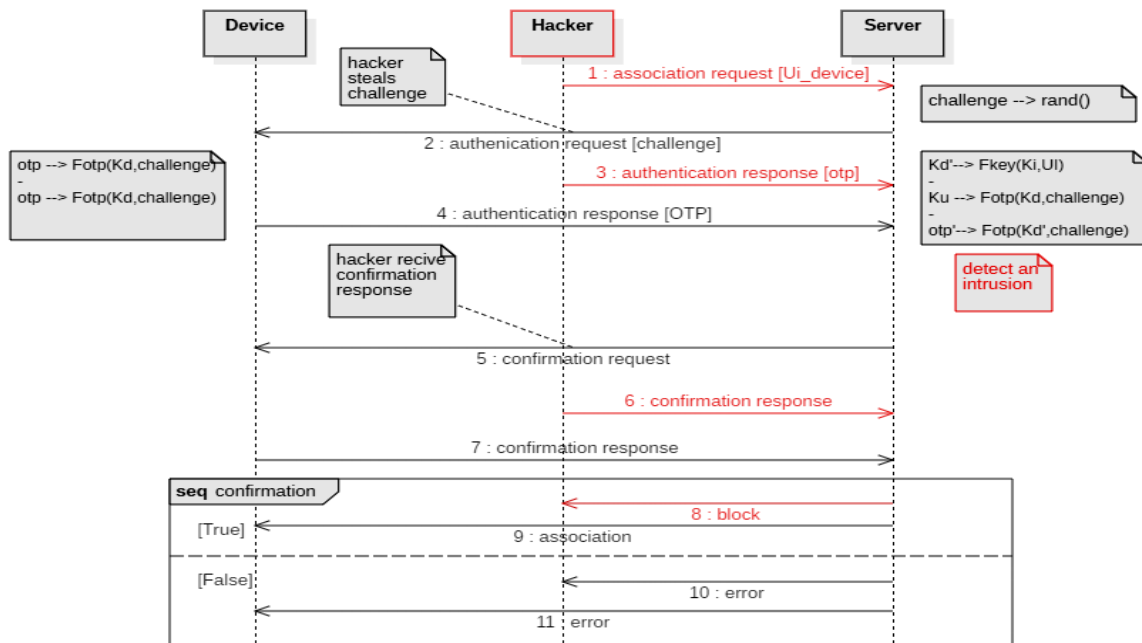


Figure 2: Security scenario

When the server receives authentication responses from both the attacker and the legitimate device simultaneously, it detects this anomaly and initiates a confirmation request for further validation. The device, upon receiving this confirmation request, generates a response using a highly complex function or a result derived from a shared algorithm with the server.

The shared algorithm involves a common function or a shared variable known only to the server and internal devices. This ensures secure authentication and protection against external hackers. The algorithm is outlined as the following algorithm:

Algorithm 1 : Common function

Step1 : $R1 = \text{HMAC-SHA256}(\text{username}, \text{password})$
 Step2 : $R2 = \text{HMAC-SHA256}(R1, K_d)$
 Step3 : $R3 = \text{HMAC-SHA256}(R2, \text{Secretkey}_2)$
 Step4 : Return R3

And the secret key is hidden and know just for the device, and it's very sensitive and this device encrypt (hide) this secret key by very strong encryption.

4. Experiment and Analysis

Our project was implemented and tested at a polyclinic in Biskra (About 400 km south-east of Algiers) [8].

We created a simulation model of a polyclinic located in Biskra (see Figure 3), comprising administrative staff and medical personnel including doctors and nurses. Both patients and medical professionals were equipped with devices enabling interaction and data exchange within the clinic. During the experiment, we introduced scenarios involving both internal and external intruders.

The application was designed to allow medical professionals to monitor patients closely and receive real-time data from connected devices.

We conducted tests to evaluate the system's response to internal and external intrusions. Specifically, we focused on measuring the association time factor, as detailed in Table 1.

Table 1
Authentication time

Version	Time without authentication (ms)	Time with authentication (ms)
Version 1[9]	20	32
Version 2[9]	43	54
Version 3	72	97

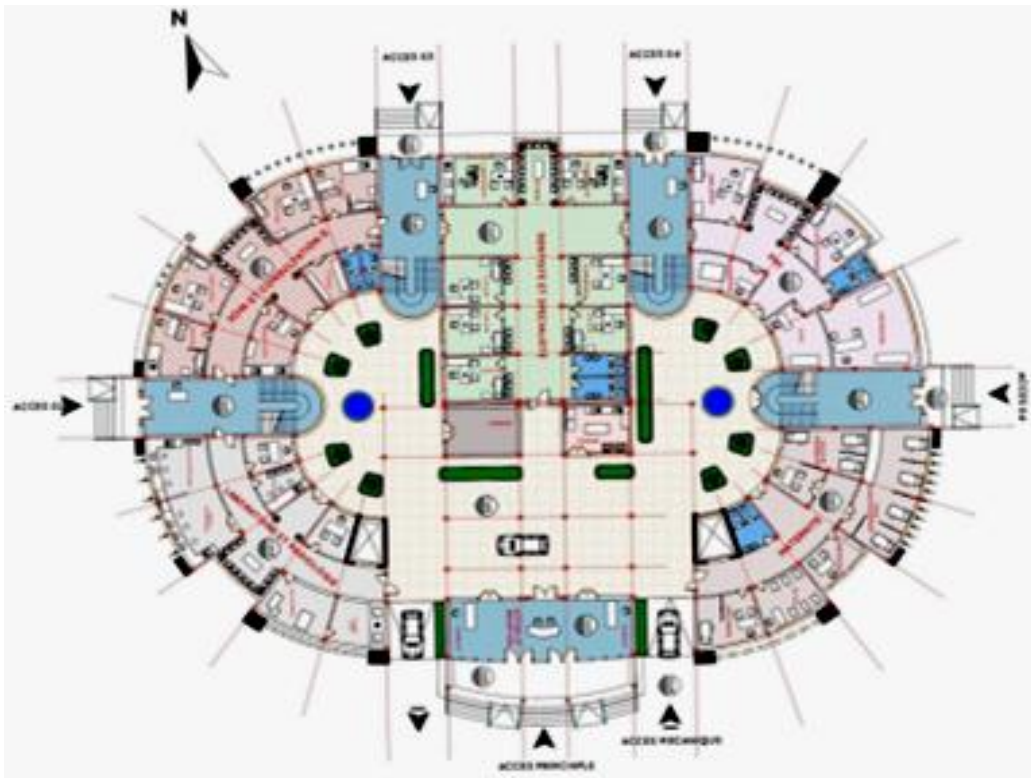


Figure 3: Polyclinic of Biskra

We conducted experiments involving various attacks from internal and external intruders, specifically focusing on detecting three association versions (see Table 2). Our findings indicate that version 3 yields superior intrusion detection results due to its more refined approach.

Table 2
Detection rate

Version	Internal intruder % detection	External intruder % detection
Version 1 [9]	60	54
Version 2 [9]	79	72
Version 3	98	95

External intruders pose a significant challenge in detection, primarily because their data is often absent from the database, complicating the identification process.

5. Conclusion and Future Works

The Internet of Things (IoT) integrates diverse fields such as computer science and electronics, resulting in a heterogeneous system that employs multiple technologies across various architectures and platforms. Deployed on a wide range of hardware, IoT systems utilize wireless communication technologies to interconnect intelligent and autonomous objects. However, the evolution and rapid deployment of IoT technologies are hampered by significant security challenges.

To address these issues, we developed a lightweight and robust security protocol designed specifically for IoT systems. This protocol ensures object authentication, guarantees data integrity, and incorporates intrusion detection capabilities to mitigate potential attacks. Our system has undergone iterative improvements, culminating in a solution tailored to the performance requirements of IoT environments.

In this study, we introduced an efficient security protocol capable of deployment across different IoT architectures and technologies, safeguarding systems and data from emerging threats. By enhancing security measures, we aim to facilitate the secure and widespread adoption of IoT technologies in diverse application domains.

Moving forward, our research will focus on several key areas to enhance and expand the capabilities of our security protocol. First, we plan to conduct extensive real-world testing in diverse IoT environments to evaluate the protocol's performance and effectiveness under various conditions. This will help identify potential areas for improvement and ensure robustness in practical applications.

Second, we aim to integrate advanced machine learning techniques to further enhance the protocol's intrusion detection capabilities. By leveraging AI, we can create

adaptive security measures that respond dynamically to emerging threats, providing even greater protection for IoT systems.

Third, we will explore the development of a standardized framework for IoT security protocols, promoting interoperability and ease of adoption across different industries and platforms. This framework will serve as a foundation for creating universally accepted security practices, facilitating the global integration of secure IoT technologies.

Lastly, we will investigate the potential of blockchain technology to provide decentralized and tamper-proof security solutions for IoT networks. Blockchain can offer an additional layer of security, ensuring data integrity and transparency in IoT communications.

By pursuing these future works, we aim to continuously improve our security protocol, addressing new challenges and opportunities in the ever-evolving landscape of IoT technologies.

References

- [1] Jose L Hernandez-Ramos, Marcin Piotr Pawlowski, Antonio J Jara, Antonio F Skarmeta, and Latif Ladid. (2015) Toward a lightweight authentication and authorization framework for smart objects. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33 (4): 690–702
[doi: 10.1109/JSAC.2015.2393436](https://doi.org/10.1109/JSAC.2015.2393436)
- [2] Riccardo Bonetto, Nicola Bui, Vishwas Lakkundi, Alexis Olivereau, Alexandru Serbanati, and Michele Rossi. Secure communication for smart IoT objects: Protocol stacks, use cases and practical examples. In 2012 IEEE international symposium on a world of wireless, mobile and multimedia networks (WoWMoM), pages 1–7. IEEE, 2012.
<https://www.dei.unipd.it/~rossi/papers/IoT-SoS-2012.pdf>
- [3] Jyh-Cheng Chen and Yu-Ping Wang. Extensible authentication protocol (eap) and idée 802.1 x: tutorial and empirical experience. *IEEE communications magazine*, 43(12): supl–26, 2005.
- [4] Sheetal Kalra and Sandeep K Sood. (2015) Secure authentication scheme for IoT and cloud servers. *Pervasive and Mobile Computing*, 24: 210–223.
<https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2015.08.001>
- [5] Ashok Kumar Mohan and T Gireesh Kumar. (2015) Secure seed-based sturdy OTP via convenient carry-on device. In *Artificial Intelligence and Evolutionary Algorithms in Engineering Systems*, pages 447–455. Springer.
- [6] Khaldoun Al Agha, Marc-Henri Bertin, Tuan Dang, Alexandre Guitton, Pascale Minet, Thierry Val, and Jean-Baptiste Viollet. (2009) Which wireless technology for industrial wireless sensors network? The development of OCARI technology. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56 (10): 13.
<https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2027253>
- [7] Harsh Kupwade Patil and Thomas M Chen. Wireless sensor network security. In *Computer and Information Security Handbook*, pages 301–322. Elsevier, 2013.
- [8] Tarhlissia Mohamed Islam. « *L'architecture fonctionnelle de polyclinique* » Master's thesis, University of Mohamed Khider de Biskra, Algeria, July 2019.

[HTML] <http://archives.univ-biskra.dz/handle/123456789/14687?mode=full>

- [9] Mohamed Tahar Hammi, Erwan Livolant, Patrick Bellot, Ahmed Serhrouchni, Pascale Minet. A Lightweight IoT Security Protocol. 1st Cyber Security in Networking Conference (CSNet2017), Oct 2017, Rio de Janeiro, Brazil.
<https://doi.org/10.1109/CSNET.2017.8242001>
-



Towards Context Integration in Content Based Recommender System for Smart Tourism

Mhamed HADJHENNI^{a, b, *}, Nassim DENNOUNI^b and Zohra SLAMA^a

(a) ISIBD team of EEDIS Laboratory, Djilali Liabes University, Sidi Bel Abbes, Algeria

(b) ICAR team of LIA laboratory, Hassiba BENBOUALI University, Chlef, Algeria

Abstract

Recommendation systems (RS) are now essential in various sectors of daily life, especially in tourism, where they assist tourists in making better choices about which points of interest (POIs) to visit. However, these RSs face a number of challenges, including the risk of a cold start when a new POI is taken into account, and the problem of tourist dissatisfaction with recommended POIs. To address these issues, we focused on Content-Based Recommendation Systems (CBRS) that mitigate the problem of data sparsity and integrate contextual information from tourists during their visits. In this paper, we refined tourist feedbacks using contextual variables like “time” and “companion” during the visit. Next, we implemented a CBRS using the vector representation of POIs with the Term Frequency/Inverse Term Frequency (TF/IDF) method to compute similarity between tourist profiles and POI characteristics. With this type of similarity, our system can run three variants of CBRS in parallel: the first ignores the tourist context, the second incorporates the “temporal context”, and the third takes into account the “companion context”. Finally, to compare these three recommendation variants, we used an online evaluation to calculate the Click Through Rate (CTR) metric. According to our initial experiments, the CBRS with the integration of temporal context outperforms the other two implemented RS.

Keywords: Recommender system; Content-based, context integration, Contextual pre-filtering, TF/IDF, Acceptation rat.

1. Introduction

With information overload, it is very hard for tourists to find the information that interests them. Similarly, tourism operators are also finding it difficult to promote their various travel offers. This is why many researchers and companies are developing recommendation systems (RS) to (1) help tourists find the points of interest (POIs) that are useful for them and (2) personalise the tourism products to be promoted by travel agencies.

Different techniques are used by RSs to formulate recommendations. The most popular are content-based recommendation methods and collaborative filtering methods. The latter use the scores provided by the user to evaluate an element. These scores are used to compute tourists' similarities [1]. Content-based methods work with information related to POIs (POI description, its categories or the keywords that characterise it) [2]. Both techniques are sensitive to the problems of cold start and data sparsity [3], which are linked to the dynamic nature of RSs (the addition of

some new items, the arrival of a new user or the lack of feedback from a user on an item). Hybrid recommender systems are very effective in solving these problems, as they use the strengths of the other recommendations methods and generally give better results [4]. In contrast, CBRSs categorise new POIs based on their descriptions, while collaborative filtering recommender systems (CFRS) mandate at least one tourist's explicit evaluation of the added POI to involve them in the recommendation process. As a result, CBRS seems to better mitigate the sparsity and cold start problems. However, tourists' preferences may vary according to their contexts, such as the device used (PC or Smartphone), location, time, companion, etc. [5]. To solve these problems, we propose in this paper a modest approach that uses several CBRS and incorporates the evolving tourists' context. As a result, this approach offers tourists three different recommendation variants simultaneously and incrementally. The first variant relies solely on the content of POIs while disregarding the tourists' context. The second is a Context CBRS that incorporates the temporal context of the visit. The final



variant is also a CBRS but specifically considers the context of the tourist's companion. In order to run these three recommendation variants in a parallel manner, we need to answer questions such as: (1) which tags should be used by the three CBRS variants. (2) What context variables should be included in the POI recommendation process? And (3), how should this process be evaluated?

To answer these questions, we developed an approach based on the annotation of POIs using tags (keywords). Then we adapted the TF/IDF method to our case of tourism recommendation by inferring the POI features and the tourist profile. Finally, we integrated the period of the day (time) and the companion as tourist context variables. These two variables are used to filter tourist feedbacks, keeping only those that correspond to the tourist's current situation. This enabled us to develop our three Context Aware Content Based Recommendation Systems (CACBRS). These systems will be evaluated by calculating the click-through rate (CTR) metric.

This paper is organised into five sections: Section 2 presents a synthesis of related works about contextual CBRS in the field of tourism. This section is also devoted to describe our contributions that concern the development of a context aware CBRS (CACBRS) prototype. Section 3 provides an elaboration of the results obtained from the experiments and their subsequent discussion. Finally, section 4 summarises the work achieved in this article and provides some perspectives for improving this work.

2. Materials and methods

2.1. Related works

The basic idea of a CBRS is to recommend POIs that are similar to what the tourist has previously enjoyed [6].

However, there are various methods for item modelling, with the Vector Space Model (VSM) [7] being the most renowned. VSM extracts item keywords from their descriptions and assigns keyword weights using the TF-IDF method, which calculates the weight for each term based on its significance in a document. Simultaneously, it inversely weights these terms according to their frequency across the entire dataset.

As a result, each item can be described using TF-IDF weights. The user's profile is inferred using a feature weight vector, indicating the user's interest in these features [6].

Using keywords to model this type of profile is a complex problem for many RSs. To solve this problem, there are two main approaches: the first relies on tourism experts to tag POIs [8], while the second gives tourists the opportunity to annotate each POI according to their views [9]. After tagging the POIs, the recommendation process can be carried out using the tags and keywords collected; this process suggests similar POIs to those previously enjoyed by the tourist. Then it establishes an ordered list of these POIs by calculating the similarity between the profile of a given tourist, represented by his preferences, and the set of characteristics of each POI. This calculation uses a vector representation of the characteristics of each POI and the profiles of each tourist.

To implement the POI prediction process, CBRSs use three distinct components [6]: (a) the content analyser to represent the POIs, (b) The profile learner, which gathers information reflecting the user's tendencies by building his profile [10] and (c) the filtering module, which recommends useful POIs calculated from the match between the POI description and the user's profile.

Traditional CBRS employs entries like $\langle \text{userId}, \text{itemId}, \text{givenRating} \rangle$ to make predictions of POI ratings. This type of system ignores information about the tourist's evaluation context, making the process of recommending POIs to unreliable and less accurate. To deal with this situation, CACBRSs use context information representing the state in which the tourist has rated a given POI using data records like $\langle \text{userId}, \text{itemID}, \text{context}, \text{givenRating} \rangle$. Context can encompass information regarding the situation of a place, person, or object that holds relevance for the relationship between the user and the application [11]. Consequently, the tourist context may include the visit time, the tourist's position, network capacities (bandwidth, coverage, etc.), the type of tourist (alone, with a partner, or with the family), the weather, and so on. However, collecting contextual information generates a significant volume of data and poses problems when it comes to determining the most relevant rating for a given POI. To solve this problem,

three types of visit history filtering can be used in the contextual POI recommendation process: (1) pre-filtering, (2) post-filtering, and (3) contextual modelling [12]. In pre-filtering, the current context information related to a tourist's experiences is employed to extract relevant evaluations before the beginning of the recommendation process. In contrast to this type of filtering, contextual post-filtering uses this information about a tourist's context to filter relevant predictions at the end of the POI recommendation process. Contextual modelling uses this same contextual information during the visit to refine the tourist's profile and deduce increasingly personalised recommendations [12].

In the field of tourism, it is not always possible to have a complete list of a tourist's preferences because these are constantly evolving and are closely linked to the actual context of the visit. Consequently, the three approaches described above quickly find their strengths. Consequently, the use of automatic inference of tourist profiles with contextual support would be more effective because it records and examines tourists' actions throughout their visit to obtain an objective opinion [2]. Based on this type of profile, CBRs are able to recommend travel plans, travel packages, group choices and destinations (POIs) to discover [13]. In our article, we are interested in works that recommend POIs using the implicit tourists profiles calculated when they visit. These works use mobile applications because they allow tourists to check in using GPS locations and evaluations at the time of the visit.

According to the literature, content-based methods are more prevalent in tourism, due to their ability to restrict the POI search field by considering similarities between visitors and POIs. In the following, we have compared our approach to existing works in the tourism domain considering the (1) context variable employed, (2) the use of the interactive map, (3) the description of POIs with tags, and (4) the type of evaluation of the POI recommendation process (see Table 1). The existing works in the tourism works studied in this paper are as follow:

Malet is a mobile application for local tourism that uses APIs to provide recommendations for tourist attractions with the tourist's context integration: weather, location and time. This application encourages users to explore more places by providing relevant information and a map interface to visualise this

contextual data. It also aims to enhance the tourist experience by using contextual information to provide personalised recommendations [14].

The authors in [15] present a tourism RS that provides personalised recommendations based on the user's preferences and contextual information that is represented by an ontological approach. This system uses a propagation activation technique to dynamically adapt recommendations to the user's profile, taking into account his preferences and contextual constraints.

Del *et al.* [16] propose a development framework to generate contextual recommendation for mobile users. This project proposes a generic recommendation architecture that is extensible and adaptable to the specific needs of different domains. This approach offers a demand-based recommendation module, this project cover pre-filtering, post-filtering, and contextual modelling paradigms.

Splsis is a web mapping application that uses semantic technologies (ontology) to recommend targeted offers to user groups based on their geographical context. It also integrates content-based recommendations, taking into account user preferences. This contextual approach enhances the user experience by providing relevant geographic information and personalised offers. This project improves user satisfaction by combining contextual aspects with content characteristics [17].

The "ReRex" application provides contextual POI recommendations to mobile users. Contextual information can be inferred, such as distance to POI, season, weather and time, or explicitly provided by the tourist, such as mood, budget, and means of transport. This application generates a list of POI recommendations, which are displayed in text format with a description or displayed on maps [18].

"LiveCities" uses geolocation to send personalised notifications to users, providing POI information and activity suggestions in real time based on the user's context. Notifications can include text, audio, video, or links to external sites. LiveCities aims to personalise the tourism experience by minimising device interactions based on user profile and geographical context to improve tourist satisfaction [19].

PSiS is designed for mobile devices. It recommends POIs using content-based filtering algorithms by integrating user information such as location and

weather during the visit. The application requires a connection and thus offers personalised recommendations along the way [20].

In what follows, Table 1 classifies the applications mentioned above according to the parameters that characterise their use in the field of tourism.

Table 1
Context-based CBRS applications for tourism

Smart tourism CARS	Context integration	Evaluation type	Map interaction	Using POI tags
MAELT [14]	Time, Location, weather	Empiric evaluation	Yes	No
[15]	distance to POIs, time, and weather information	Empiric evaluation	Yes	Yes
[16]	User location, social media data	Empiric evaluation	Yes	Yes
SPLIS[17]	Time, Location, weather	user evaluation	Yes	Yes
ReRex[18]	Time, weather, companion	User evaluation	Yes	Yes
LiveCities[19]	Location, social	User Experience	Yes	No
PSiS[20]	Time , weather	Empiric evaluation	Yes	No
Our Approach	Time, companion	Online evaluation	Yes	Yes

The work mentioned above still faces several challenges, including issues like data sparsity and cold start problems. Hybrid recommendation systems, therefore, present an interesting solution for addressing these issues, especially within the tourism sector.

2.2. Contribution

Our objective was to develop a website prototype, which permit to assist a tourist in his discovery of Chlef city, thanks to personalised recommendations of POIs. Our prototype is based on hybrid RS that combines the results of three CBRSs launched in parallel during the tourist's visit: the first system does not take into account the tourist's context, while the 2nd and 3rd systems are

based on pre-filtering of the "Companion" and "Time" contexts, respectively. Our contribution is composed by two parts: (1) pre-filtering with context and (2) content-based recommendation.

2.2.1. Pre-filtering with context

The context variables we have used are the "time" variable, which is a context variable obtained implicitly and the "companion" variable, which is obtained explicitly. The values of these context variables are described in Table 2.

Table 2
Context variables used for the tourist (user) profile.

Context Variables	Variable values	Variable tests	Context type
Time	Early Morning	01 :00 <= Time <=0 5:59	Inferred (implicit)
	Morning	06 :00 <= Time <=11 :59	
	Afternoon	12 :00 <= Time <=17 :59	
	Evening	18 :00 <= Time <=00 :59	
Companion	Alone, with family, with friend	Alone, with family, with friend	Declared (explicit)

The pre-filtering phase with context according to the "time" and "companion" variables is carried out using algorithm I below. We then run three RSs: (1) CBRS without context, (2) CBRS with the "time" context and

(3) CBRS with the "companion" context. The results of these RSs can be combined by displaying them on a map that can be accessed on demand by any online tourist.

Algorithm1 RSPersCBCContextPref (LPOI, RatPOI, User Id)

Input: LPOI: list of POI's
 N1, N2, N3: The number of POI returned by each RS.
 RatPOI: Rating values given by user for POI's
 UserId:Id of he active user
Output: Rec_POI: Recommendation results with POI's and id RS that recommend this POI.

- 1: C1_Ctxt_Comp = Retrieve Companion context
- 2: C2_Ctxt_Time = Retrieve Time context
- 3: Pref_RuPOI2 = Pre-filtering (RatPOI , C1_Ctxt_Comp) ;
- 4: Pref_RuPOI3 = Pre-filtering (RatPOI , C2_Ctxt_Time) ;
- 5: R1 = **Rec_TFIDF_Cosin** (LPOI, RatPOI, UserId, N1)
- 6: R2 = **Rec_TFIDF_Cosin** (LPOI, Pref_RuPOI2, User Id, N2)
- 7: R3 = **Rec_TFIDF_Cosin** (LPOI, Pref_RuPOI3, User Id, N3)
- 8: Rec_POI=Concatenate(R1, RS1, R2, RS2, R3, RS3)
- 9 : **Return** Rec_POI

2.2.2. Content-based recommendation

To implement our system, we follow the steps outlined below: (a) Data selection, (b) Data encoding, and (c) Content recommendation.

2.2.2.1. Data selection

In this step, we determine the data sets to be used by our system to provide POI recommendation. We have selected the most significant POI for nomadic tourists, based on markers previously established by tourist operators in the region we are exploring. We used UML language to describe the data structure about User, POI, tags and feedback (see Figure 1).

The Feedback class contains context information in the form of two context variables: "time" and "companion".

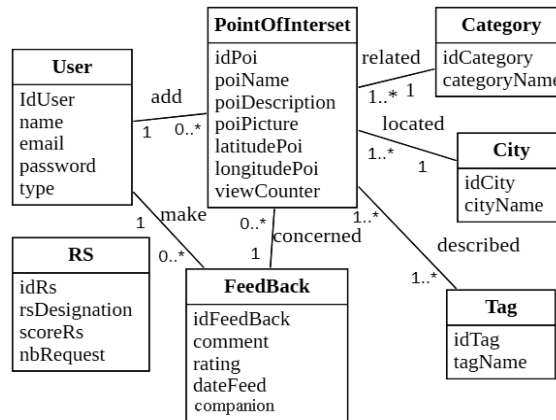


Figure 1: Class diagram modelling the data in our system

2.2.2.2. Data encoding

We used the encoding technique (TF-IDF) to represent our data in the form of feature vectors. TF-IDF expresses the calculation of the importance of a term in a document compared to a collection of documents. This technique favours frequent terms in a document while penalising frequent terms in the collection as a whole, thus making it possible to find key terms specific to a document.

This concept is used by document search methods and in our case of content-based POI recommendation, we

will be looking at the importance of keywords (terms) in the description of POIs (documents). TF is the occurrence rate of the term t_i inside the POI_j description. With stop-words discarded, the higher the frequency of the term "ti" within the description of a POI, the greater its perceived relevance to that particular POI. TF is defined by formula (1).

$$TF(t_i, POI_j) = \frac{NC(t_i, POI_j)}{NT(POI_j)} \quad (1)$$

With:

$NC(t_i, POI_j)$: The occurrence number of the term "ti" in the POI_j description.

$NT(POI_j)$: The number of terms in the description of the POI_j .

IDF is a metric used to assess the significance of a term based on its rarity within a collection of documents (POIs). The less common a term is within the collection, the higher its IDF value, signifying its greater importance in information retrieval (POI). This is because it can effectively distinguish between various documents (POIs). The IDF is calculated using formula (2) as follows:

$$IDF(t_i) = \log \frac{N(POI)}{Nb(t_i)} \quad (2)$$

With:

$N(POI)$: The total number of POIs in the dataset.

$Nb(t_i)$: The number of occurrences of the term "ti" in all POIs descriptions.

The TF-IDF is computed using Formula 3 [21]. A higher TF-IDF value indicates that the term "ti" is more relevant in the description of POI_j .

$$TF - IDF(t_i, POI_j) = TF(t_i, POI_j) \times IDF(t_i) \quad (3)$$

Where

$TF(t_i, POI_j)$ is defined by the formula (1).

$IDF(t_i)$ is defined by the formula (2).

In content-based recommendation, we compute TF-IDF values for each POI. Afterward, we measure the similarity between two POIs vectors, denoted as $P = (p_1, p_2, \dots, p_m)$, and $Q = (q_1, q_2, \dots, q_m)$, using their TF-IDF values. In the literature, various similarity measures exist, such as Pearson's coefficient, Euclidean, Jaccard and cosine similarity. In our scenario, we have opted for cosine similarity, which is defined by formula (4) as follows:

$$Cosine\ sim(P, Q) = \frac{\sum_{i=1}^m p_i q_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m p_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m q_i^2}} \quad (4)$$

2.2.2.3. Content recommendation

Once we have computed the probabilities of selecting a set of POIs given by similarity-based methods for the current tourist, the next step is to proceed with the POI features and the tourist profile computation. For this reason, we calculate the prediction of the POI not yet visited by choosing the one with the profile most similar to the profile of the current tourist. Below, we explain the algorithm 2 used to generate content-based recommendations for an active tourist using his notes pre-filtered by the "time" or "companion" context.

Algorithm2 Rec_TFIDF_Cosin (LPOI, RuPOI, UserId, N)

Input:

LPOI: POI's list

RuPOI: POI's rating given by the active user.

UserId: The active user Id

N: The number of POI returned by RS.

Output: L_Rec_POI: Recommendation results with POI's id

1: Df_POI = read LPOI // binary format of tags for all POIs

// Df_POI (POIID | tag1 | tag2 | ... | tag_m) with binary value 0 or 1

2: TF_IDF_matrix = calculate TF-IDF for all POIs According to (3)

// TF_IDF_matrix format (POIID | Tag1 | ... | Tag_m) with TF-IDF

.....

3: Cosin_Sim_Matrix = calculate POI cosine sim with

TF_IDF_matrix values according to (4)

// Cosin_Sim_Matrix (POIID1 | POIID2 | ... | POIID_n) with Cosine

.....

4: Df_User_Rating = read RuPOI

5: Add column ['Weight'] to Df_User_Rating matrix.

// Df_User_Rating (POIID, Rating, Weight)

6: **For each** row of Df_User_Rating

7: Df_User_Weight = Df_User_Rating / 5

8: **End For**

9: TF-IDFUserVisitedPOI = from TF_IDF_matrix get TF-IDF of
.....
rated by the active user.

10: User_profile = TF-IDFUserVisitedPOI **dot** Df_User_Weight

// User_profile format (Tag1 | ... | Tag_m) with TF-IDF value

11: TF-IDFUserNotVisitedPOI = from TF_IDF_matrix get TF-IDF

.....

POI's not yet visited by the user with UserId

// **dot** is the product function of two vectors

12: L_Sim_POI = Cosin_sim(TF-IDF_UserNotPOIVisited,

.....
// L_Sim_POI format (POIID, CosinSim)

13: L_Rec_POI = Descending sorting (L_Sim_POI, N)

The Rec_TFIDF_Cosin algorithm is used to generate contextualised tourist profiles that change from one context to another. For example, the profile of an early-morning tourist differs from that of an evening tourist.

3. Results and Discussion

We implemented this system using SQL Lite and the Django Framework. Tourist profiles and features of POIs are characterised by tags that have been expertly defined within the field of tourism. Tourists have the

choice to recommend their own tags to improve the current ones. Our site recommends POIs using a content-based approach with TF/IDF encoding in three scenarios: (1) POIs from CBRS that ignore the tourist context, (2) POIs from CBRS that include the "time" context and (3) POIs from CBRS that include the "companion" context.

Then, the choices of POIs made by the tourist during his journey, as well as his comments and evaluations, will be recorded by our system. These informations help to enrich our site and improve the quality of future recommendations. Tourists and tourist guides can update the descriptive tags of POIs.

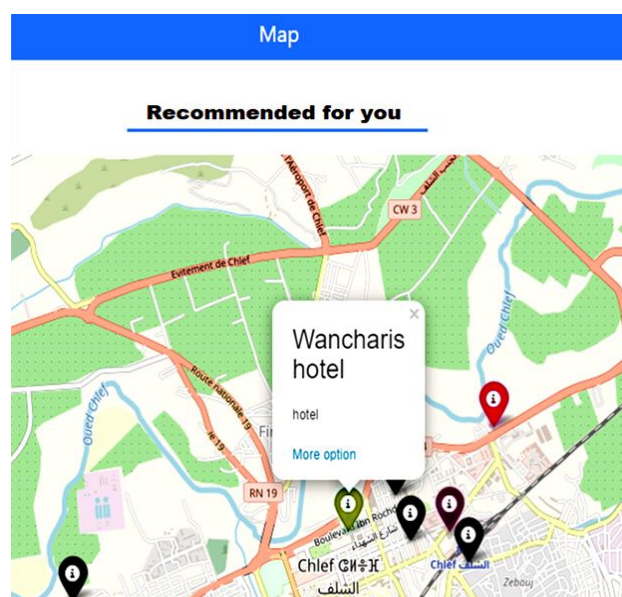


Figure2: POI recommendations results displayed on Map

To test this tool, we invited 30 tourists to visit Chlef city described by 50 POIs. This test phase was carried out over a period of two months. Then, to evaluate the performance of our tool, we carried out an online evaluation of our three approaches, as shown in Figure 2.

This approach uses the click-through rate (CTR) because this parameter is widely used in online evaluations of RSs [22]. In our case, we calculated the CTR using formula 5 below:

$$CTR = \frac{Nb_Accepted_Rec}{Nb_Displayed_Rec} \quad (5)$$

Where:

Nb_Accepted_Rec is the number of POI recommendations accepted by the tourist.

Nb_Displayed_Rec is the number of POI recommendations visible to the tourist.

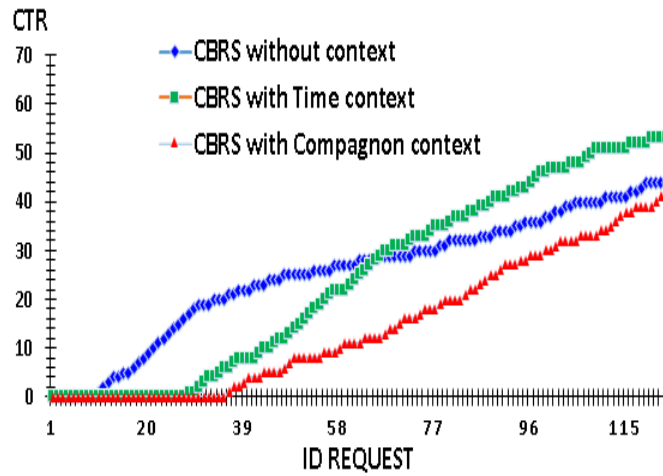


Figure 3: Online evaluation results by CTR metric

Figure 3 above illustrates the results of the CTR metric to compare the three CBRSs that we implemented. From these results, we observe that the cold start problem affects all three systems until query 14, when the CBRS without context starts to give acceptable recommendations for tourists. On the other hand, the CBRS with time context (respectively, CBRS with companion context) gives acceptable recommendations from query 27 (respectively query 35). Figure 3 also shows, using the CTR metric, that CBRS with TF-IDF and time context integration outperforms the two other RSs from query 63 onwards.

4. Conclusion

We have explored in this article, the possibility of adapting the TF-IDF technique for POIs suggesting at the CBRS level. We have also highlighted the contribution of context to improve the quality of the tourist experience, while ensuring that the problems associated with data sparsity and cold start are properly mitigated. Then, we focused on the contribution of our tool to assist the tourists during touristic visits on Chlef city sites. Finally, we used the CTR as an indicator to assess satisfaction with the use of our system by real tourists.

According to the results of our experiment, CBRS based on TF-IDF with the "time" context integration gives better results than the other two recommendations approaches.

In the future, we propose to continue the experimentation campaigns to build a rich data set that will make it possible to exploit the contribution of context to improve tourist satisfaction. We also propose to create other systems that (1) integrate the time and companion contexts at the same time and to take into account other context variables such as the distance between POIs. We also suggest to use (1) the post-filtering context technique and (2) the context modelling method in CBRS process. Finally, we try to create a new CBRS with Latent Dirichlet Allocation (LDA) technique [23] and to develop a system that helps tourists in choosing the most pertinent tags according to their areas of interest.

Acknowledgements

This work was enabled feasible by the project PRFU N° COOLO7UN020120220001 called "Formalisation of point-of-interest recommendation systems and performance evaluation for mobile users", Computer Science Department, Hassiba Ben Bouali University, Chlef, Algeria.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- [1] Candillier, L., Jack, K., Fessant, F., & Meyer, F. (2009). State-of-the-art recommender systems. In Collaborative and Social Information Retrieval and Access: Techniques for Improved User Modeling (pp. 1-22). IGI Global.
- [2] Pazzani, M. J., & Billsus, D. (2007). Content-based recommendation systems. In The adaptive web: methods and strategies of web personalization (pp. 325-341). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_10
- [3] Schein, A. I., Popescul, A., Ungar, L. H., & Pennock, D. M. (2002, August). Methods and metrics for cold-start recommendations. In Proceedings of the 25th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (pp. 253-260).
<https://doi.org/10.1145/564376.564421>
- [4] Adomavicius, G., & Tuzhilin, A. (2005). Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 17(6), 734-749.
<https://pages.stern.nyu.edu/~atuzhili/pdf/TKDE-Paper-as-Printed.pdf> (Accessed on 12/02/2024)
- [5] Van Setten, M., Pokraev, S., & Koolwaaij, J. (2004). Context-aware recommendations in the mobile tourist application COMPASS. In Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems: Third International Conference, AH 2004, Eindhoven, The Netherlands, August 23-26, 2004. Proceedings 3 (pp. 235-244). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-540-27780-4_27
- [6] Lops, P., De Gemmis, M., & Semeraro, G. (2011). Content-based recommender systems: State of the art and trends. *Recommender systems handbook*, 73-105.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-85820-3_3
- [7] Baeza-Yates, R., & Ribeiro-Neto, B. (1999). Modern information retrieval (Vol. 463, No. 1999). New York: ACM press.
<https://web.cs.ucla.edu/~miodrag/cs259-security/baeza-yates99modern.pdf> (Accessed on 18/02/2024)
- [8] Song, Y., Zhuang, Z., Li, H., Zhao, Q., Li, J., Lee, W. C., & Giles, C. L. (2008, July). Real-time automatic tag recommendation. In Proceedings of the 31st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (pp. 515-522).
<https://doi.org/10.1145/1390334.1390423>
- [9] Sen, S., Vig, J., & Riedl, J. (2009, April). Tagommenders: connecting users to items through tags. In Proceedings of the 18th international conference on World Wide Web (pp. 671-680).
<https://doi.org/10.1145/1526709.1526800>
- [10] Mitchell, T. M. (1997). *Machine learning*, McGraw-Hill, New York, 1997. Epubook:
https://archive.org/details/machinelearning0000mitc/page/n3/mod_e/2up
- [11] Abowd, G. D., Dey, A. K., Brown, P. J., Davies, N., Smith, M., & Steggles, P. (1999). Towards a better understanding of context and context-awareness. In *Handheld and Ubiquitous Computing: First International Symposium, HUC'99 Karlsruhe, Germany, September 27-29, 1999 Proceedings 1* (pp. 304-307). Springer Berlin Heidelberg.
<https://sites.cc.gatech.edu/fce/contexttoolkit/chivs/Dev.pdf>
- [12] Adomavicius, G., Sankaranarayanan, R., Sen, S., & Tuzhilin, A. (2005). Incorporating contextual information in recommender systems using a multidimensional approach. *ACM Transactions on Information systems (TOIS)*, 23(1), 103-145.
<https://doi.org/10.1145/1055709.1055714>
- [13] Bentaleb, A., El Bouzekri El Idrissi, Y., & Ait Lahcen, A. (2021). A review on content based recommender systems in tourism. In *International Conference on Digital Technologies and Applications* (pp. 527-541). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-73882-2_48
- [14] Silva, C. A., Toasa, R., Guevara, J., Martinez, H. D., & Vargas, J. (2018). Mobile application to encourage local tourism with context-aware computing. In *Proceedings of the International Conference on Information Technology & Systems (ICITS 2018)* (pp. 796-803). Springer International Publishing.
- [15] Bahramian, Z., Ali Abbaspour, R., & Claramunt, C. (2017). A context-aware tourism recommender system based on a spreading activation method. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 333-339.
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W4-333-2017>
- [16] M. del Carmen Rodríguez-Hernández, M., & Ilarri, S. (2016). Pull-based recommendations in mobile environments. *Computer Standards & Interfaces*, 44, 185-204.
<https://doi.org/10.1016/j.csi.2015.08.002>
- [17] Viktoratos, I., Tsadiras, A., & Bassiliades, N. (2015). A context-aware web-mapping system for group-targeted offers using semantic technologies. *Expert Systems with Applications*, 42(9), 4443-4459.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.039>
- [18] Baltrunas, L., Ludwig, B., Peer, S., & Ricci, F. (2011). Context-aware places of interest recommendations for mobile users. In *Design, User Experience, and Usability. Theory, Methods, Tools and Practice: First International Conference, DUXU 2011, Held as Part of HCI International 2011, Orlando, FL, USA, July 9-14, 2011, Proceedings, Part I 1* (pp. 531-540). Springer Berlin Heidelberg.
- [19] Martin, D., Alzua, A., & Lamsfus, C. (2011). A contextual geofencing mobile tourism service. In *Information and communication technologies in tourism 2011* (pp. 191-202). Springer, Vienna.
- [20] Anacleto, R., Figueiredo, L., Luz, N., Almeida, A., & Novais, P. (2011). Recommendation and planning through mobile devices in tourism context. In *Ambient Intelligence-Software and Applications: 2nd International Symposium on Ambient*

Intelligence (ISAmI 2011) (pp. 133-140). Springer Berlin Heidelberg.

- [21]Zhang, W., Yoshida, T., & Tang, X. (2011). A comparative study of TF* IDF, LSI and multi-words for text classification. *Expert systems with applications*, 38(3), 2758-2765.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.066>
- [22]Beel, J., Genzmehr, M., Langer, S., Nürnberger, A., & Gipp, B. (2013, October). A comparative analysis of offline and online evaluations and discussion of research paper recommender system evaluation. In *Proceedings of the international workshop on reproducibility and replication in recommender systems evaluation* (pp. 7-14).
<https://doi.org/10.1145/2532508.2532511>
- [23]Uto, M., Louvigné, S., Kato, Y., Ishii, T., & Miyazawa, Y. (2017). Diverse reports recommendation system based on latent Dirichlet allocation. *Behaviormetrika*, 44, 425-444.
<https://doi.org/10.1007/s41237-017-0027-7>
Erratum to: *Behaviormetrika*
<https://doi.org/10.1007/s41237-017-0029-5>
-



Lead and Aluminum Toxicity Induce Loss and Death of Hepatorenal Cells in Mice

Leila GADOUCHE^{a,b,*}, Khayra ZERROUKI^c and Noureddine DJEBLI^c

^aDepartment of Biology, Faculty of Natural Sciences and Life, Hassiba Benbouali University of Chlef, P.O. Box 151, Chlef 02000, Algeria.

^bTAMAYOUZ Laboratory Endocrinology and Metabolism (LEM) 02 Rue Didouche Mourad. Alger, Algeria

^cLaboratory of Pharmacognosy and Api-Phytotherapy; Mostaganem University, Mostaganem, Algeria

Abstract

Lead and Aluminum are natural components of the Earth's crust and are environmental contaminants. This study aims to assess the effects of chronic intoxication with aluminum chloride and lead acetate on liver enzymes and histological changes in the liver and kidneys of mice. After 12 weeks, the *in vivo* study revealed an increase in liver enzymes (AST and ALT) and hypocalcaemia in aluminum intoxication and hypercalcaemia in lead toxicity, suggesting that both metals disrupt calcium homeostasis. Histological examination of the liver showed hepatocyte lesions with dilated sinusoids, ballooning, inflammatory infiltrates, nuclear pyknosis, Kupffer cells, vascular congestion, and an increased number of binucleated hepatocytes. The kidneys exhibited dilated renal tubules, inflammatory infiltrates, and congestion. Biochemical parameters confirmed the histological changes observed in the liver and kidneys. Lead and aluminum severely affect the liver and kidneys.

Keywords: Aluminum; Lead; Hepatotoxicity; Nephrotoxicity; Cell loss.

1. Introduction

ATSDR¹ [1] has received reports of Lead contamination from various sources, including the deterioration of lead-based paint, the use of car batteries, smoke, gasoline, and plumbing systems where Lead can leach from pipes, faucets, and solder. Additionally, workplaces, particularly those involved in production processes, contribute to lead exposure. The agency has also highlighted the presence of Lead in certain commercial products such as imported jewelry, candy, children's toys, cosmetics, and traditional healing remedies in folk medicine.

White *et al.* [2] reported that Lead serves as a potent neurotoxin, exerting adverse effects on the nervous system. This metal, considered a xenobiotic, lacks any recognized vital function in cellular growth, proliferation, or signaling. Exposure to lead triggers heightened oxidative stress, leading to substantial damage to biomolecules, ionic mechanisms, and

apoptosis. These effects extend across nearly all major organ systems of the body, potentially resulting in irreversible damage and contributing to various disease manifestations [3].

Concerning Aluminum, this latter constitutes 8% of the Earth's surface, it predominantly exists in natural sources such as silicates, cryolite, and bauxite rock. Despite its abundance in these natural sources, Aluminum can also act as a contaminant in drinking water and food items [4].

Yokel [5] pointed out that human exposure to Aluminum happens through multiple sources; including ingestion of food, consumption of water, inhalation of airborne dust, and the use of various cosmetic and pharmaceutical products such as: antacids, antiperspirants, vaccines, and allergy immunotherapy.

Even though abundant in environment, Aluminum lacks essentiality for living organisms and does not participate in any enzymatic reactions. In contrast, it interferes with the homeostasis of crucial metals like Magnesium, Calcium, and Iron. Aluminum mimics

¹ [Agency for Toxic Substances and Disease Registry](https://www.atsdr.cdc.gov/)



these metals in their biological functions, resulting in a range of biochemical alterations [6].

The previous works of Gadouche *et al.* [7, 8] and Zerrouki *et al.* [9, 10] revealed that Aluminum and Lead are implicated in neurological disorders, demonstrated by alterations in the neurological behavior of mice and deterioration of architecture of their cerebral cortex and hippocampus, but also their involvement via intoxication in Alzheimer's disease .

Given the ubiquitous presence of Aluminum chloride and Lead acetate in the environment, the aim of this study is to assess the hepatic and nephritic histological aspects resulting from chronic exposure to both substances.

2. Materiel and methods

2.1. Animals

21 Swiss albino mice weighing 18.74 ± 1.83 g and aged 4 weeks, provided by Pasteur Institute of Algiers in Algeria were used for *in vivo* trial.

Mice were housed in cages labeled with the batch number, treatment, and dates of experimentation. The cages were lined with wood shavings cleaned daily. The mice were exposed to standard animal facility conditions: a temperature of 22°C, a natural photoperiod of 12 hours of light and 12 hours of darkness. They were fed a standard diet and had unrestricted access to water.

Two groups of mice were exposed daily to drinking water containing 1000 ppm of lead acetate [11] and 500 mg/kg of aluminum chloride [12] for 90 days compared to a control group, which received only drinking water.

2.2. Biomarkers of liver function and Calcium

The mice were euthanized, and their blood was gathered in heparin tubes to analyze some biochemical markers; ALT, AST (utilizing the SPINREACT Kit), and Calcium (using the Biomaghreb kit).

Histological study

Histological sections were conducted at the Anato-pathology laboratory of Oran Military Hospital. After euthanasia, kidney and liver were promptly immersed in 10% formalin. The samples

were then dehydrated in alcohol baths (70°, 80°, 90° and pure alcohol), which was later substituted by xylene, a paraffin-miscible solvent. Once dehydrated, the tissue was embedded in paraffin melted at 65°C. Once the fabric has hardened and stiffened, the mould was removed. Histological sections were then prepared in ribbon form using a microtome and stained with Hematoxylin and Eosin.

2.3. Statistical study

The data collected through this experimentation were subject to descriptive statistical analysis using Excel software. In order to compare the experimental groups, the data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) followed by t-test. Significance was determined at $P < 0.05$.

3. Results and discussion

3.1. Assay of hepatic transaminases and Calcium

Analysis of liver markers showed a significant increase in AST (444.50 ± 28.99 U/L) ($P < 0.05$) and ALT (109 ± 35.35) ($P > 0.05$) in Lead-treated mice, compared to the control groups (AST: 338 ± 12.73 ; ALT: 73.50 ± 13.43 U/L) ($P < 0.05$) (Table 1).

Furthermore, the results showed that Lead induced high significant levels of Calcium compared to the controls (119.50 ± 1.41 mg/L) ($P < 0.05$).

Table 1
Levels of ALT, AST and Calcium in mice.

	Group (C)	Group (Pb)	Group (Al)
AST U/L	338 ± 12.73	444.50 ± 28.99 *	432.50 ± 84.14
ALT U/L	73.50 ± 13.43	109 ± 35.35	220 ± 125.86
Calcium (mg/L)	95.85 ± 2.90	119.5 ± 1.41 *	79.85 ± 0.92 *

C: control; Al: aluminum exposed mice (500 mg/kg); Pb: lead exposed mice (100 ppm); (Al vs. control); (Pb vs. control);

* $P < 0.05$

The determination of transaminases; AST and ALT indicated that hepatic function was impaired due to chronic Aluminum intoxication in the Al treated group (AST; 432.50 ± 84.14 U/L; ALT; 220 ± 125.86 U/L) compared to control mice (AST: 338 ± 12.73 U/L;

ALT: 73.50 ± 13.43 U/L). Calcium determination revealed significant hypocalcaemia (79.85 ± 0.92) compared to control mice (95.85 ± 2.9) $P < 0.05$.

Transaminases are commonly used as markers for assessing liver function. Alterations in their levels in the bloodstream often signal damage to the liver's parenchymal cells. These changes can present diagnostic challenges for clinicians, particularly when evaluating conditions affecting the liver or other organs [13].

Our findings are in agreement with those of Ibrahim *et al.* [14] and El-Tantawy [15], who demonstrated that Lead ingestion significantly, enhances the activity of AST and ALT. These observations are consistent with the earlier study of Wardani *et al.* [16], suggesting that Lead exhibits hepatotoxic effects, explaining that oxidative stress plays a pivotal role in the liver damage caused by lead acetate.

Aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase are enzymes primarily found in the liver, and alterations in their blood levels are indicators of liver damage. Elevated levels of these enzymes in the bloodstream are may be due to cellular injury or changes in cell membrane permeability [17].

In our study, Administration of Aluminum significantly increased the leakage of AST transaminases ($P < 0.05$) and ALT ($P > 0.05$) into the bloodstream. Similarly, Administration of aluminum resulted in a significant increase in the leakage of ASAT transaminases ($P < 0.05$), while ALAT leakage showed a non-significant increase ($P > 0.05$) into the bloodstream. Bhadauria [18] similarly observed elevated levels of these enzymes in rats following oral administration of $AlCl_3$. In addition, Shati & Alamri, [19], mentioned that Al has a hepatotoxic effect, evidenced by an increasing in biochemical markers of liver such as: cholesterol levels, triglycerides, GGT, ALT, AST, ALP, lipid peroxidation, and presence of hyperglycemia. Moreover, changes of AST and ALT in case of hepatotoxicity or hepatocellular injury suggest hepatic injury following membrane disruption.

Regarding Calcium, various hormones, such as parathyroid hormone, calcitonin and calcitriol, manage the balance of this element in the body. [20], malignant tumours, hypoadrenocorticism, renal insufficiency and primary hyperparathyroidism show calcium overload.

According to Song [22], hypocalcaemia can result from various factors, including chronic renal insufficiency, calcium sequestration in bones, chelation therapies for heavy metal removal, and calcium saponification in acute pancreatitis. Our study suggests that both Aluminum and Lead exposure contribute to calcium imbalance, potentially associated with renal insufficiency, as evidenced by several lesions observed in renal tissue via H&E staining in our study.

3.2. Histological structure of liver and kidneys

Microscopic examination of the liver of control mice showed a normal histological structure (Figure 1A). For mice treated with 1000 ppm of lead acetate during 90 days; we noted a loss of liver architecture including: dilated sinusoids, dilated centrilobular veins, irregular ballooned hepatocytes, inflammatory infiltrates, nuclear pyknosis, Kupffer cells, vascular congestions and increased number of binucleated hepatocytes (Figure 1B). The results of H&E staining indicated that chronic intoxication by Aluminum induced severe alterations of the histological architecture of the liver including marked enlarged areas of ballooning degeneration of hepatocytes, infiltration inflammatory cell, dilated sinusoids, dilated centrilobular veins and vascular congestion (Figure 1C). Our results corroborate the hepatic section observations in rats that received 0.13% of lead acetate in drinking water for 4 weeks, reported by Hegazy *et al.* [23].

The study found a slight infiltration of inflammatory cells surrounding the congested central vein, accompanied by hepatocyte vacuolation. Conversely, individuals administered the same dosage over 8 weeks showed marked disruption to liver architecture, evidenced by necrotic areas and the presence of pyknotic nuclei. Our results align with those of Pal *et al.* [24], who reported that lead induced liver cell death and dysfunction.

Our results are in line with those obtained by El-Sayed *et al.* [25] who found extensive injuries in $AlCl_3$ mice's liver tissues stained with H&E techniques. These damages included disruption of normal parenchymal tissue architecture, infiltration of inflammatory cells, congestion of sinusoids and blood vessels, cellular

degeneration accompanied by nuclear pyknosis, and the presence of necrotic region.

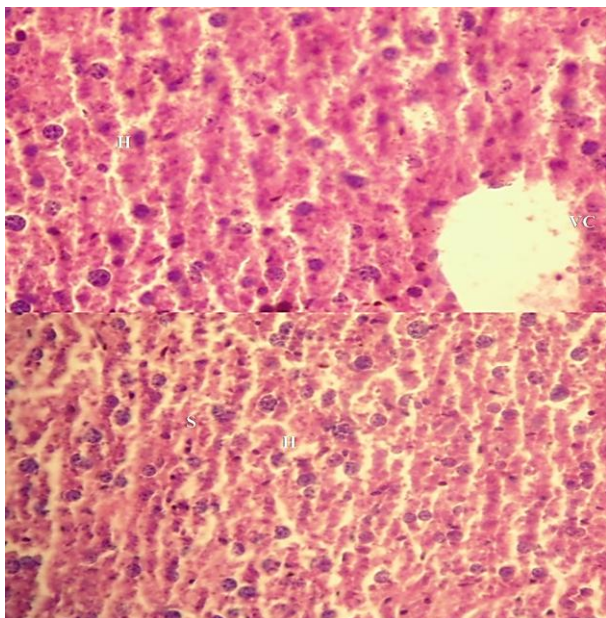


Figure 1 A: Photography of a section in the liver of control mice (H&E staining, Gr×40). Hepatocyte (H); central vein (CV); sinusoids (S)

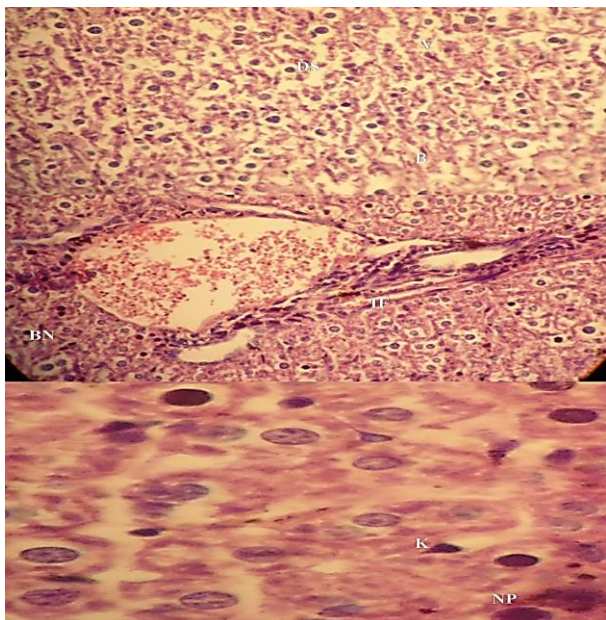


Figure 1 B: Photography of a section in the liver of mice treated by lead acetate (C) (H&E staining, Gr×40). Normal cell (NC); Central vein (CV); sinusoids (S); Infiltrate inflammatory (IF); Dilated sinusoid (DS); Congested blood (CB); Vacuolated cells (V); Ballooning cell (B); b) Nuclear pyknosis (NP); kupffer cells (K); Binucleated hepatocytes (BN)

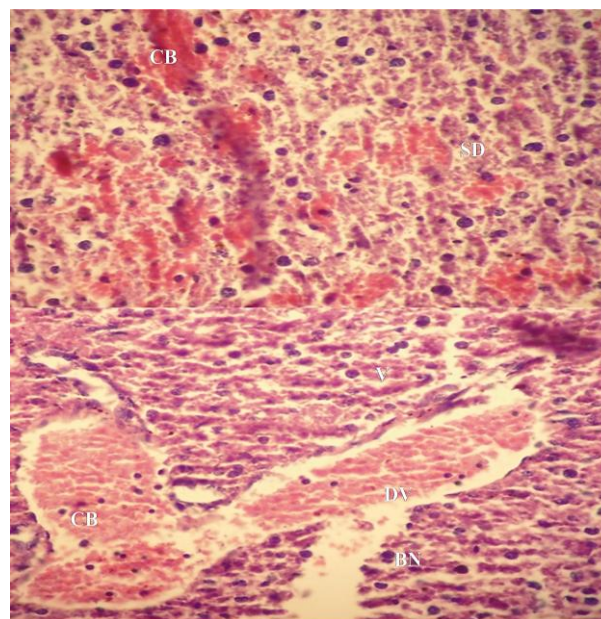


Figure 1 C: Photography of a section in the liver of micetreated by aluminum (H&E staining, Gr×40). Infiltrate inflammatory (IF); Dilated sinusoid (DS); Congested blood (CB); Vacuolated cell (V); Ballooning cell (B); Dilated vein (DV); Binucleated hepatocytes (BN).

Concerning the kidney structure, control mice showed normal renal tubules and glomerulus with H&E staining (Figure 2A). Exposure to Lead showed a histological architecture, rich in aggregates of inflammatory cells, dilatation of the renal tubules and hypertrophy of the glomeruli (Figure 2B). While the kidneys of Aluminum-intoxicated mice revealed dilatation of the renal tubules, an infiltrate of inflammatory cells and blood congestion (Figure 2C). Tubular disorganization was observed in mice exposed to both metals.

Our observations are consistent with those of Offor *et al.* [26] who noted degeneration and necrosis of renal parenchymal cells, accompanied by significant infiltration of inflammatory cells in the kidneys of rats under a daily dose of 60 mg/kg of lead acetate over period of 28 days. Additionally, Missoun *et al.* [27] concluded that prolonged administration of lead acetate to rats for more than 8 weeks resulted in the development of nephropathy and related disorders.

Kutlubay *et al.* [28] demonstrated also that Aluminum induces the generation of reactive oxygen species, resulting in oxidative damage to cellular lipids, proteins, and DNA, ultimately leading to nephrotoxicity

characterized by the degeneration of renal tubular cells. Al-Dera [29] found that Aluminum induces renal oxidative stress and inflammation, indicating a potent pro-oxidant effect of $AlCl_3$ despite its non-redox nature.

This oxidative stress contributes to notable impairment in kidney function and architectural integrity following exposure to $AlCl_3$. Bhasin *et al.* [30] reported that Aluminum induces changes in liver histoarchitecture characterized by the disruption of hepatic cords and heightened vacuolization. These observations are widely demonstrated in our study.

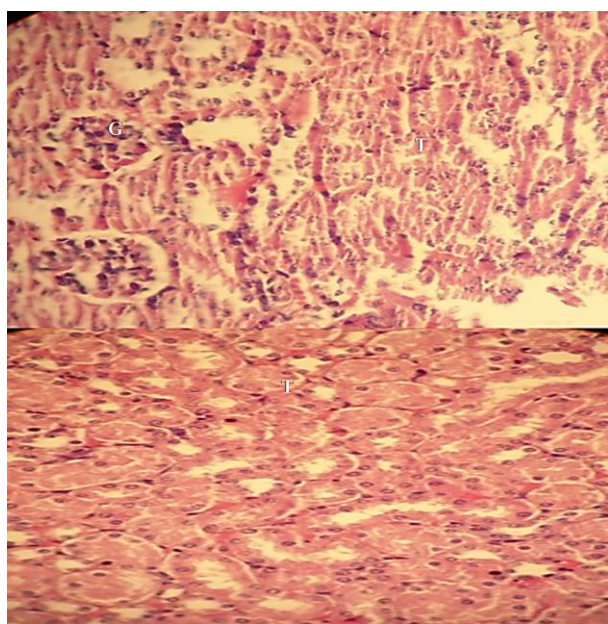


Figure 2 A: Microscopy of Kidneys of control mice (H&E staining, Gr×40). Tubules (T); Glomeruli (G).

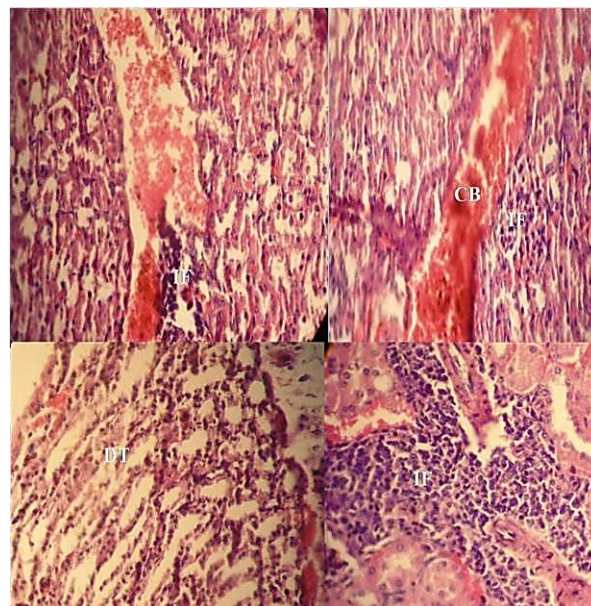


Figure 2 B: Microscopy of Kidneys of mice treated by lead acetate (H&E staining, Gr×40). Infiltrate inflammatory (IF); Dilated renal tubes (DT); Congested blood (CB).

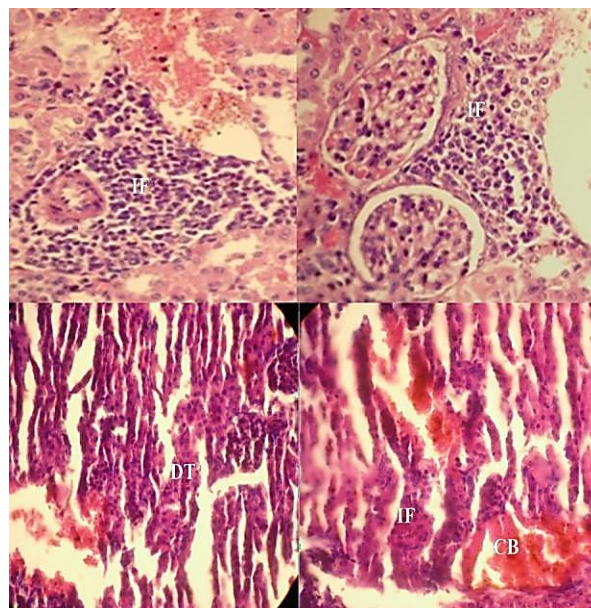


Figure 2 C: Microscopy of Kidneys of mice treated by aluminum (H&E staining, Gr×400). Infiltrate inflammatory (IF); Dilated renal tubes (DT); Congested blood (CB).

4. Conclusion

This investigation showed that Lead and Aluminum cause severe hepatotoxicity and nephrotoxicity. It is essential to raise awareness about the harmful effects of these xenobiotics on public health, explore preventive measures, and take steps to clean up our environment to address their widespread distribution. Adopting a proactive approach is very important to safeguard public health and the quality of our environment. Additional research is also necessary to document the dangers of these two metals for humans, by extending the concepts of the study to other compartments of the animal body.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest

References

- [1] Agency for toxic substances and disease registry. *Case studies in environmental medicine (CSEM). Lead Toxicity*. https://www.atsdr.cdc.gov/csem/lead/docs/CSEM-Lead_toxicity_508.pdf (Accessed on 03/02/2024)
- [2] White LD, Cory-Slechta DA, Gilbert ME, Tiffany-Castiglioni E, Zawia NH, Virgolini M, Rossi-George A, Lasley SM, Qian YC, & Basha MR. (2007) New and evolving concepts in the neurotoxicology of lead. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 15: 225 (1): 1-27. [doi: 10.1016/j.taap.2007.08.001](https://doi.org/10.1016/j.taap.2007.08.001).
- [3] Flora G, Gupta D, & Tiwari, A. (2012) Toxicity of lead: A review with recent updates. *Interdiscip Toxicol.*, 5 (2) :47–58. <https://doi.org/10.2478/v10102-012-0009-2>
- [4] Krewski D, Yokel RA, Nieboer E, Borchelt D, Cohen J, Harry J, Kacew S, Lindsay J, Mahfouz AM, Rondeau V. (2007) Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev.*, 10 (1): 1–269 [doi: 10.1080/10937400701597766](https://doi.org/10.1080/10937400701597766).
- [5] Yokel RA. Aluminum in Food – The Nature and Contribution of Food Additives, Food Additive, Prof. Yehia El-Samragy (Ed.). ISBN: 978-953-51-0067-6, In Tech. 2012.
- [6] Kawahara M, Kato-Negishi M. (2011) Link between aluminum and the pathogenesis of Alzheimer's disease: the integration of the aluminum and amyloid cascade hypotheses. *Int J Alzheimers Dis.*, 8: 276393. [doi: 10.4061/2011/276393](https://doi.org/10.4061/2011/276393).
- [7] Gadouche L, Djebli N, Zerrouki K. (2018) Pomegranate juice attenuates neurotoxicity and histopathological changes of the nervous system induced by aluminum in mice. *Phytothérapie*, 16 (3) 133–141. [doi: 10.3166/phyto-2018-0016](https://doi.org/10.3166/phyto-2018-0016)
- [8] Gadouche L, Djebli N, Zerrouki K. (2020) Algerian pomegranate peel decreases lead concentration in brain and improves neurological disorders. *Pol. J. Natur. Sc.*, 35 (1): 97–107. Disponible sur internet : http://www.uwm.edu.pl/polish-journal/sites/default/files/issues/articles/7-gadouche_0.pdf (Accédé le 11/05/2024)
- [9] Zerrouki K, Djebli N, Gadouche L, Erdogan Orhan I, Mat A. (2021). The Moderating Effect of *Hypericum thymbrifolium* against Memory Loss and Alzheimer's Disease (Experimental Study in Mice). *Jordan J. Biol. Sci.* 4 (2), 303-307. <https://doi.org/10.54319/jjbs/140216>
- [10] Zerrouki K, Djebli N, Gadouche L, Erdogan Orhan I, SezerSenol Deniz F, Aslan Erdem S. (2021) Protective Effect of Boswellic Resin Against Memory Loss and Alzheimer's Induced by Aluminum Tetrachloride and D-Galactose (Experimental study in Mice). *Phytothérapie*. 19 (5-6) 306-315. [DOI: 10.3166/phyto-2020-0222](https://doi.org/10.3166/phyto-2020-0222)
- [11] Djebli N, Slimani M, Aoues, A. (2005) Effect of lead exposure on dopaminergic transmission in the rat brain. *Toxicology*, (3): 363-8. [doi:10.1016/j.tox.2004.10.016](https://doi.org/10.1016/j.tox.2004.10.016).
- [12] Gong QH, Wu Q, Huang XN, Sun AS, Shi JS. Protective (2005) Effects of *Ginkgo biloba* Leaf Extract on Aluminum-Induced Brain Dysfunction in Rats, *Life Sci.*, 77 (2): 140-8. [doi: 10.1016/j.lfs.2004.10.067](https://doi.org/10.1016/j.lfs.2004.10.067)
- [13] Gowda S, Desai PB, Hull VV, Math AA, Vernekar SN, Kulkarni SS. (2009) A review on laboratory liver function tests. *Pan Afr Med J.*, 3 (17). [PMID: 21532726; PMCID: PMC2984286](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21532726/)
- [14] Ibrahim NM, Eweis EA, El-Beltagi HS, Abdel-Mobdy YE. (2012) Effect of lead acetate toxicity on experimental male albino rat. *Asian Pac J Trop Biomed.*, 2 (1): 41–46. [doi: 10.1016/S2221-1691\(11\)60187-1](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(11)60187-1)
- [15] El-Tantawy WH. (2015) Antioxidant effects of Spirulina supplement against lead acetate-induced hepatic injury in rats. *J Tradit Complement Med.*, 6 (4): 327–331. [doi:10.1016/j.jtcme.2015.02.001](https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2015.02.001)
- [16] Wardani G, Farida N, Andayani R, Kuntoro M, Sudjarwo SA. (2017) The Potency of Red Seaweed (*Eucheuma cottonii*) Extracts as Hepatoprotector on Lead Acetate-induced Hepatotoxicity in Mice. *Pharmacognosy Res.*, 9 (3):282–286.[doi:10.4103/pr.pr.69_16](https://doi.org/10.4103/pr.pr.69_16)
- [17] Jeschke MG. (2009) The hepatic response to thermal injury: is the liver important for post burn outcomes? *Mol med.*, 15 (9-10): 337-51. [doi: 10.2119/molmed.2009.00005](https://doi.org/10.2119/molmed.2009.00005)
- [18] Bhadauria, M. (2012) Combined treatment of HEDTA and propolis prevents aluminum-induced toxicity in rats. *Food Chem Toxicol.*, 50 (4): 2487-95. [doi: 10.1016/j.fct.2011.12.040](https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.12.040).
- [19] Shati AA, Alamri SA. (2010) Role of saffron (*Crocus sativus L.*) and honey syrup on aluminum-induced hepatotoxicity. *Saudi Med. J.* 31 (10): 1106-13. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20953525/>
- [20] Salyer SW. (2007) Chapter 8 - Medical Emergencies. Essential Emergency Medicine For the Healthcare Practitioner. 311-417. <https://doi.org/10.1016/B978-141602971-7.10008-X>
- [21] Song L. (2017) Chapter One - Calcium and Bone Metabolism Indices. *Adv Clin Chem.*, 82: 1-46. [DOI: 10.1016/bs.acc.2017.06.005](https://doi.org/10.1016/bs.acc.2017.06.005)
- [22] Jones B, Mooney CT. Chapter 20 - Drugs used in the management of thyroid and parathyroid disease. Small Animal Clinical Pharmacology (Second Edition). 2008: 498-508. <https://doi.org/10.1016/B978-070202858-8.50022-1>.
- [23] Hegazy A, Fouad U. (2014) Evaluation of Lead Hepatotoxicity; Histological, Histochemical and Ultrastructural Study. *Forensic Medicine and Anatomy Research*. 2:70-79. [doi: 10.4236/fmar.2014.23013](https://doi.org/10.4236/fmar.2014.23013)
- [24] Pal PB, Sinha K, Sil PC., (2013) Mangiferin . a Natural Xanthone. Protects Murine Liver in Pb(II) Induced Hepatic Damage and Cell

Death via MAP Kinase, NF- κ B and Mitochondria Dependent Pathways. *PLoS ONE.*, 8 (2): e56894.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056894>

- [25] El-Sayed WM, Al-Kahtani MA, Abdel-Moneim AM. (2011) Prophylactic and therapeutic effects of taurine against aluminum-induced acute hepatotoxicity in mice, *J Hazard Mater.*, 192 (2): 880–886. doi: [10.1016/j.jhazmat.2011.05.100](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.100)
- [26] Offor SJ, Mbagwu HOC, Orisakwe OE. (2017) Lead Induced Hepatorenal Damage in Male Albino Rats and Effects of Activated Charcoal., *Front. Pharmacol.*, 8: 107. doi: [10.3389/fphar.2017.00107](https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00107)
- [27] Missoun F, Slimani M, Aoues A. (2010) Toxic effect of lead on kidney function in rat Wistar., *Afr. J. Biochem. Res.*, 4 (2): 21-
<http://www.academicjournals.org/AJBR> (Accessed on 23/04/2024)
- [28] Kutlubay R, Oğuz EO, Güven C, Can B, Sinik Z, Tuncay OL. (2007) Histological and ultrastructural evidence for protective effects on aluminium-induced kidney damage by intraperitoneal administration of alpha-tocopherol. *Int J Toxicol.*, 26 (2): 95-101. doi: <https://doi.org/10.1080/10915810701221173>
- [29] Al Dera HS. (2016) Protective effect of resveratrol against aluminum chloride induced nephrotoxicity in rats. *Saudi Med J.*, 37 (4): 369–378. doi: [10.15537/smj.2016.4.13611](https://doi.org/10.15537/smj.2016.4.13611)
- [30] Bhasin P, Singla N, Dhawan DK. (2014) Protective role of zinc during aluminum-induced hepatotoxicity, *Environ Toxicol.*, 29: 320–327. doi: [10.1002/tox.21760](https://doi.org/10.1002/tox.21760)

EMPTY PAGE



Enquête sur la consommation de *Helix aspersa* en Algérie et Analyse biochimique d'échantillons de deux régions : Chlef et Mostaganem.

Meryem SADOUD^{a,b,*}, Sarra METLEF^c, Azdinia ZIDANE^c, Fatima AFGHOUL^a,
Chimaa AMEUR DAHMANI^a et Ali RIAZI^b

^aFaculté des sciences de la nature et de la vie, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, Algérie.

^bLaboratoire des microorganismes bénéfiques, des aliments fonctionnels et de la santé, Algérie.

^cLaboratoire de Bioressources naturelles locales, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, Algérie.

Résumé

La présente étude vise d'une part, une investigation de la consommation d'*Helix aspersa* par la population Algérienne, et d'autre part, une analyse de la composition biochimique de la chair d'escargot provenant de deux régions en Algérie (Chlef et Mostaganem). L'étude de la consommation d'escargot a été réalisée via une enquête. En ce qui concerne l'étude de la composition biochimique de la chair d'*Helix aspersa*, d'abord, la chair et la coquille étaient séparées des viscères puis lavée plusieurs fois à l'eau. Les contenus en matière sèche et en minéraux dans la chair ont été déterminés par méthodes thermogravimétriques. La teneur en protéines a été déterminée par la méthode de Lowry et celle des sucres par la méthode phénol-acide sulfurique. Le contenu en lipides de la chair d'escargot a été déterminé par la méthode au Soxhl. Les résultats de l'étude de la consommation d'*Helix aspersa* par la population Algérienne ont montré qu'un total de 95 sur 133 personnes de la région ouest-algérienne consomment l'escargot grâce à son goût agréable. Par ailleurs, les résultats de l'étude de la composition biochimique de la chair d'*Helix aspersa* ont montré la présence de $82,35 \pm 0,27$ % et $76,93 \pm 0,42$ % d'eau dans le muscle d'escargot collecté des régions de Mostaganem et de Chlef, respectivement. Les protéines représentaient $13,47 \pm 0,98$ % et $16,35 \pm 0,87$ % dans la chair d'escargot de Mostaganem et de Chlef, respectivement. De même, des teneurs respectives en cendres de l'ordre de $0,84 \pm 0,015$ % et $0,92 \pm 0,04$ % ont été enregistrées. Toutefois, de faibles teneurs en sucres et en lipides ont été enregistrées dans les deux types d'escargot. D'autres études sont fortement recommandées visant sa composition en vitamines, en acides aminés et en acides gras polyinsaturés.

Mots clés: *Helix aspersa* ; Consommation ; Enquête ; Composition biochimique.

Survey on the consumption of *Helix aspersa* in Algeria and Biochemical analysis of samples from two cities: Chlef and Mostaganem.

Abstract

The current study aims to analyze the intake of *Helix aspersa* by the Algerian population, and also analyzing the biochemical composition of its flesh originating from two Algerian cities (Chlef and Mostaganem). A survey was carried out to collect data regarding snail consumption. To investigate the biochemical composition of *Helix aspersa*, initially the flesh and the shells were separated from the viscera and washed many times with water. The amounts of dry matter and minerals in the flesh were assessed using thermogravimetric techniques. The protein content was determined using the Lowry method, whereas sugar was determined using the phenol-sulfuric acid method. The lipid content of snail flesh was determined using the soxhlet method. According to the findings related to the survey on *Helix aspersa* consumption, 95 out of 133 persons in the western Algeria region eat snails for its special flavor. The study on the biochemical composition of *Helix aspersa* flesh found 82.35 ± 0.27 % and 76.93 ± 0.42 % of water from samples collected at Mostaganem and Chlef cities, respectively. Protein levels were 13.47 ± 0.98 % and 16.35 ± 0.87 % in Mostaganem and Chlef samples, respectively. Similarly, ash's values of 0.84 ± 0.015 % and 0.92 ± 0.04 % were reported. Low sugar and fat levels were seen in both species of snail. Further research on its vitamin, amino acid, and polyunsaturated fatty acid composition is intensely advised.

Keywords: *Helix aspersa*; Consumption; Survey; Biochemical composition.

1. Introduction

Le nouveau mode de vie urbain fortement sédentaire, l'exposition aux xénobiotiques et les

mauvaises habitudes alimentaires récentes sont parmi les facteurs qui fragilisent la santé de l'Homme et



Ce document est en accès libre selon les termes de la [Creative Commons Attribution License CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), qui permet de le partager, copier, reproduire, distribuer, communiquer, réutiliser ou adapter avec l'obligation de créditer son auteur.

l'orientent vers le recours à des compléments alimentaires naturels réparateurs des dommages générés par ces facteurs [1].

La consommation d'escargots ou *Helix aspersa* (*H. aspersa*) est une tradition et est perçue comme source de bien être à bien des égards [2]. La littérature récente attribue à ce gastéropode de nombreuses vertus exprimées par sa valeur nutritionnelle, son contenu en molécules bioactives, la richesse minérale (notamment en calcium) de sa coquille, ou encore son microbiome [3, 4].

Sur le plan nutritionnel, en général, les gastéropodes sont une bonne source en vitamines B, D et E, avec une chair peu calorifique (83 Kcal/100g), ils sont pauvre en graisses, riche en minéraux (magnésium, fer, calcium, potassium) et assez riche en acides gras polyinsaturés protecteurs cardio-vasculaires [5].

Sur le plan fonctionnel, l'escargot suscite également beaucoup d'intérêt auprès de la communauté scientifique en raison des nombreuses propriétés biologiques (antioxydante, anti-inflammatoire, antimicrobienne, hypotensive, anti-tumorale, cicatrisante, etc.) des peptides contenus dans sa chair, son mucus et dans son hémolymphe [6].

Le mucus sécrété par l'escargot attire l'attention des chercheurs à cause des biomolécules qu'ils renferment et qui ont des applications en médecine et en cosmétologie [6]. De plus, plusieurs études ont démontré l'innocuité de ce mollusque, en effet, Aouji *et al.* [7] ont démontré dans une étude réalisée chez des femelles de rats wistar sur la toxicité aigüe de *Helix aspersa* que ce mollusque n'induit aucun effet sur le changement de comportement ou sur la mortalité des animaux. Par conséquent, il a été observé que la DL_{50} ¹ est supérieure à 2000 mg/kg, et aucun signe de toxicité n'a été enregistré chez le groupe des animaux durant toute la période expérimentale.

Cependant, les études sur la consommation, l'intérêt alimentaire, nutritionnel, technologique et sanitaire de *Helix aspersa* d'Algérie sont peu nombreuses. De ce fait, des études sur la composition biochimique, la valeur nutritionnelle et diététique et l'intérêt sanitaire des différentes parties de ce

gastéropode sont nécessaires, en vue de sa valorisation dans les domaines de la nutrition humaine, la technologie alimentaire, la cosmétique et en biomédecine. Cette étude vise, d'une part, l'étude de la consommation de *Helix aspersa* par la population Algérienne et la détermination de la composition biochimique de sa chair dans deux régions de l'Algérie (Chlef et Mostaganem).

2. Matériels and méthodes

2.1. Matériel

Deux échantillons d'escargot provenant de deux régions ont été utilisés dans cette étude. Le premier, provenant de la région de Mostaganem (35°56'52.14''N and 0°5'21.05''E), a été acheté du marché local à la ville de Mostaganem en mois de Janvier 2023. Le second, provenant de la région de Chlef (36°9'54.90''N et 1°20'4.27''E) a été récolté des jardins pendant la période s'étalant entre les mois de Février et Avril 2023. Les échantillons ont été conservés dans des boites en polyéthylène à -18 °C.

2.2. Méthodes

2.2.1. Etude de la consommation de *Helix aspersa* en Algérie

Une étude, observationnelle à visée descriptive basée sur une enquête a été menée. Un questionnaire crée par l'application Google-forms dont le lien a été diffusé à travers les réseaux sociaux a été réalisé. L'objectif de ce questionnaire était d'évaluer la consommation de l'escargot par la population Algérienne. L'étude a été menée sur une population constituée de 133 personnes constituée de 106 femmes et de 26 hommes, âgés entre et 60 ans et appartenant aux différentes régions de l'Algérie (Chlef, Ain-Defla, Alger, Mostaganem, Tissemsilet, Ain Temouchent, Mascara, Béjaia, Anaba, Sétif, Boumerdes, Oran, M'ssila., Blida, Relizane, Biskra, Bechar, Saida, Batna, Constantine, Tizi-ouzou et Tlemcen).

Le questionnaire était divisé en deux grandes parties La première concerne des informations générales sur la personne enquêtée (sexe, âge, habitat, niveau d'instruction et situation familiale). La seconde,

¹ DL₅₀ : Dose Létale. La quantité d'une matière, administrée en une seule fois, qui cause la mort de 50 % (la moitié) d'un groupe d'animaux d'essai : <https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/ld50.html#section-1-hdr>

comporte des questions sur la consommation d'escargot et l'appréciation de son goût, la fréquence, la saison et le moyen de son obtention, la variété et la méthode de sa préparation, d'autres questions sur le prix des escargots vendus sur marché, ont été aussi posés.

2.2.2. Etude de la composition biochimique des échantillons d'*Helix aspersa* de Chlef et de Mostaganem

Les escargots ont été triés et décoquillés puis éviscérés et lavés plusieurs fois à l'eau de robinet. Les escargots ont été ensuite séchés à l'étuve à une température de 40 °C pendant 24 heures ensuite broyés à l'aide d'un broyeur électrique et tamisé. La farine obtenue a été conservée dans des flacons secs à l'abri de la lumière et de l'humidité.

2.2.3. Détermination de la teneur en eau

La détermination de la teneur en eau de la chair des escargots a été réalisée par la méthode thermogravimétrique [8]. Les escargots décoquillés et éviscérés sont découpés en petits morceaux, pesés et séchés à l'étuve à une température de 100 °C jusqu'à poids constant. Le taux d'humidité de la chair d'escargot est déterminé par la formule suivante :

$$H (\%) = (M_1 - M_2) / P \times 100 \quad (1)$$

H (%) : Teneur en eau.

M₁ : Masse (en g) du creuset en porcelaine avec l'échantillon avant le séchage.

M₂ : Masse (en g) du creuset avec l'échantillon après le séchage.

P: Masse (en g) de la prise d'essai.

2.2.3.1. Détermination de la teneur en cendre

La détermination de la teneur en cendres dans la farine de la chair de l'escargot a été réalisée par méthode de calcination. 10 g d'échantillon sont placés dans des creusets en porcelaine, puis incinérés dans un four à moufle à une température de 550 °C pendant 8 heures. Ensuite, les creusets sont refroidis dans un dessiccateur et leur poids finaux sont mesurés. Le taux de cendres est calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{Taux des cendres (\%)} = (M_1 - M_2) / P \times 100 \quad (2)$$

M₁ : Masse (en g) du creuset et la matière sèche avant l'incinération.

M₂ : Masse (en g) du creuset avec les cendres.

P : La masse (en g) de la prise d'essai.

2.2.3.2. Détermination de la teneur en matière grasse

L'extraction semi-continue à chaud des lipides par la a été réalisée en utilisant un extracteur de Soxhlet [9]. 5 g de la poudre de la chair d'escargot sont placés dans une cartouche de cellulose et insérés dans l'extracteur, obstrué par un morceau de coton. L'extraction est effectuée en utilisant 150 mL d'hexane pendant 6 heures, ensuite les lipides sont pesés après évaporation du solvant à une température de 60 °C. Le taux de lipides dans l'échantillon est déterminé en utilisant la formule suivante :

$$TL (\%) = (P_2 - P_1) / P_0 \times 100 \quad (3)$$

TL(%) : Taux de lipides (%),

P₀ : Poids de la prise d'essai (g),

P₁ : Poids du ballon vide (g),

P₂ : Poids du ballon et la matière grasse (g).

2.2.3.3. Détermination de la teneur en glucides

La détermination des glucides totaux a été réalisée par la méthode de phénol-acide sulfurique décrite par Dubois *et al.*[10]. 1g de poudre de la chair d'escargot est mélangé avec 1 mL d'une solution de phénol (5 % p/v). Ensuite, 5 mL d'acide sulfurique concentré sont additionnés à ce mélange. L'absorbance du mélange est ensuite lue à une longueur d'onde de 485 nm après incubation de l'échantillon à température ambiante pendant 30 minutes. Enfin, en utilisant une courbe d'étalonnage établie avec différentes concentrations de glucose, la concentration en sucres totaux a été déterminée.

2.2.3.4. Détermination de la teneur en protéines

La détermination de la teneur en protéines dans la chair d'escargot a été réalisée par la méthode de Lowry comme a été décrit par Ranjini *et al.* [11]. L'albumine sérique bovine (BSA) a été utilisée comme protéine étalon. La farine d'escargot a été dissoute dans une solution d'acide acétique (0,1 M) à une concentration de 1 mg/mL. L'absorbance du mélange a été mesurée par spectrophotométrie à 720 nm après ajout de la solution de Lowry. La concentration en protéines dans la farine d'escargot a été calculée à l'aide d'une courbe d'étalonnage établie avec une protéine étalon, la sérum albumine bovine (BSA).

2.3. Analyse statistique

Les données enregistrées sur les fiches d'enquêtes ont été ensuite traitées par le logiciel Excel (2007)©. L'analyse des données a fait appel aux méthodes statistiques.

En ce qui concerne l'analyse biochimique, trois répétitions indépendantes ont été réalisées pour chaque test. Les résultats sont exprimés en moyenne \pm l'écart type. Une analyse statistique (analyse de variance à un facteur : ANOVA) a été réalisée par le logiciel statistique Past (version 3.19)©. Les différences ont été considérées statistiquement significatives à $P < 0,05$.

3. Résultat set Discussion

3.1. Etude de la consommation de *Helix aspersa* Algérie

Dans notre étude, 168 personnes ont répondu à notre questionnaire, seulement 133 ont été retenues dont 26 hommes et 106 femmes. 78 des personnes qui ont répondu au questionnaire étaient âgées de 20 à 30 ans, 41 personnes de 30 à 40 ans et seulement 9 personnes âgées de 40 à 50 ans. Cependant, les personnes de plus de 50 ans représentaient uniquement 2 (50 à 60 ans). Ceci est expliqué par le fait que les Algériens qui consultent les réseaux sociaux sont, le plus souvent, âgés de 20 à 40 ans.

En outre, les résultats de cette étude ont montré que 85 des ont souvent consommé de l'escargot, 38 personnes le consomment rarement et 10 personnes n'en ont jamais consommé (Figure 1). La majorité des personnes qui consomment l'escargot sont de l'ouest Algérien (Chlef : 27, Oran : 22, Tlemcen : 18, Mostaganem : 15, Ain-Temouchent : 9 et Relizane : 6).

Parmi les personnes qui déclarent avoir souvent consommés l'escargot, 39 personnes trouvent quête mollusque auna goût très agréable, 27 personnes le qualifie d'agréable. Cependant, 19 personnes trouvent que son goût est acceptable.

Dans cette étude, nous avons observé que les personnes qui consomment rarement l'escargot et qui n'en ont jamais consommé, trouvent que son goût est indésirable (26 personnes) ou ont une crainte par rapport à sa qualité (22) (Figure 2).

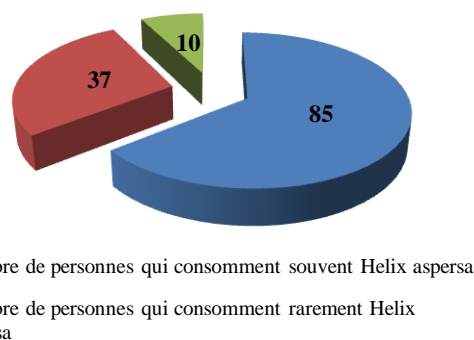


Figure 1: Résultats de la consommation de *Helix aspersa* par la population enquêtée (Les valeurs représentent le nombre de personnes).

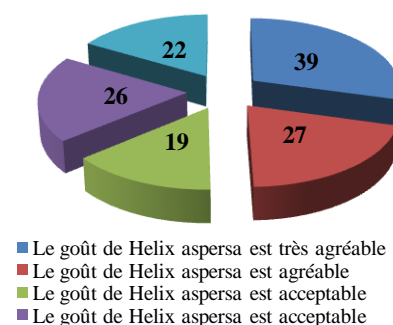
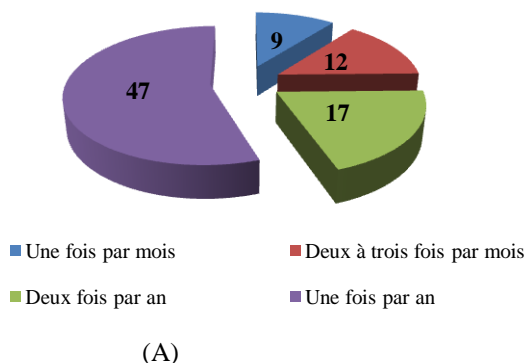


Figure 2 : Le goût de *Helix aspersa* d'Algérie selon la population enquêtée (Les valeurs représentent le nombre de personnes).

Dans la présente étude, il a été observé que seulement 9 personnes consomment l'escargot une fois par mois, 12 personnes le consomment tous les 2 à 3

mois, 17 personnes le consomment deux fois par an et 47 personnes le consomment 1 fois par an. En outre, ils



le consomment en hiver (40 personnes), en printemps (17) et en automne (14) (Figure 3).

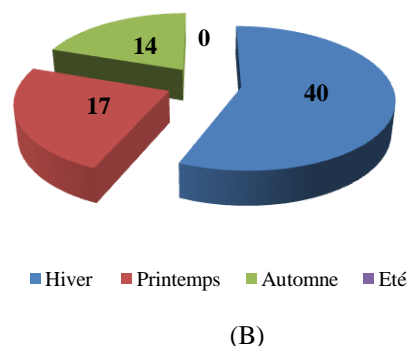


Figure 3 : Fréquence (A) et saisons (B) de la consommation de *Helix aspersa* (Les valeurs représentent le nombre de personnes).

Nous avons remarqué dans notre étude que l'escargot est consommé surtout pour son goût agréable (51 personnes) ou pour sa valeur nutritionnelle et diététique (26 personnes). Les reste, le consomment car leurs familles habituellement le consomment (8 personnes) (Figure 4).

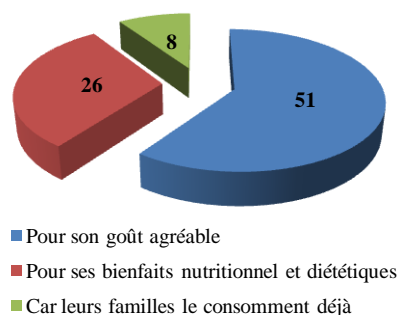


Figure 4 : Raisons e consommation de *Helix aspersa* (Les valeurs représentent le nombre de personnes).

Les résultats de la présente étude ont montré que 74 % des personnes qui consomment l'escargot ignorent ses variétés, alors que 17 % préfèrent la variété Petit Gris (*Helix aspersa aspersa*) et 9 % préfèrent la variété Gros Gris (*Helix aspersa maxima*) (Figure 5). Ainsi, il a été observé que 61 % de la population le prépare en sauce, 23 % le préfère blanchi alors que seulement 16 % le prépare en frites.

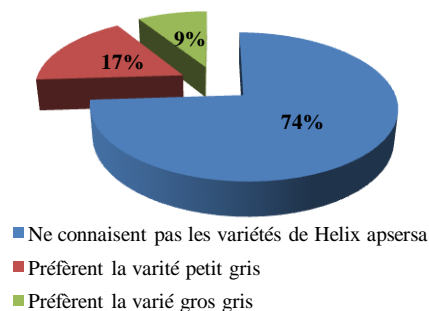


Figure 5 : Variétés de *Helix aspersa* consommées en Algérie (%).

Dans le monde entier, il existe plus de 35 000 espèces d'escargots terrestres. Ceux-ci sont consommés depuis des siècles par plusieurs populations dans le monde [12]. Ainsi, les escargots ont été considérés depuis longtemps comme source importante de nourriture pour l'homme, sa consommation est associée d'un nombre important d'effet bénéfiques pour la santé humaine [13].

De plus, *Helix aspersa* est un gastéropode très apprécié par plusieurs populations dans le monde grâce à la qualité de sa viande caractérisée par son parfum et sa saveur et par sa valeur nutritive [14, 15]. En effet, la chair de ces mollusques est considérée comme une source importante de protéines, d'acides aminés (lysine, phénylalanine et leucine) et de matières minérales [16]. Par contre, elle contient très peu de lipides [17].

Zafour [18] a rapporté qu'en Algérie, la récolte de *Helix aspersa* pour la consommation humaine est très active. Cependant, elle n'obéit à aucune réglementation. Ainsi, ce mollusque est très peu sensible à la pollution. Il dévore tout ce qu'il rencontre, bon ou mauvais. De ce

fait, le consommateur doit veiller à éviter de manger des mollusques récoltés des régions polluées pourraient être toxiques.

Boumlih [19] a rapporté que dans la région de Blida, les escargots sont préparés avec une sauce de tomates fraîches et d'oignons. Comme il peut être préparé dans une sauce blanche composée de beurre et de fines herbes. Ce même auteur rapporte que l'escargot est souvent utilisé comme un antitussif.

Kocatepe1 et Çelik [21] ont rapporté que l'escargot accompagné d'une sauce de tomate et d'ail est plat traditionnel populaire consommé par les populations de plusieurs pays européens. Ce mollusque est traditionnellement consommé par différents pays de l'Europe, d'Amérique et du sud-est de l'Asie [22].

La consommation d'escargots est en augmentation exponentielle en raison de la valeur nutritive de sa chair et de sa faible teneur en lipides [2]

Selon Avagnina [23], les escargots sont largement consommés en France, en Italie, en Espagne, en Allemagne et aux États-Unis. En France, La consommation annuelle de ce gastéropode est estimée à environ cinq millions de kilogrammes. Alors qu'elle atteint 306 millions de kilogrammes en l'Italie. Ce même auteur rapporte que *Helix aspersa* est le plus préféré des espèces d'escargots et le plus consommé en Europe et en Méditerranée [23].

3.2. Etude de la composition biochimique de *Helix aspersa*

Dans la présente étude, la composition biochimique de la chair des escargots des régions de Chlef et de Mostaganem a été étudiée. Les résultats obtenus sont montrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1
Résultats des analyses de la composition biochimique de *Helix aspersa*.

Composé biochimique (%)	<i>Helix aspersa</i> de la région de Mostaganem	<i>Helix aspersa</i> de la région de Chlef
PH	6,05 ± 0,03	6,18 ± 0,11
Eau	82,35 ± 0,27	76,93 ± 0,42
Minéraux	0,84 ± 0,015	0,92 ± 0,04
Protéines	13,47 ± 0,98	16,35 ± 0,87
Glucides	5,10 ± 1,32	9,68 ± 0,68
Lipides	1,05 ± 0,07	2,12 ± 0,38

La détermination du pH a montré qu'il n'y a pas une différence significative entre les chairs des deux escargots étudiés, où on a enregistré des valeurs respectives de 6,05 ± 0,03 et 6,18 ± 0,11 dans la chair des échantillons provenant de Mostaganem et de Chlef.

La détermination de la teneur en eau dans la chair de l'escargot a montré que celui de la région de Mostaganem présente une teneur en eau plus élevée (82,35 ± 0,27 %) que celui de la région de Chlef (76,93 ± 0,42 %). L'analyse biochimique de la chair de *Helix aspersa* révèle une prédominance de l'eau, ce même constat a été rapporté par Aouji *et al.* [7].

La teneur en eau obtenue dans la chair de *Helix aspera* de la région de Mostaganem est proche à celle obtenue par Çagiltay *et al.* [24] qui a rapporté une teneur moyenne de 82,5 %. De même, Milinsk *et al.* [25] ont obtenu des teneurs en eau de 83,7 et 87,4 % dans les chairs de *H. aspersa aspersa* et *H. aspersa maxima*, respectivement.

Cependant, il est important de noter que d'autres recherches ont rapporté des teneurs en eau plus faibles dans d'autres variétés d'escargot comme *Helix pomatia* (80,8 %) [25] et dans des espèces africaines (73,7 et 79,1 %) [26]. Cette différences, sont expliquées par une adaptation du gastéropode aux conditions climatiques de son habitat [7].

D'une manière générale, la teneur en eau dans la chair des espèces d'escargots oscille entre 70 et 90 %. Cette différence est fortement liée aux conditions environnementales de l'animal lié à son habitat naturel en particulier l'humidité et la température [27].

En ce qui concerne les résultats relatifs à la teneur en cendres, il été observé que l'échantillon provenant de la région de Chlef contient une teneur en cendre significativement supérieure (0,92 ± 0,048 %) (P<0,05) à celle observé dans l'échantillon de la région de Mostaganem (0,84 ± 0,015 %). Ces valeurs sont inférieures à celles rapportées par Aouji *et al.* [7] (1,89 ± 0,02 %) et Ogden and Erwan [28] (1,96 %). Cependant Çagiltay *et al.* [24] rapportent que la teneur en minéraux de la chair de *Helix aspersa* varie entre 0,7 et 1,1 %.

La teneur et la composition minérale de la chair de *Helix aspersa* sont fortement liées à son origine, son alimentation, sa variété, son cycle de vie et les conditions climatiques de son habitat, ainsi que la

teneur et la biodisponibilité des minéraux dans son environnement [29].

Selon Çagiltay *et al.* [24], la chair de l'escargot constitue une excellente source d'éléments minéraux tels que le calcium (1357 mg), le phosphore (967 mg), le potassium (1054 mg), le magnésium (170 mg), le sodium (919 mg) et le fer (5.21 mg) pour 1000 g de matière sèche.

La chair des escargots des deux régions contiennent des teneurs appréciables en protéines ($13,47 \pm 0,98$ et $16,35 \pm 0,87$ % dans les chairs des escargots de Mostaganem et de Chlef, respectivement). Ces valeurs sont nettement supérieures à celles obtenus par Gomot [2] dans différentes espèces d'escargots comme *H. aspersa maxima* (7,2 %), *H. aspersa aspersa* (10,5 %), *H. lucorum* (10,8 %) et *H. pomatia* (10,7 %). De même, Caetano *et al.* [27] a trouvé une teneur de 12,9 % de protéines dans la chair de *Helix aspersa*. Oulagesan *et al.* [30] ont rapporté que l'hydrolyse des protéines de *Helix aspersa* génère des peptides bioactifs à propriétés antidiabétiques.

Les teneurs en glucides dans la chair de *Helix aspersa* sont relativement faibles, où on a enregistré des teneurs respectives de $5,10 \pm 1,32$ et $9,68 \pm 0,68$ % de glucides dans la chair de *Helix aspersa* de Mostaganem et celui de Chlef. Ces résultats sont en concordance avec ceux rapportés par Milinsk [25] qui a trouvé que la teneur en glucides dans les espèces de *H. aspersa maxima* varie entre 7,1 % et 10,0 %.

La viande de *Helix aspersa* contient une teneur très faible de matière grasse. Ainsi, des valeurs respectives de $1,05 \pm 0,07$ et $2,12 \pm 0,38$ % ont été calculées dans les chairs de *Helix aspersa* de Mostaganem et de Chlef. Ces résultats sont en accord avec ceux de Gomot *et al.* [2] qui a observé que les teneurs en lipides varient entre 1,1 et 1,2 %. Cependant ces valeurs sont nettement supérieures à celles rapportées par Çagiltay *et al.* [24] (0,58 %).

Ces différences peuvent être expliquées par l'effet du climat, de la flore végétale de la région et la nature et la composition du sol. Aouji *et al.* [7] ont attribué les variations de la composition de la chair d'escargot à l'alimentation de l'animal et à son habitat. De plus, les facteurs génétiques et physiologiques affectent fortement la composition biochimique des tissus d'*Helix aspersa* [32].

D'après Ghosh *et al.* [33], l'intérêt nutritionnel de *Helix aspersa* réside dans sa richesse en protéines et en acides aminés essentiels, son contenu élevé en éléments minéraux, sa richesse en vitamines et en particulier les vitamines du groupe B et les vitamines liposolubles. Il est peu calorifique grâce à sa faible teneur en lipides et en glucides. Par conséquent, il est considéré comme source importante d'acides gras mono et polyinsaturés.

D'un point de vue diététique, la consommation de *Helix aspersa* est considérée comme une alternative à la consommation d'aliments hypercaloriques. En effet, sa chair est un aliment protidique hypocalorique, ce qui explique sa large consommation par plusieurs populations Européennes [32, 33].

4. Conclusion

La littérature récente attribue au gastéropode *Helix aspersa* de nombreuses vertus exprimées par sa valeur nutritionnelle et son contenu en molécules bioactives. La présente étude montre que ce mollusque est largement consommé par la population Algérienne grâce à son goût appréciable. L'étude de la composition biochimique de la chair d'escargot de deux régions différentes (Chlef et Mostaganem) a montré sa richesse en protéines et en minéraux. Toutefois, elle contient peu de lipides et de glucides. Par conséquent, il est recommandé de l'utiliser comme aliment diététique et hypocalorique. Ainsi, il est intéressant d'exploiter la chair de *Helix aspersa* et ses sous-produits dans les domaines de l'agroalimentaire, cosmétique et pharmaceutique.

Remerciements

Nous exprimons notre gratitude au ministère Algérien de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique pour son aide financière pour la réalisation de ce travail (Projet PRFU N° D001L01UN-270120230002).

Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

Références

- [1] Raposo M.F., Bernardo de Morais A.M.M, et Costa de Morais R.M.S., (2015) Carotenoids from Marine Microalgae: A Valuable Natural Source for the Prevention of Chronic Diseases, *Marine Drugs*, 13 (8): 5128-5155. <https://doi.org/10.3390/md13085128>
- [2] Gomot A. (1998), Biochemical composition of Helix snails: Influence of genetic and physiological factors. *J. Mollus. Stud.*, 64 (2): 173–181. <https://doi.org/10.1093/mollus/64.2.173>
- [3] Chalifourt B., Li J. (2021) Characterization of the gut microbiome in wild rocky mountain snails (*Oreohelixstrigosa*). *Animal microbiome*, 3 (49): 1-9. <https://doi.org/10.1186/s42523-021-00111-6>
- [4] North E., Minton R.L., (2021) Diversity and predicted function of gut microbes from two species of viviparidae snails. *Freshwater Mollusk Biology and Conservation*, 24 (2): 104–113. <https://doi.org/10.31931/fmbc-d-20-00008>
- [5] Nkansah M.A., Agyei E.A., Opoku F. Mineral and proximate composition of meat and shell of three snail species. *Heliyon* 7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08149>
- [6] Noothuan N., Apitanyasal K., Panha S., Tassanacajon A. (2021) Snail mucus from the mantle and foot of two land snails, *Lissachatina fulica* and *Hemiplecta distincta*, exhibits different protein profile and biological activity. *BMC. Res. Notes*, 14, Article number 138. <https://doi.org/10.1186/s13104-021-05557-0>
- [7] Aouji M., Imtara H., Rkhaila A., Bouhaddiou B., Alahdab A., Parvez M.K., Saleh Alzahrani M., Aicha Lrhorfi L., Bengueddour R. (2023) Nutritional Composition, Fatty Acids Profile, Mineral Content, Antioxidant Activity and Acute Toxicity of the Flesh of *Helix aspersa* Müller. *Molecules*, 28 (17): 6323: <https://doi.org/10.3390/molecules28176323>
- [8] Audigie C.J., Figarella J., Zonzain F., Manipulation d'analyse biochimique. Ed. Soin éditeur, Paris, (1978): pp. 233.
- [9] AOAC, Official methods of Analysis of AOAC International, 16th ed. AOAC International Arlington, VA, (1995) pp. 250.
- [10] Dubois M., Mc Cowen L.K., Schotch T.J., Roben F.A., Smith F., (1956) Colorimetric method for determination of sugar and related substances? *Anal. Chem.*, 28 (3): 360–356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- [11] Ranjini, H.S., Udupa E.G., Padmanabha A., Kamath, Shobha U., Setty M., Hadapad B. (2017) A specific absorbance to estimate a protein by lowry's method, Manipal 576104: Karnataka, India. <https://doi.org/10.1166/asl.2017.8509>
- [12] Sallam A. and Nabil El-Wakeil (2012) Biological and ecological studies on land snails and their control, *Integr. Pest Manag. Pest Control. Curr. Future Tactics*: 1, 413–444. DOI: 10.5772/29701
- [13] Engmann F. et al. (2013) Proximate and mineral composition of snail (*Achatinaachatina*) Meat; Any Nutritional Justification for Acclaimed Health Benefits? *J. Basic Appl. Sci. Res.*, 3 (4): 8–15.
- [14] Otchoumou A., Dupont-Nivet M., Ocho A., Atchibri L., Dosso H., (2010) Body proportions and chemical composition of wild and reared edible snails of Ivory Coast. *Italian Journal of Food Science*, 22 (1): 1120-1170. <https://hal.inrae.fr/hal-02655381/document>
- [15] Kouassi K.D., Otchoumou A. and Dosso H., (2007) Effet de l'alimentation sur les performances biologiques chez l'escargot géant africain: *Archachatinaventricosa* (Gould, 1850) en élevage hors sol. *Livestock Research for Rural Development*, 19 (5): 16–20. [HTML] <https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd19/lrrd19.htm>
- [16] Diomandé M., Kipré AV., Koussemon M. and Kamenan A., (2008) Substitution de la farine de poisson par celle de l'escargot *Achatina fulica* dans l'alimentation des poules pondeuses en Côte d' Ivoire. *Livestock Research for Rural Development*, 20 (1). <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i5.31>
- [17] Kehinde A.S., Adelakun K.M., Halidu S.K., Babatunde T.O. and Fadimu B.O., (2020) Biochemical evaluation of meat and hemolymph of African land snail (*Archachatina marginata*, Swainson) in South West Nigeria. *Egyptian J. Anim. Prod.*, 57 (3): 121-126. https://ejap.journals.ekb.eg/article_121422_d5f60cd3617a51084_93f41f9710c2a46.pdf (Accédé le 01/02/2023)
- [18] Zaafour M., « Étude écophysiological de la reproduction de l'escargot terrestre Petit-Gris (*Helixaspersaaspersa*, *Gastropoda: Stylommatophora; Helicidea*) dans la région Nord-Est d'Annaba », Algérie, These Université Badji Mokhtar, Annaba: (2013) P. 32-3. <https://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2015/11/These-Zaafour-Moncef-.pdf> (Accédé le 13/02/2003)
- [19] Boumlilh M., Exploitation sauvage de l'escargot en Algérie. *Quotidien National d'Information Liberté Algérie*: (2009), 21 mars 2009.
- [20] Murphy A D., (2001) The neuronal basis of feeding in the snail, *Helisoma*, with comparisons to selected gastropods, *ProgNeurobiol.*, 63 (4): 383-408. [https://doi.org/10.1016/S0301-0082\(00\)00049-6](https://doi.org/10.1016/S0301-0082(00)00049-6)
- [21] TUIK. (2017) Turkish Statistic Department, Fishery Statistic, *Molluscan research*, 7: 11-18.
- [22] Kocatepel D. and Çelik Y. Snail Consumption Habits And Health. Sinop University. (2017) Tuquie.
- [23] Avagnina G. Snail breeding - intensive snail breeding, complete production cycle, trading. International Snail Breeding Institute, Cherasco, (2006), pp. 199.
- [24] Çağiltay F., Erkan N., Tosun D., and Selçuk A., (2011) Amino acid, fatty acid, vitamin and mineral contents of the edible garden snail (*Helix aspersa*). *J. FisheriesSci.* 5 (4): 354–363. [HTML] <https://www.itmedicalteam.pl/archive/ipfs-volume-5-issue-4-year-2011.html>
- [25] Milinsk M.C., das Graças Padre R., Hayashi C., de Oliveira C.C., Visentainer J.V., de Souza N.E., Matsushita M. (2006) Effects of feed protein and lipid contents on fatty acid profile of snail (*Helix aspersa maxima*) Meat. *J. Food Compos. Anal.* 9 (1-3): 212–216. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.09.011>
- [26] Özogul Y., Özogul F. and Olgunoglu A.I. (2005) Fatty acid profile and mineral content of the wild snail (*Helix pomatia*) from the region of the south of the turkey, *Eur. Food Res. Technol.* 221 (3-4): 547–549. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-1191-7>
- [27] Caetano D., Miranda A., Lopes S., Paiva J., Rodrigues A., Videira A., Almeida C.M.M., (2021) Nutritional and toxicity profiles of two species of land snail, *ThebaPisana* and *OtalaLactea*, from Morocco. *J. Food Compos. Anal.*, Volume 100, Article 103893. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103893>
- [28] Özden Ö., Erkan N. A., (2011) Preliminary study of amino acid and mineral profiles of important and estimable 21 seafood species, *Brit. Food J.*, 113 (4): 457-469. doi:10.1108/00070701111123943
- [29] Babalola O.O., Akinsoyinu A.O., (2001) Proximate composition and mineral profile of snail meat from different breeds of land snail in Nigeria. *Pak. J. Nutr.*, 8 (12): 1842-1844. <https://doi.org/10.3923/pjn.2009.1842.1844>
- [30] Oulagesan S., Sankaranarayanan A., Kuppusamy A., (2018) Functional characterisation of bioactive peptide derived from

- terrestrial snail *Cryptozobabistrialis* and its wound-healing property in normal and diabetic-induced Wistar albino rats. *Int. Wound J.* 15 (3): 350–362. DOI:10.1111/iwj.12872
- [31] Sando D., Gruji R., Meho B., Lisickov K., Vujadinovic D., (2012) Quality indicators of snail meat grown in different conditions. *Qual. Life (Banja Luka)-Apeiron* 6 (3-4): 55–64. <https://doi.org/10.7251/QOL1203055S>
- [32] Zymantiene J., Jukna V., Jukna C., Zelvyte R., Oberauskas V., (2008) Comparison of meat quality characteristics between commercial pigs and snails., *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 58 (1): 23–26. <https://journal.pan.olsztyn.pl/pdf-98101-30716?filename=COMPARISON%20OF%20MEAT.pdf> (Accédé le 27/03/2024)
- [33] Ghosh S., Jung C., Meyer-Rochow V., (2018) Snail as Mini-Livestock: nutritional potential of farmed *Pomacea canaliculata* (Ampullariidae), *Agric. Nat. Resour.* 51 (6): 504–511. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.12.007>

EMPTY PAGE



Diversité et structure de la strate arborée des formations forestières dans le nord des monts Atakora au Togo

Fatao DJIDEAL^{a,b}, Wouyo ATAKPAMA^{a,b,*}, Moussa SAMAROU^{a,c}, Hodabalo EGBELOU^a, Batawila KOMLANA^a

^a Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale, Département botanique, Faculté des sciences, Université de Lomé, 01 BP 16515, Togo

^b West Africa Plant Red List Authority (WAPRLA), IUCN Species Survival Commission, Rue Mauverney 28, 1196 Gland, Switzerland

^c Agence nationale de gestion de l'environnement, Ministère de l'Environnement et des Ressources forestières, 575 Rue de l'OCAM, BP 2244 Lomé, Togo

Résumé

Cette étude a été menée dans la zone écologique II du Togo, sur les monts Atakora. L'étude a caractérisé la diversité et la structure des peuplements ligneux. Des inventaires forestiers ont été réalisés dans 69 parcelles circulaires de rayon de 20 mètres. Au total, 102 espèces ligneuses ont été identifiées. Elles appartiennent à 77 genres et 32 familles. Les espèces les plus communes sont : *Lannea acida* (53,62 %), *Vitellaria paradoxa* (44,94 %), *Burkea africana* (43,48 %) et *Daniellia oliveri* (43,48 %). Les Fabaceae (27 espèces) et les Combretaceae (10 espèces) sont les familles les plus représentées. Quatre (4) groupements végétaux ont été distingués. Les densités des peuplements végétaux identifiés correspondent à 360 tiges/ha dans les savanes boisées, 286 tiges/ha dans les forêts claires, 236 tiges/ha dans les savanes arbustives/arborées et 202 tiges/ha dans les forêts riveraines. La structure diamétrique est caractérisée par une forme en « J renversé » indiquant que les individus de petits diamètres sont prédominants. La répartition des tiges par classe de hauteur est en cloche asymétrique positive dans les forêts galeries, les savanes boisées, les savanes arborées/arbustives et les forêts claires. Cela reflète la prédominance des individus de hauteur moyenne. Le sous-bois est abondant dans les forêts galeries et les savanes arbustives/arborées (53,43 % et 56,30 %) et moyen dans les savanes boisées et les forêts claires (32,75 % et 30,89 %). Les taux de régénération étaient élevés dans les forêts galeries (66,24 %), moyenne dans les savanes boisées et les savanes arborées/arbustives (45,34 % et 36,94 %) et faibles dans les forêts claires (22,31 %). Les menaces anthropiques seraient responsables du faible taux de régénération dans les savanes boisées et les forêts claires.

Mots-clés : Diversité structural ; Démographie ; Chaîne de montagnes ; Togo.

Tree layer diversity and structure in forest formations of northern Atakora Mountains, Togo

Abstract

This study was carried out in Togo's ecological zone II, on Mount Atakora. It aimed to determine the diversity and demographic structure of woody species. Forest inventories were conducted on 69 circular plots of 20m radius. Altogether, 102 species were identified. These belonged to 77 genera and 32 families. The most common species were: *Lannea acida* (53.62%), *Vitellaria paradoxa* (44.94%), *Burkea Africana* (43.48%) and *Daniellia oliveri* (43.48%). The most represented families are Fabaceae (27 species) and Combretaceae (10 species). Four plant communities have been discriminated. The analysis of the identified plant communities showed a density of 202 stems/ha in riparian forests, 360 stems/ha in tree savannahs, 286 stems/ha in open forests and 236 stems/ha in shrub/tree savannahs. An "inverted J" shape characterizes the diameter structure. This indicates that small stems dominate. The distribution of stems by height class showed a positive asymmetric distribution in riparian forests, wooded savannahs, tree/shrub savannahs and open forests. This reflects the dominance of medium height individuals. Undergrowth is abundant in riparian forests and tree savannahs (53.43% and 56.30%) and average in wooded savannahs and opens forests (32.75% and 30.89%). Regeneration is high in riparian forests (66.24%), average in wooded savannahs and shrub/wooded savannahs (45.34% and 36.94%) and low in open forests (22.31%). The low regeneration rate in wooded savannahs and open forests could be due to anthropogenic threats.

Keywords: Structural diversity; Demography mountain chain; Togo.

1. Introduction

Les écosystèmes tropicaux sont de plus en plus dégradés, entraînant des modifications de l'apparence des

formations végétales et à une érosion de la biodiversité. L'explosion démographique, la surexploitation des ressources naturelles et les pratiques agricoles actuelles telles que les monocultures et l'utilisation d'engrais et de



pesticides chimiques en sont les principales causes [1]. Selon FAO [2], plus de 15 000 hectares de forêts sont détruits au Togo alors que seulement 3 000 sont reboisés. Cette dégradation touche également les zones montagneuses pourtant reconnues comme abri de la biodiversité.

Le caractère unique des montagnes du point de vue de la conservation de la biodiversité découle d'une variété de facteurs biotiques et abiotiques spécifique à ces écosystèmes. Elles sont riches en espèces animales et végétales dont la plupart sont endémiques [3]. Selon la convention de Rio de 1992 sur la diversité biologique [4], les écosystèmes les plus riches en espèces, notamment les forêts tropicales et les écosystèmes de montagne, doivent être protégés et conservés.

La distribution de la phytodiversité à travers l'Afrique montre qu'outre le bloc forestier guinéo-congolais, les zones montagneuses sont les centres de forte richesse spécifique et d'endémisme [5, 6]. Cette distribution traduit la relation qui existe entre la phytodiversité et l'hétérogénéité spatiotemporelle du paysage.

Le relief du Togo est principalement caractérisé par les monts Atakora d'orientation nord-est/sud-ouest. Cette chaîne de montagnes appartient à la zone de suture panafricaine des monts Dahomeid et est divisée en deux zones écologiques en fonction de la diversité végétale et du climat [7]. Il s'agit de la zone II (zone des montagnes du nord) et de la zone IV (zone des montagnes du sud). L'ensemble de la chaîne a fait l'objet de plusieurs études [8-15]. Ces études restent spécifiques et portent souvent sur la flore et les écosystèmes de ces régions notamment les aires protégées et les bassins versants. On note aussi d'autres études sur des écosystèmes particuliers comme des inselbergs [16, 17]. Les études globales ont plus eu pour cadre la zone méridionale des monts Togo [14, 18].

Cette étude contribuera à la gestion durable des la strate ligneuses de la partie nord des monts Atakora au

Togo. Il s'agit spécifiquement de : (i) évaluer la diversité et (ii) caractériser la structure des strates ligneuses des formations forestières de la zone des montagnes du nord du Togo.

2. Méthodologie

2.1 Description des montagnes du nord du Togo

La zone écologique II du Togo [7] correspond à la partie septentrionale de la chaîne d'Atakora (Figure 1). La superficie de la zone II est d'environ 11 138,60 km², soit 19,67 % du territoire togolais. Cette zone s'étend de la latitude de Sokodé jusqu'à la limite de Défalé et se situe à cheval entre la région de la Kara et la région Centrale du Togo. Plus spécifiquement, elle se situe entre 0,3°E et 1,6°E de longitude et 8,3°N et 10,2°N de latitude. Les altitudes varient entre 150 m et 800 m.

La saison pluvieuse dure sept mois, d'avril à octobre et la saison sèche s'étend sur cinq mois, de novembre à mars. Les précipitations varient entre 900 et 2450 mm. Les températures mensuelles moyennes varient de 25,1 à 29,7 °C. L'humidité relative moyenne varie de 40 à 80 % et atteint son maximum pendant la saison des pluies, notamment en août (60 à 100 %). Il s'agit donc d'un climat est subéquatorial de type guinéen.

La végétation comprend une mosaïque de forêts-savanes semi-montagnardes dont les plus conservées se retrouvent dans les aires protégées [9, 19]. Ces aires protégées regroupent une flore très diversifiée dont plusieurs taxons menacés et rares de la flore togolaise [9, 20]. On distingue des forêts claires souvent à dominance de *Isobertinia* spp [21] sources de bois énergie, de services et de bois d'œuvre. Plusieurs parcs agroforestiers sont également aménagés dans les zones agraires.

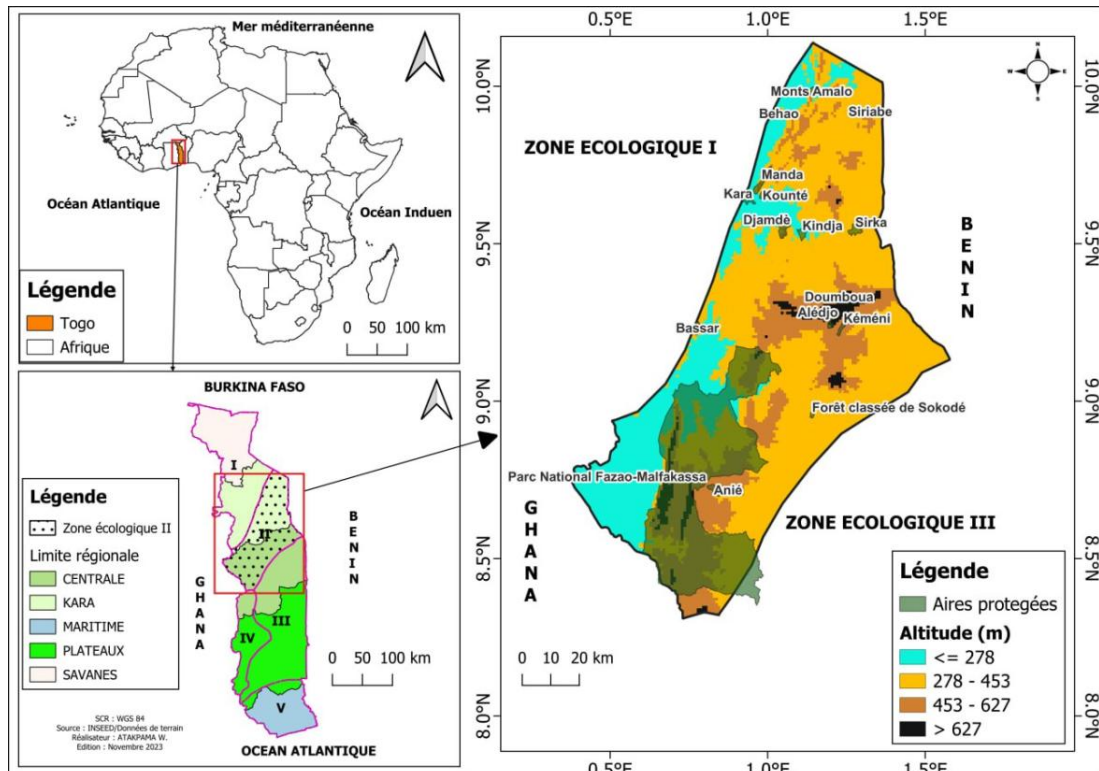


Figure 1 : Situation géographique, relief et subdivisions administrative et écologique de la zone écologique II du Togo

2.2. Collecte des données

Un total de 69 placettes d'échantillonnage ont été posées de manière aléatoire afin de couvrir toute la variabilité écologique de la zone d'étude. La sélection s'est basée sur plusieurs critères, notamment l'utilisation du sol, la facilité d'accès, l'existence des voies de communication et de cours d'eau. En cas de la présence d'une pente, l'erreur est corrigée en fonction de la distance horizontale (Figure 2) en se servant d'un tableau de correspondance des mesures de pente à l'échelle de 20 m et un clinomètre.

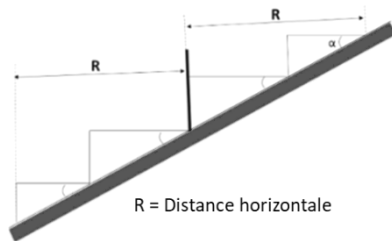


Figure 2 : Technique de correction de pente

Les inventaires forestiers ont été réalisés dans des parcelles circulaires d'un rayon de 20 m (Figure 3). Les données se réfèrent aux arbres de diamètre à hauteur de

poitrine (DHP) ≥ 10 cm [22]. Chaque arbre est caractérisé par son DHP (1,30 m du sol) et sa hauteur totale.

Le sous-bois comprend les ligneux de DHP < 10 cm et DHP ≥ 5 cm. Leurs tiges ont été dénombrées. Le comptage est fait par essence dans la parcelle d'un rayon de 4 m (Figure 3).

La régénération comprend les arbres vivants de DHP < 5 cm et la hauteur totale, $H_t \geq 1,3$ m. L'évaluation s'est faite au sein de 4 sous-placettes de 1 m de rayon situé à 4 m du centre de la placette principale (Figure 3) posé suivant les 4 ponts cardinaux. Chaque essence a été inventoriée en fonction des types de régénération (franc pied, rejet de souche).

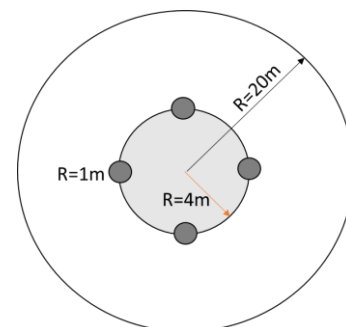


Figure 3 : Schéma d'une placette d'échantillonnage.

Les paramètres écologiques notamment les paramètres physiques et activités humaines ont été noté. Les activités humaines considérées sont : le feu de végétation, la carbonisation, la coupe du bois, le champ, le pâturage, les campements de nomades Peuls. Les paramètres physiques ont été : la topographie (pente, plateau, plaine, versant, ravin), l'érosion du sol (néant, faibles, moyenne, forte) et l'état du sol (sans curasse, curasse à petites plaques et curasse à grandes plaques...).

2.3. Traitement des données

2.3.1. Évaluation de la diversité floristique

Les espèces recensées ont été regroupées par famille et par genre. La classification phylogénique a été adoptée [23]. La diversité des espèces, leurs fréquences et leurs abondances ont été déterminées. Le type biologique et le type phytogéographique de chaque espèce ont été recherchés [24, 25]. Les types biologiques considérés sont ceux définis par Raunkiaer [26], repris par diverses études sur la végétation des régions tropicales [25, 27, 28] : les chaméphytes (Ch), les hémicryptophytes (He), les géophytes (Ge), les thérophytes (Th) et les phanérophytes dont les mégaphanérophytes, les mésophanérophytes (mP), les microphanérophytes (mp) et les nanophanérophytes (np).

Une classification ascendante hiérarchique (CAH) a été réalisée à l'aide de la matrice « Relevés x Espèces » [29] grâce au logiciel Community Analysis Package (CAP 2.15). Cette analyse a permis de regrouper les parcelles en fonction de la diversité floristique et des types de formations forestières. Pour chaque groupement discriminé, les paramètres floristiques et structuraux ont été déterminés. Les paramètres floristiques évalués étaient : la diversité spécifique (R_s) des espèces, la fréquence relative des espèces (Fr), l'indice de diversité de Shannon (H'), l'équitabilité de Pielou (E) [30, 31], l'indice de valeur d'importance des familles (IVF) et l'indice de valeur d'importance des espèces (IVI) [32, 33].

La fréquence relative (FrR) est définie par l'équation suivante (Equation 1) :

$$FrR = \frac{N_{ri}}{N_{rt}} \times 100 \quad (1)$$

Avec FrR la fréquence relative, N_{ri} le nombre de parcelles dans lesquels est présente l'espèce i , N_{rt} le nombre de parcelles.

L'Indice de la diversité de Shannon (Ish) est défini par l'équation suivante (Equation 2) :

$$Ish = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{n} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{n} \right), \quad (2)$$

où n_i représente le nombre de parcelles dans lesquels est présente l'espèce i et n le nombre total de parcelles.

Les valeurs élevées d' Ish reflètent les conditions environnementales propices pour l'installation des espèces. De faibles valeurs d' Ish indiquent des conditions environnementales défavorables.

L'indice d'équitabilité de Pielou (Eq) décrit le degré de diversité atteint par rapport à la diversité maximale ($H_{max} = \log_2 R_s$). Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Si la valeur de E est proche de 0, la distribution des espèces est irrégulière. En revanche, une valeur de E proches de 1 indique une répartition des espèces.

$$Eq = \frac{Ish}{\log_2 R_s}, \quad (3)$$

R_s = nombre d'espèces.

L'Indice de la Valeur d'Importance des espèces (IVI) met en évidence les espèces ligneuses saillantes. Elle est déterminée par leurs densités relative (DER), leur fréquence relative (FrR) et leur dominance relative (DOR). L'indice de Valeur d'Importance des Familles (VIF) renseigne sur l'importance floristique des familles. C'est la somme de trois paramètres expressifs des valeurs biométriques quantitatives [34] : la dominance relative (DOR_F), la diversité relative (DIR_F) et la densité relative (DER_F).

2.3.2. Structure démographique

Les groupes identifiés ont été caractérisés par la hauteur moyenne de Lorey's (H_L , m), le diamètre moyen (Dm , cm), la densité moyenne (D , pieds/ha), la surface terrière (G , m^2/ha) et le taux de régénération moyen (%) [35, 36]. La répartition des tiges selon les classes de hauteur et de diamètre est ajustée selon les trois (3) paramètres théoriques de distribution de Weibull [37]. Les paramètres de distribution de Weibull sont déterminés à l'aide du logiciel minitab 16®. Les

diagrammes des structures en diamètres et en hauteurs ont été créés à l'aide du tableur microsoft Excel® 2016.

2.3.3. Analyse écologique

La distribution des différentes formations est liée aux paramètres physiques et activités humaines (feux de végétation, carbonisation, coupe du bois, champs, pâturage, campement des Peuls, etc.). Les paramètres physiques pris en compte sont la topographie (pente, plateau, plaine, versant, ravin), l'érosion du sol (néant, faibles, moyenne, forte) et l'état du sol (sans curasse, curasse à petites plaques et curasse à grandes plaques...). Cette analyse est réalisée avec le logiciel

CAP 2.5 en croisant les formations végétales avec les paramètres écologiques précités.

3. Résultats

3.1. Bilan floristique

L'inventaire botanique et forestier a permis d'identifier 102 espèces réparties en 77 genres et 32 familles. Les familles les plus diversifiées sont : les Fabaceae (27 espèces), les Combretaceae (10 espèces), les Malvaceae (7 espèces), les Moraceae (6 espèces) et les Rubiaceae (6 espèces) (Figure 4).

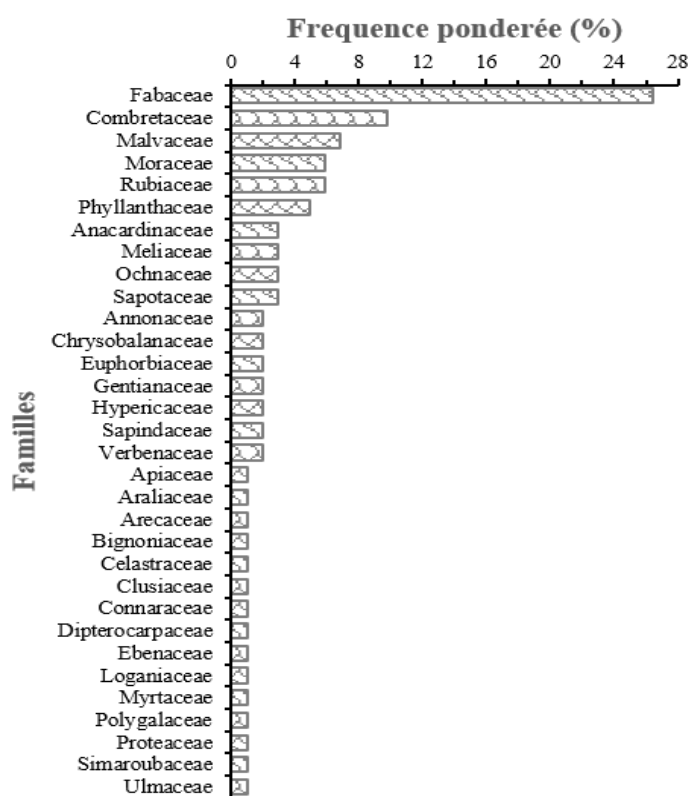


Figure 4 : Spectre brut des familles de plantes ligneuse du nord des monts de l'Atakora au Togo

Les fréquences spécifiques montre que la végétation de la zone écologique II est dominée par *Lannea acida* (53,62 %) suivie par *Vitellaria paradoxa* (44,93 %), *Burkea africana* et *Daniellia oliveri* (43,48 % chacune). *Terminalia laxiflora*, *Parinari curatellifolia*, *Crossopteryx febrifuga*, *Pterocarpus erinaceus*, *Detarium microcarpum*, *Uapaca togoensis*, *Lannea*

barteri, *Fucus sur*, *Isoberlinia doka*, *Piliostigma thonningii*, *Combretum glutinosum* et *Diopyros mespiliformis* ont des fréquences relatives comprises entre 40 % et 20 % (Figures 5).

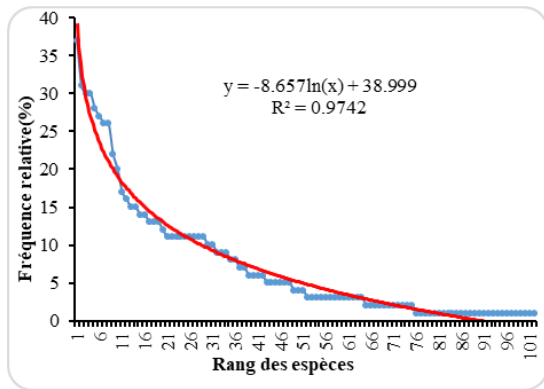


Figure 5 : Distribution de la fréquence des espèces en fonction du rang

Les microphanérophytes (53,92 %) et les mésophanérophites (40,20 %) sont les types

biologiques les plus représentés. Les nanophanérophites (5,88 %) sont moins représentées. En termes de chorologie, les espèces de transition Guinéo-Congolaises/Soudano-Zambéziennes (45,1 %) et les espèces Soudano-Zambéziennes (43,14 %) sont les plus diversifiées. Les espèces Guinéo-Congolaises (9,80 %) et les espèces Introduites (1,96 %) sont peu représentées.

3.2. Description des formations forestières de la chaîne des montagnes du nord du Togo

Au seuil de signification de 2,84 bits, quatre (4) groupes ont été discriminés. On distingue : les forêts galeries (G1a), les savanes boisées (G1b), les forêts claires (G1c) et les savanes arborées/arbustives (G2) (Figure 6).

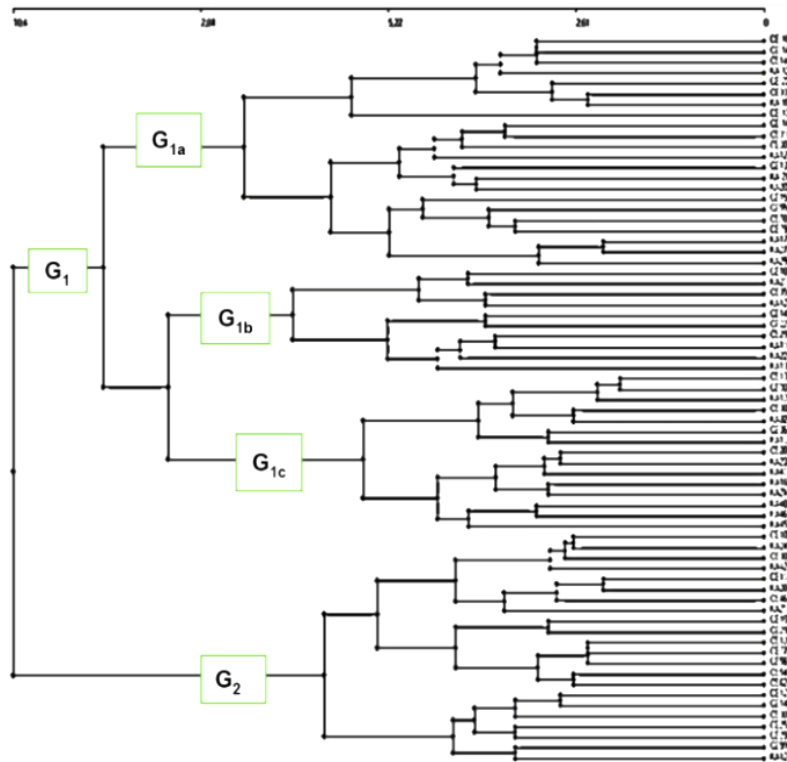


Figure 6 : Regroupement des parcelles d'inventaires sur la base des similarités floristiques

Les forêts galeries sont constituées de 22 parcelles. On y retrouve 73 espèces ligneuses réparties en 61 genres et 27 familles. *Piliostigma thonningii*, *Isobertinia doka*, *Diospyros mespiliformis*, *Manilkara multinervis* et *Terminalia macroptera* sont les espèces les plus fréquentes. *Piliostigma thonningii* est la plus représentée (IVI = 80,70 %) (Tableau 1). Les familles

les plus représentées sont les Anacardiaceae, les Fabaceae et les Combretaceae (Tableau 2).

Les savanes boisées comprennent 10 parcelles de plaines et de zones inondables. Une florule de 53 espèces, 46 genres et 27 familles ont été recensée. Les espèces les plus communes sont : *Uapaca togoensis*, *Daniella oliveri*, *Pterocarpus erinaceus*, *Parkia biglobosa* et *Lannea acida*. *Uapaca togoensis* est

l'espèce caractéristique (IVI = 104,25 %) (Tableau 1). La famille des Fabaceae est la plus importante (FIV = 139,04 %) (Tableau 2).

Les forêts claires regroupent 15 relevés de versants et de bordures des zones de dépressions retrouvées dans le [Parc National Fazao-Malfakassa](#). La diversité est de 45 espèces réparties en 35 genres appartenant à 22 familles. Les espèces les plus fréquentes sont : *Lannea acida*, *Isobertia tomentosa*, *Pterocarpus erinaceus*, *Burkea africana* et *Pterocarpus curatellifolia*. *Lannea acida* est l'espèce caractéristique (IVI = 54,83 %) (Tableau 1). Les Fabaceae sont les plus dominantes (FIV = 122,30 %) (Tableau 2).

Le groupement des savanes arborées/arbustives comprend 22 relevés situés sur les plateaux. Les espèces les plus fréquentes sont : *Crossopteryx febrifuga*, *Burkea africana*, *Diospyros microcarpum*, *Parinari curatellifolia* et *Lannea acida*. La florule est de 45 espèces réparties en 37 genres appartenant à 21 familles. *Crossopteryx febrifuga* est l'espèce caractéristique (IVI = 94,42 %) (Tableau 1). Les Fabaceae sont les plus représentées (Tableau 2).

Tableau 1
Espèces ligneuses prépondérantes des différentes formations végétales

Types de formations	Espèces	FrR	DER	DOR	IVI
G1a : Forêts galeries	<i>Piliostigma thonningii</i>	72,73	6,13	1,86	80,70
	<i>Isobertia doka</i>	54,55	4,14	2,55	61,21
	<i>Diopyros mespiliformis</i>	45,45	4,32	5,25	59,02
	<i>Manilkara multinervis</i>	36,36	5,76	5,29	47,41
	<i>Terminalia laxiflora</i>	36,36	6,65	3,74	46,76
G1b : Savanes boisées	<i>Uapaca togoensis</i>	60,00	20,1 3	24,1 1	104,2 5
	<i>Daniella oliveri</i>	80,00	9,07	7,76	96,83
	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	70,00	7,74	10,3 1	88,05
	<i>Parkia biglobosa</i>	70,00	2,43	6,90	79,33
	<i>Lannea acida</i>	70,00	3,76	2,27	76,03
G1c : Forêts claires	<i>Lannea acida</i>	53,33	1,12	0,38	54,83
	<i>Isobertia tomentosa</i>	53,33	0,38	0,2	53,9
	<i>Pterocarpus erinaceus</i>	53,33	0,19	0,14	53,66
	<i>Burkea africana</i>	40,00	54,4	2,74	48,14
	<i>Parinari curatellifolia</i>	40,00	0,19	0,64	40,83
G2 : Savanes arborées/arbustives	<i>Crossopteryx febrifuga</i>	77,27	10,9 1	6,22	94,42
	<i>Burkea africana</i>	72,73	12,7	8,87	94,29
	<i>Detarium microcarpum</i>	63,64	18,0 4	9,06	90,74
	<i>Parinari curatellifolia</i>	59,09	9,13	5,92	74,13
	<i>Lannea acida</i>	63,64	4,90	3,87	72,41

FrR = Fréquence relative ; DER = Densité relative ; DOR = Dominance relative ; IVI = Indice de Valeur d'Importance

Tableau 2
Familles prépondérantes des espèces ligneuses des différentes formations végétales

Types de formations	Familles	DER	DOR	DIR	FIV
G1a : Forêts galeries	Anacardiaceae	2,7	23,93	1,37	27,99
	Fabaceae	21,04	2,85	1,37	25,26
	Combretaceae	17,63	2,89	2,74	23,25
G1b : Savanes boisées	Fabaceae	34,29	40,04	64,7	139,04
	Euphorbiaceae	20,13	24,11	37,99	82,23
	Ancardiaceae	5,53	4,5	10,44	20,46
G1c : Forêts claires	Fabaceae	49,34	59,62	13,34	122,3
	Euphorbiaceae	9,5	6,11	13,33	28,94
	Dipterocarpaceae	8,38	5,33	8,89	22,6
G2 : Savanes arborées/arbustives	Fabaceae	39,14	38,29	31,62	109,04
	Ochnaceae	3,85	6,05	27,27	37,18
	Euphorbiaceae	5,55	4,58	18,18	28,31

DER = Densité relative ; DOR = Dominance relative ; DIR = Diversité relative et FIV = Indice de Valeur d'Importance des Familles

La richesse spécifique et l'indice de Shannon (*Ish*) dans les forêts galeries et les savanes boisées sont les plus élevés que celles des forêts claires et dans les savanes arbustives/arborées. L'équitabilité de Piélou (*Eq*) est élevée dans toutes les formations et indique une

répartition assez homogène des individus. La hauteur et le diamètre moyens des individus sont plus élevés dans les forêts galeries et dans les forêts claires. La densité des arbres et la surface terrière sont plus élevées dans les savanes boisées et les forêts claires.

Tableau 3
Caractéristiques structurales des formations végétales

Type de formation	<i>Ish</i>	<i>Eq</i>	<i>H_L</i>	<i>Dm</i>	<i>G</i>	<i>D</i>
G1a : Forêts galeries	4,05	0,94	13,4	23,22	8,52	202
G1b : Savanes boisées	3,75	0,95	9,71	20,45	11,81	360
G1c : Forêts claires	3,43	0,90	10,62	24,35	10,38	286
G2 : Savanes arbustives/arborées	3,43	0,90	9,28	17,56	5,69	236

Ish : Indice de diversité de Shannon ; *Eq* : Équitabilité de Piélou ; *Dm* : Diamètre à 1,30m du sol moyen ; *H_L* : Hauteur moyenne de Lorey's ; *G* : Surface terrière ; *D* : Nombre de pieds de *DHP*>10 cm à l'hectare.

3.3. Structure démographique des formations ligneuses discriminées

La structure des ligneux par classes de diamètres (Figure 7) présente une allure en « L » dans tous les

groupes. Le coefficient de forme de distribution théorique de Weibull à $c < 1$ montre une prédominance des individus jeunes. Les classes de 10 à 20 cm sont les plus abondantes.

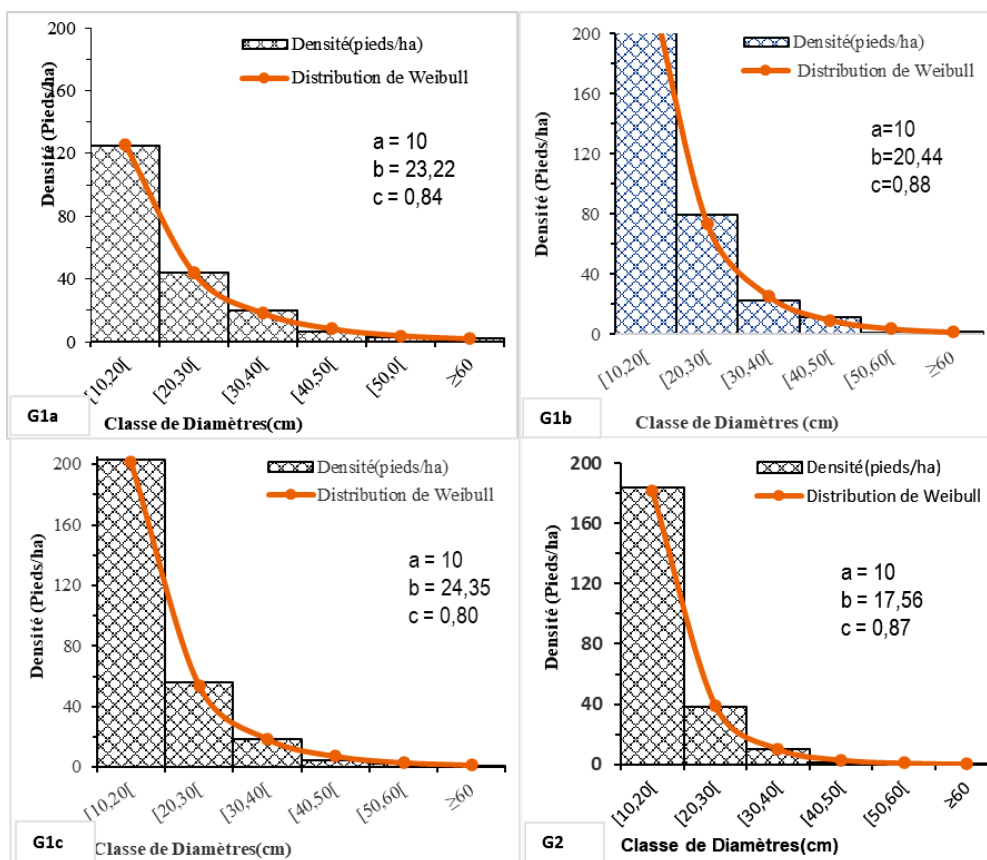


Figure 7 : Distribution par classe de diamètres des formations végétales

La répartition des tiges par classes de hauteurs ressort une distribution asymétrique positive avec un coefficient de forme de Weibull (c) compris entre 1 et 3,6 (Figure 8). Cette distribution est caractéristique des

peuplements avec prédominance d'individus de faibles hauteurs. Les ligneux de hauteur comprise entre [6, 8[m les plus représentés.

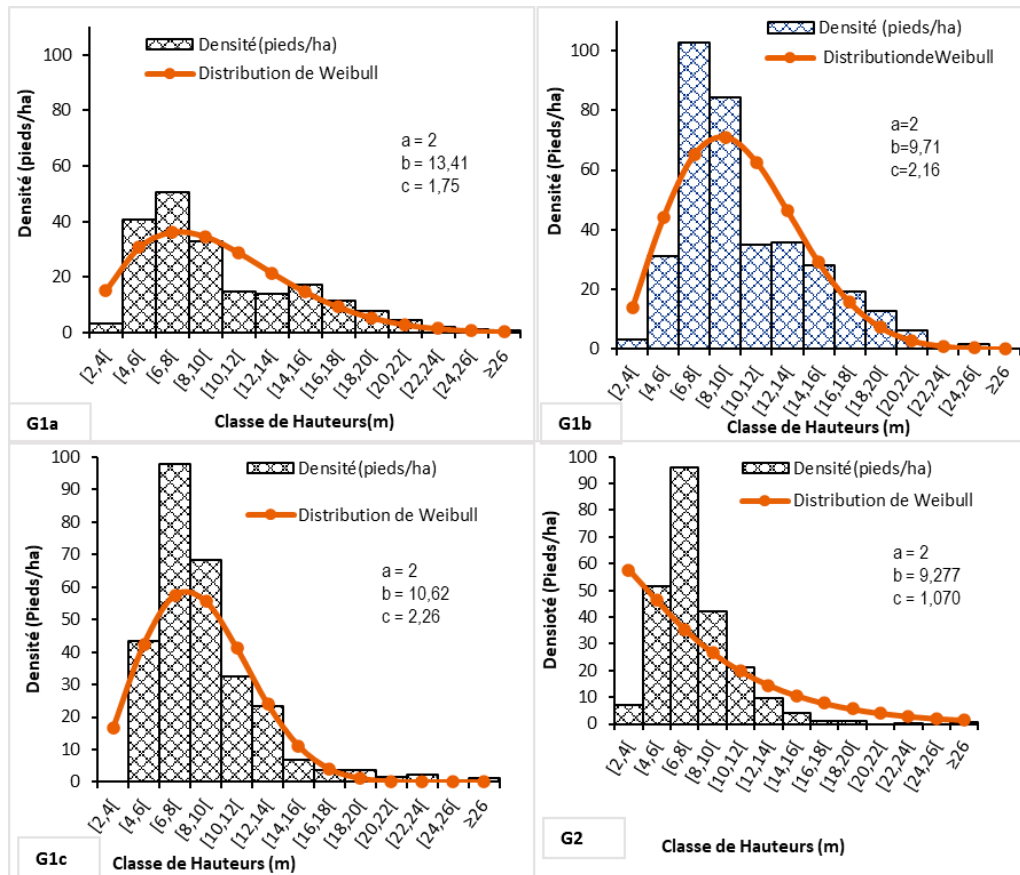


Figure 8 : Distribution par classe de hauteurs des formations végétales

Sur la chaîne de l'Atakora, les espèces végétales ligneuses régénèrent mieux dans les forêts galeries (238,85 pieds/ha) et les savanes boisées (159,24 pieds/ha). Les faibles densités de régénération s'observent dans les forêts claires (71,66 pieds/ha) et les savanes arbustives/arborées (119,432 pieds/ha). La régénération par les semis est plus élevée que par les souches (Figure 9). Le taux de régénération est abondant dans les groupes forêts galeries (66,24 %), moyenne dans les savanes boisées (45,34 %) et les savanes arborées/arbustives (36,94 %). Les forêts claires ont une un faible taux de régénération (22,31 %).

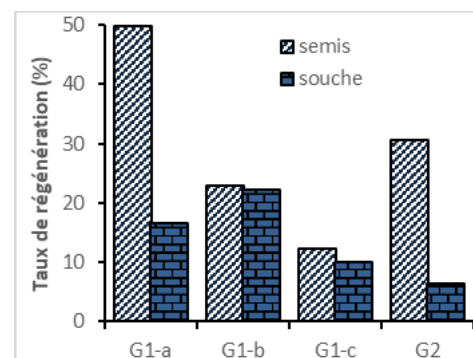


Figure 9 : Régénération des ligneux de la chaîne de l'Atakora

Tableau 4
Taux de Régénération des ligneux

Formations	Individus adultes	Régénération	Appréciation
G1a : Forêts galeries	556	30	Abondante
G1b : Savanes boisées	452	25	Moyenne
G1c : Forêts claires	537	9	Faible
G2 : Savanes arborées/arbustives	649	15	Moyenne

La densité du sous-bois sur la chaîne est plus élevée dans les forêts galeries (230,89 pieds/ha) et dans les savanes arborées/arbustives (302,55 pieds/ha). Elle est plus faible dans les savanes boisées (175,16 pieds/ha) et dans les forêts claires (127,39 pieds/ha). La tendance au niveau du taux de sous-bois est identique. Le taux des sous-bois est abondant dans les forêts galeries (53,43 %) et les savanes arborées/arbustives (56,30 %) et moyen dans les savanes boisées (32,75 %) et les forêts claires (30,89 %).

3.4. Relation entre les formations végétales les facteurs physiques et anthropiques

La première corrélation s'observe entre les sols curassés à petites plaques et à grandes plaques et l'érosion (néant, faible, moyen et fort). Cela explique la

présence des formations végétales anthropiques qui sont : des savanes arbustives tout au long de la chaîne. Le sol peu profond au niveau des pentes facilite l'érosion du sol. Les formations végétales situées sur les pentes restent plus vulnérables aux actions anthropiques.

La deuxième relation existe entre les sols (non érodés et sans cuirasses), les niveaux topographiques (plaine, plateau, ravin, versant) et les activités anthropiques : la coupe du bois, le pâturage et le campement d'éleveurs peuls. Sur les versants, les plateaux et les plaines, on distingue les forêts claires, les savanes boisées et arbustives. Les forêts galeries se retrouvent au niveau des ravins (Figure 10). La coupe du bois, le pâturage et le campement sont plus intenses sur les plateaux et la plaine. La population a plus accès à ces zones entraînant la dégradation des formations végétales. La carbonisation a été plus constatée au niveau des plaines et des plateaux.

La troisième relation se résume à l'écartement du vecteur du feu de végétation des autres vecteurs. Cet écartement suppose que le feu de végétation est rencontré un peu partout sur la chaîne de l'Atakora. Les formations végétales comprennent les savanes, les forêts claires et lambeaux de forêts galeries périodiquement parcourus par le feu de végétation. Il ressort de l'analyse que la topographie et les activités anthropiques expliquent mieux la répartition des formations végétales sur la chaîne de l'Atakora.

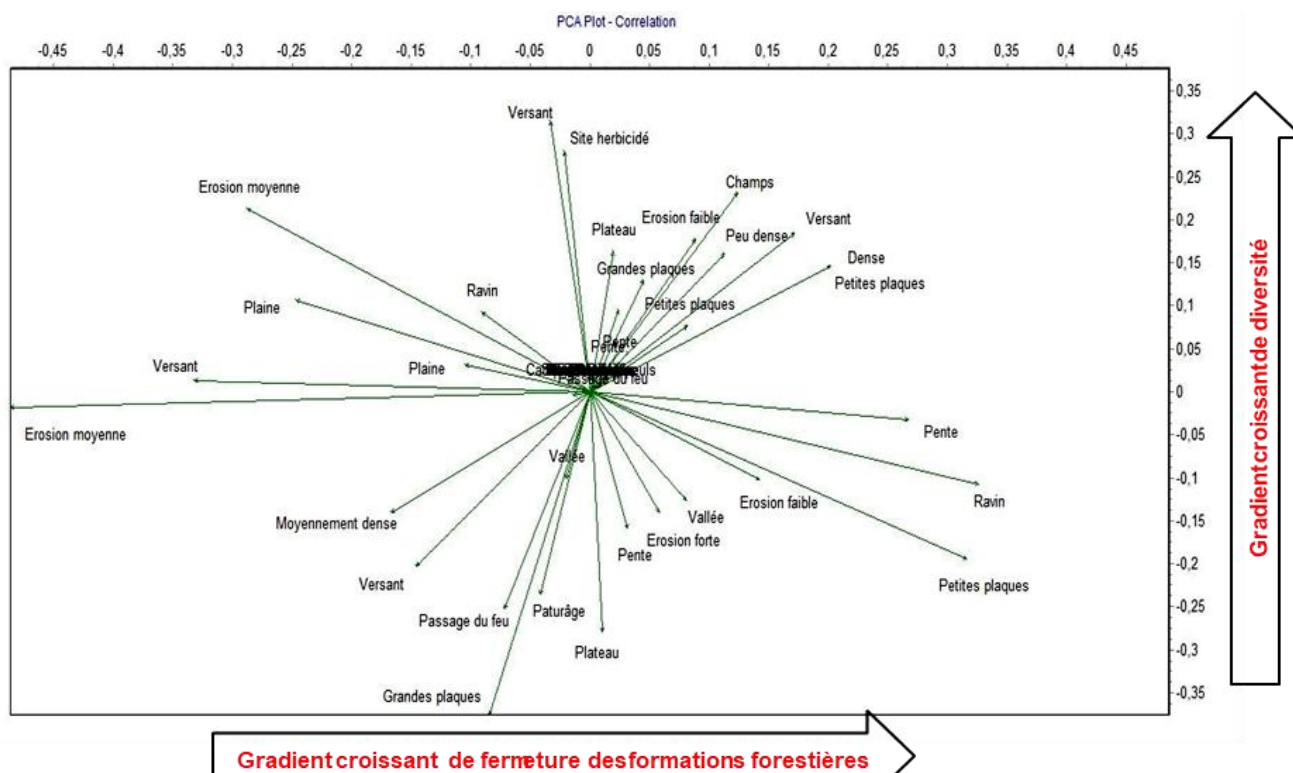


Figure 10 : Diagramme d'Ordination des Variables écologiques par PCA

4. Discussion

Les investigations menées sur la chaîne de l'Atakora dans la zone écologique II du Togo ont permis de recenser 102 espèces réparties en 77 genres et 32 familles. Cette richesse spécifique est un peu plus supérieure à celle de la Reserve de Faune d'Aledjo (94 espèces) [19] et moins importante que celle du bassin de la Rivière mo (142 espèces) [38] située dans la zone écologique II. La grande diversité du bassin de la rivière mo s'expliquerait par le fait que cette étude s'est plus appesantie sur les galeries forestières, le plus souvent assez diversifiées. Les familles les plus diversifiées sont : les Fabaceae, les Combretaceae, les Malvaceae, les Moraceae et les Rubiaceae. Ces familles décrivent les conditions climatiques humides plus favorables au développement des plantes ligneuses. Les Fabaceae et Rubiaceae ont été les plus rapportées par les études précédentes au niveau de la zone écologique II du Togo [9, 20]. Ces familles sont caractéristiques de la flore de la zone de transition forêt-savane d'Afrique de l'Ouest [39].

Les types biologiques indiquent de l'état de la conservation et l'écologie des écosystèmes. Les microphanérophytes dominent la végétation de la chaîne de l'Atakora suivis des mésophanérophites. Les espèces de transition guinéo-congolaises/soudano-zambéziennes et des espèces soudano-zambéziennes sont les plus présentes. Ceci confirme le caractère transitionnel des formations végétales de la zone II. La présence des espèces soudano-zambéziennes a été signalée par Woegan [40] dans la réserve d'Aledjo et du Parc Fazao-Malfakassa.

Les conditions écologiques plus favorables justifient les valeurs plus élevées du diamètre moyen et de la hauteur moyenne dans les forêts galeries et des forêts claires. La topographie, l'humidité du sol plus importante, la faible incidence du feu de végétation favorisent le développement des plantes. Ces formations végétales sont fortement sujettes aux activités anthropiques [41, 42].

La structure en hauteurs des ligneux est asymétrique positive tandis que la structure en diamètres présente une forme en « L » dans toutes les formations étudiées. Cet état démographique est semblable à celui de

Isoberlinia ssp dans la zone écologique II du Togo [42] et dans les formations végétales de la forêt classée d'Atakpamé [43]. Cette distribution montre une présence très faible d'individus de grands diamètres. Ceci témoigne ainsi la pression sélective des espèces de grands diamètres et de hauteurs utilisées le plus souvent comme bois-énergie [44].

La densité de régénération plus élevée dans les forêts galeries montre une bonne régénération naturelle des espèces ligneuses favorisée par l'humidité du sol. Ceci justifie l'importance de la préservation de ces formations végétale, le plus souvent très riche en biodiversité [45, 46]. La régénération par souche élevée dans les forêts claires signale une pression anthropique dont l'émondage des espèces fourragères par les éleveurs en saison sèche. Ces résultats sont comparables à celles observées dans les formations à *K. senegalensis* situées dans la même zone d'étude [47].

Les facteurs biophysiques conditionnent l'existence et l'état de conservation de la végétation. Woegan [40], Wala *et al.* [48] et Diwediga *et al.* [38] ont également démontré que les facteurs biophysiques et anthropiques impactent la distribution et la conservation des écosystèmes forestiers. La densité de végétation de la chaîne de l'Atakora croît de la dépression environnante au sommet. Ceci peut être expliqué par la raideur de la pente difficile d'accès. De plus, les conditions pour réaliser les foyers de carbonisation sont très défavorables en montagne (sols peu profonds et pentes raides). Les foyers sont réalisés dans la dépression où se trouvent les sols hydromorphes (profonds). Des changements de la physionomie de la végétation en fonction de la topographie, de la nature du sol et des activités anthropiques ont été rapportés au niveau du Parc National Fazao-Malfakassa et la réserve de faune d'Aledjo [12, 19].

5. Conclusion

La chaîne de l'Atakora possède un grand potentiel d'arbres : 102 espèces réparties en 77 genres et 32 familles. La partie nord de la chaîne de l'Atakora à l'image des autres composantes du relief togolais offre aux populations environnantes une réserve de ressources essentielles pour subvenir à leurs besoins quotidiens. Cependant la pression de l'extravisme entraîne une dynamique régressive des formations

ligneuses. Ceci ressort à travers leurs structures démographiques. L'importance de ces écosystèmes pour le bien-être des populations résidentes et la résilience climatique n'est plus à démontrer. Afin de rendre plus efficaces les programmes de restauration des écosystèmes forestiers, il serait crucial de prendre en compte les espèces ligneuses d'intérêt dans.

Remerciements

La collecte des données a été réalisée dans le cadre du premier inventaire forestier national (IFN, 2015). Notre reconnaissance à la DFS (Forest Desth Serve, GmH) qui a mis à notre disposition du matériel technique et roulant ayant facilité la collecte des données.

Références

- [1] Kombate B., Dourma m., Folega F., Atakpama W., Wala K. & Akpagana K. (2020) Spatio-temporal dynamics and habitat fragmentation within a central region of Togo, *Agri. Sci. Res. J.*, 10 (11): 291 – 305. Disponible sur internet : <https://www.resjournals.com/wp-content/uploads/2021/05/Bimare-KOMBATE-et-al.pdf> (Accédé le : 14/11/2023)
- [2] FAO, 2015. *Évaluation des ressources forestières mondiales 2015 : Répertoire de données de FRA 2015*. In: FAO, Rome, Italy, 244. Disponible sur internet : <https://www.fao.org/3/i4793f/i4793f.pdf> (Accédé le : 12/11/2023)
- [3] PNUD, 1983. *Carte écogéographique du Togo au 500 000^{ème} Conservation et aménagement des sols*.
- [4] CDB, 2001. *Convention sur la diversité biologique*.
- [5] Linder H.P. (2001) On Areas of Endemism, with an Example from the African Restionaceae, *Syst. Biol.*, 50 (6): 892-912. <https://doi.org/10.1080/106351501753462867>
- [6] Mutke J. Kier G. Braun G. Schultz C. & Barthlott W. (2001) Patterns of African vascular plant diversity: A GIS based analysis. *Syst. Geo. Plants*: 1125-1136. Disponible sur internet: <http://www.jstor.org/stable/3668744> (Accédé le 05/06/2023)
- [7] Ern H. (1979) Die Vegetation Togos, Gliederung, Gefährdung, Erhaltung. *Willdenowia*, 9 (2) : 295-315. <https://doi.org/10.2307/3995654>
- [8] Folega F. Woegan Y.A.marra D. Wala K. Batawila K. Seburanga J.L. Zhang C.-y. Peng D.-l. Zhao X.-h. & Akpagana K. (2015) Long term evaluation of green vegetation cover dynamic in the Atakora mountain chain (Togo) and its relation to carbon sequestration in West Africa., *J. mount. Sci.*,12 (4): 921-934. <https://doi.org/10.1007/s11629-013-2973-1>
- [9] Atsri H.K. Abotsi K.E. & Kokou K. (2018) Enjeux écologiques de la conservation des mosaïques forêt-savane semi-montagnardes au centre du Togo (Afrique de l'Ouest). *J. Anim. Plant Sci.*, 38 (1): 6112-6128. Disponible sur internet: <http://m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2018/09/6.Atsri.pdf> (Accédé le : 12/11/2023)
- [10] Atsri H.K. Kokou K. Abotsi K.E. Kokutse A.D. & Cuni-Sanchez A. (2020) Above-ground biomass and vegetation

- attributes in the forest-savannah mosaic of Togo, West Africa. *Afr. J. Ecol.* 58 (4): <https://doi.org/733-745>. [10.1111/aje.12758](https://doi.org/10.1111/aje.12758)
- [11] Atsri H.K. Konko Y. Cuni-Sanchez A. Abotsi K.E. & Kokou K. (2018) Changes in the West African forest-savanna mosaic, insights from central Togo. *PloSone*, 13 (10): e0203999. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203999>
- [12] Atsri H.K. Abotsi K.E. Kokou K. Dendi D. Segniagbeto G.H. Fa J.E. & Luiselli L. (2020) Ecological challenges for the buffer zone management of a West African National Park. *J. Env. Plan. man.*, 63 (4): 689-709. <https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1603844>
- [13] Abotsi K.E. Bose R. Adjossou K. Deblauwe V. Rouhan G. Segla K.N. Atsri K.H. & Kokou K. (2020) Ecological drivers of pteridophyte diversity and distribution in Togo (West Africa). *Ecol. Ind.* 108: 105741. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105741>
- [14] Hlovor A.K.D. Adjou K. Dangbo F.A. Abotsi K.E. Afelu B. & Kokou K. (2021) Dynamique du couvert forestier dans la partie méridionale des monts Togo, Afrique de l'Ouest. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 37: 3006313. https://revist.net/REVIST_37/19-ST-793.pdf
- [15] Kombate B. Dourma m. Folega F. Woegan A.Y. & Akpagana K. (2019) Structure et potentiel de séquestration de carbone des formations boisées du Plateau Akposso en zone sub-humide au Togo. *Afrique Sci.*, 15 (2): 70-79. Disponible sur internet: <http://www.afriquescience.net/AS/15/7.pdf> (Accédé le : 12/11/2023)
- [16] Folega F. Wala K. Woegan A.Y. Kanda m. Dourma m. Batawila K. & Akpagana K. (2018) Flore et communautés végétales des inselbergs du Sud-Est du Togo. *Physio-Géo.*, 12: 1-21. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.5672>
- [17] Aboza K. Boukpepsi T. Lare Y.L. & Tchamie T.T. (2015) Caractéristiques floristiques et écologiques des formations végétales du massif de Djabotour (Centre-Togo). *Rev. Géol. Univ. Ouagadougou*, 04 (2): 79-95. Disponible sur internet: https://revuegeographieouaga.com/wp-content/uploads/2020/02/RGO-2015_V2_ABOZA.pdf (Accédé le : 14/11/2023)
- [18] Dangbo F.A. Abotsi K.E. Adjossou K. Hlovor A.K.D. Kokou K. & Blaser J. (2020) Tree's spatial pattern, diversity and distribution in sub humid mountains ecosystems in south-west Togo. *J. Ecol. Nat. Env.*, 12 (2): 65-76. <https://doi.org/10.5897/JENE2020.0821>
- [19] Wala K. Woegan A.Y. Borozzi W. Dourma m. Atato A., Batawila K. & Akpagana K. (2012) Assessment of vegetation structure and human impacts in the protected area of Alédjo (Togo). *Afr. J. Ecol.*, 50 (3): 355-366. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2012.01334.x>
- [19] Woegan Y.A. Akpavi S. Dourma m. Atato A. Wala K. & Akpagana K. (2013) Etat des connaissances sur la flore et la phytosociologie de deux aires protégées de la chaîne de l'Atakora au Togo: Parc National Fazao-Malfakassa et Réserve de Faune d'Alédjo. *IJBOS*, 7 (5): 1951-1962. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbos.v7i5.14>
- [20] Dourma m. Batawila K. Guelly K.A. Bellefontaine R. Foucault B.d. & Akpagana K. (2012) La flore des forêts claires à *Isobertinia spp.* en zone soudanienne au Togo. *Acta Bot. Gal.* 159 (4): 395-409. <https://doi.org/10.1080/12538078.2012.737118>
- [21] Atakpama W. Folega F. Azo A.K. Pereki H. mensah K. Wala K. & Akpagana K. (2017) Cartographie, diversité et structure démographique de la forêt communautaire d'Amavénou dans la préfecture d'Agou au Togo. *Rev. Géog. Univ. Ouagadougou*, 2 (6): 59-82.
- [22] Chase m.W. Christenhusz m.J.M. Fay m.F. Byng J.W. Judd W.S. Soltis D.E. mabberley D.J. Sennikov A.N. Soltis P.S. & Stevens P.F. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Bot. J. Linnean Soc.* 181 (1) (2016): 1-20. Disponible sur internet: <https://academic.oup.com/botlinnean/article-pdf/181/1/1/17041938/boj12385.pdf> (Accédé le : 14/11/2023)
- [24] Raunkiaer C. 1934. *The life forms of plants and statistical plant geography*. OXFORD, 147 p.
- [25] White F. 1986. *La végétation de l'Afrique-Recherches sur les ressources naturelles*. Paris: ORSTOM-UNESCO, 384 p. Disponible sur internet:
- [26] Aké Assi L. 1984. « Flore de la Côte d'Ivoire : Étude descriptive et biogéographique avec quelques notes ethnobotaniques ». Univ. Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, Thèse de doctorat d'Etat, 1206 p.
- [27] Dimobe K. Wala K. Batawila K. Dourma m. Woegan Y.A. & Akpagana K. (2012) Analyse spatiale des différentes formes de pressions anthropiques dans la réserve de faune de l'Oti-Mandouri (Togo). *Vertigo*, Hors-série 14. <https://doi.org/10.4000/vertigo.12423>
- [28] Ameganvi K.P. Atakpama W. Batawila K. & Akpagana K. (2023) Productivité et usage des parcours bovins dans la préfecture de Tchamba au Togo. *Rev.Nature Tech.*, 15 (1): 41-55. Disponible sur internet: <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/47/15/1/213518> (Accédé le : 12/11/2023)
- [29] Cruz P. Theau J.P. Lecloux E. Jouany C. & Duru M. (2010) Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes: une classification multitraits. *Fourrages*, 201: 11-17. Disponible sur internet: <https://hal.inrae.fr/hal-02667215/document> (Accédé le : 12/11/2023)
- [30] Magurran A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton university press, p.
- [31] Kent m. & Coker P. 1992. *Vegetation description and analysis: a practical approach*. John Wiley & Sons, England, 363 p. In.
- [32] Padakale E. Atakpama W. Dourma m. Dimobe K. Wala K. & Akpagana K. (2015) Woody species diversity and structure of *Parkia biglobosa* Jacq. Dong parklands in the sudanian zone of Togo (West Africa). *ARRB*, 6 (2): 103-114. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2015/14105>
- [33] Pereki H., Wala K., Thiel-Clement, Bessike M., P.B. Zida M., Dourma M. Batawila K. & Akpagana K. (2013) Woody species diversity and important value indices in dense dry forests in Abdoulaye Wildlife Reserve (Togo, West Africa). *Int. J. Biodivers. Conserv.*, 5 (6): 358-366. <https://doi.org/10.5897/IJBC12.061>
- [34] Pereki H., Wala K., Thiel-clemen T., Bessike M.P.B., Zida M., Dourma M., Batawila K. & Akpagana K. (2013) Woody species diversity and important value indices in dense dry forests in Abdoulaye Wildlife Reserve (Togo, West Africa). *Int. J. Biodivers. Conserv.* 5 (6): 358-366. <https://doi.org/10.5897/IJBC12.061>
- [35] Atakpama W. Egbelou H. Folega F. Afo C. Batawila K. & Akpagana K. (2022) Diversité floristique des forêts communautaires de la préfecture de Dankpen au Togo. *RMSAV*, 10 (4): 548-557. Disponible sur internet: https://agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/view/1222 (Accédé le : 12/11/2023)
- [36] Bawa D.M.-E. Folega F. Atato A. Diwediga B. Wala K. & Akpagana K. (2022) Caractéristiques floristiques et structurales de la forêt communautaire d'Agbandi au centre du Togo (Afrique de l'ouest). *Rev. Écos. Pays.* 1 (2): 55-74.
- [37] Husch B. Beers T.W. & Kershaw Jr J.A. 2002. *Forest mensuration*. John Wiley & Sons.
- [38] Diwediga B. Wala K. Folega F. Dourma m. Woegan Y.A. Akpagana K. & Le Q.B. (2015) Biophysical and anthropogenous determinants of landscape patterns and degradation of plant communities in mo hilly basin (Togo). *Ecol. Eng.*, 85: 132-143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.059>

- [39] Aubreville A. 1950. *Flore forestière soudano-guinéenne : A.O.F.-Cameroun-A.E.F.* Paris, France, 523 p.
- [40] Woegan Y. 2007. « *Diversité des formations végétales ligneuses du parc national de Fazao-Malfakassa et de la réserve de faune d'Aledjo (Togo)* ». Thèse de Doctorat Unique : Univ. Lomé, Togo, 142 p.
- [41] Diwediga B. Batawila K. Wala K. Hounkpè K. Gbogbo A.K. Akpavi S. Taton T. & Akpagana K. (2012) Exploitation agricole des berges : une stratégie d'adaptation aux changements climatiques destructrice des forêts galeries dans la plaine de l'Oti. *African Socio. Rev.*, 16 (1): 77-99. Disponible sur internet: <https://www.ajol.info/index.php/asr/article/download/87627/77291> (Accédé le : 12/11/2023)
- [42] Dourma m. Wala K. Guelly K.A. Bellefontaine R. Deleporte P. Akpavi S. Batawila K. & Akpagana K. (2012) Typologie, caractéristiques structurales et dynamique des faciès forestiers fragiles à *Isoberlinia* spp. en vue de leur gestion au Togo. *BFT*, 313 (3): 19-34. Disponible sur internet: https://agritrop.cirad.fr/566852/1/document_566852.pdf (Accédé le : 12/11/2023)
- [43] Dourma m. Souou E. Atakpama W. Folega F. & Akpagana K. (2019) Dynamique spatio-temporelle et structure de la végétation de la forêt classée d'Atakpamé au Togo. *Ann. Sci. Tech.*, 19 (1): 1-22. Disponible sur internet: <http://www.annalesumng.org/index.php/st/article/view/642/182319> (Accédé le : 12/11/2023)
- [44] Kaina A. Dourma m. Diwediga B. Folega F. Kpérkouma W. & Akpagana K. (2021) Analyse systémique des modèles de production de bois énergie dans la Région Centrale du Togo, Afrique de l'Ouest. *Afrique SCI.*, 19 (2): 151-161. Disponible sur internet: <https://www.afriquescience.net/PDF/19/2/12.pdf> (Accédé le : 12/11/2023)
- [45] Folega F. Kanda m. Fandjinou K. Bohnett E. Wala K. Batawila K. & Akpagana K. (2023) Flora and Typology of Wetlands of Haho River Watershed, Togo. *Sustainability*, 15 (3): 2814. <https://doi.org/10.3390/su15032814>
- [46] Folega F. Badjare B. Tchabi m. Kamara m. Atakpama W. Issifou A. Oyetunde D. Wala K. Batawila K. & Akpagana K. (2023) Land Use Change and the Structural Diversity of Affem Bousou Community Forest in the Tchamba 1 Commune (Tchamba Prefecture, Togo). *Conservation*, 3 (3): 346-362. <https://doi.org/10.3390/conservation3030024>
- [47] Issa I. Wala K. Dourma m. Atakpama W. Woegan Y.A. Folega F. Batawila K. & Akpagana K. « *Typologie et structure de Khaya senegalensis (Desr.) A. Juss. (Meliaceae) sur les monts Défalé (préfecture de Doufelgou)* » In 1^{er} colloque Scientifique Internationale de l'Université de Kara, 2015, 12-16 mai 2014, 99-110. Disponible sur internet: https://www.researchgate.net/publication/362109688_Typologie_et_structure_de_Khaya_senegalensis_Desr_A_Juss_Meliaceae_sur_les_Monts_Defale_prefecture_de_Doufelgou?_sg%5B0%5D=VzHgkW74FpbXuCq4BDXU4eTMpqb4xDGaiqPo-altwvthECu8QVVLN080iPOMs1Irf06nGM9-2BQIMklBczvR2bfaR57_RBcpw89Sk.qL7C1KWE0VaTihLkAENcKzTRRP_fD7X6AHXZjEF3NiVqSV5FJxP_hWqctN1ym11Ue19qnswhFZlBrvC7jxag&_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Ij9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoicHJvZmlsZSI6InBvc2l0aW9uIjoicGFuZUNvbnRlbnQifX0 (Accédé le : 12/11/2023)
- [48] Wala K. (2010) La végétation de la chaîne de l'Atakora au Bénin: diversité floristique, phytosociologie et impact humain. *Acta Botanica Gallica*, 157 (4): 793-796. <https://doi.org/10.1080/12538078.2010.10516248>.

Revue Nature et Technologie

Academic Journal with an International Dissemination



Volume 16
Issue 02 - June 2024

