

# **European Scientific Journal, *ESJ***

*February 2024*

**European Scientific Institute, ESI**

*The content is peer reviewed*

**ESJ Natural/Life/Medical Sciences**

*February 2024 edition vol. 20, No. 6*

The content of this journal do not necessarily reflect the opinion or position of the European Scientific Institute. Neither the European Scientific Institute nor any person acting on its behalf is responsible for the use of the information contained in this publication.

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

---

## ***Generativity is a Core Value of the ESJ: A Decade of Growth***

Erik Erikson (1902-1994) was one of the great psychologists of the 20th century<sup>1</sup>. He explored the nature of personal human identity. Originally named Erik Homberger after his adoptive father, Dr. Theodore Homberger, he re-imagined his identity and re-named himself Erik Erikson (literally Erik son of Erik). Ironically, he rejected his adoptive father's wish to become a physician, never obtained a college degree, pursued independent studies under Anna Freud, and then taught at Harvard Medical School after emigrating from Germany to the United States. Erickson visualized human psychosocial development as eight successive life-cycle challenges. Each challenge was framed as a struggle between two outcomes, one desirable and one undesirable. The first two early development challenges were 'trust' versus 'mistrust' followed by 'autonomy' versus 'shame.' Importantly, he held that we face the challenge of **generativity** versus **stagnation in middle life**. This challenge concerns the desire to give back to society and leave a mark on the world. It is about the transition from acquiring and accumulating to providing and mentoring.

Founded in 2010, the European Scientific Journal is just reaching young adulthood. Nonetheless, **generativity** is one of our core values. As a Journal, we reject stagnation and continue to evolve to meet the needs of our contributors, our reviewers, and the academic community. We seek to innovate to meet the challenges of open-access academic publishing. For us,

---

<sup>1</sup> Hopkins, J. R. (1995). Erik Homburger Erikson (1902–1994). *American Psychologist*, 50(9), 796-797. doi:<http://dx.doi.org/10.1037/0003-066X.50.9.796>

generativity has a special meaning. We acknowledge an obligation to give back to the academic community, which has supported us over the past decade and made our initial growth possible. As part of our commitment to generativity, we are re-doubling our efforts in several key areas. First, we are committed to keeping our article processing fees as low as possible to make the ESJ affordable to scholars from all countries. Second, we remain committed to fair and agile peer review and are making further changes to shorten the time between submission and publication of worthy contributions. Third, we are looking actively at ways to eliminate the article processing charges for scholars coming from low GDP countries through a system of subsidies. Fourth, we are examining ways to create and strengthen partnerships with various academic institutions that will mutually benefit those institutions and the ESJ. Finally, through our commitment to publishing excellence, we reaffirm our membership in an open-access academic publishing community that actively contributes to the vitality of scholarship worldwide.

*Sincerely,*

***Daniel B. Hier, MD***

*European Scientific Journal (ESJ) Natural/Life/Medical Sciences*

*Editor in Chief*

---

# International Editorial Board

**Jose Noronha Rodrigues,**  
University of the Azores, Portugal

**Nino Kemertelidze,**  
Grigol Robakidze University, Georgia

**Jacques de Vos Malan,**  
University of Melbourne, Australia

**Franz-Rudolf Herber,**  
University of Saarland, Germany

**Annalisa Zanola,**  
University of Brescia, Italy

**Robert Szucs,**  
University of Debrecen, Hungary

**Dragica Vujadinovic,**  
University of Belgrade, Serbia

**Pawel Rozga,**  
Technical University of Lodz, Poland

**Mahmoud Sabri Al-Asal,**  
Jadara University, Irbid-Jordan

**Rashmirekha Sahoo,**  
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

**Georgios Vousinas,**  
University of Athens, Greece

**Asif Jamil,**  
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

**Faranak Seyyedi,**  
Azad University of Arak, Iran

**Abe N'Doumy Noel,**  
International University of Social Sciences Hampate-Ba (IUSS-HB) Abidjan RCI, Ivory  
Coast



**Majid Said Al Busafi,**  
Sultan Qaboos University- Sultanate of Oman

**Dejan Marolov,**  
European Scientific Institute, ESI

**Noor Alam,**  
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

**Rashad A. Al-Jawfi,**  
Ibb University, Yemen

**Muntean Edward Ioan,**  
University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine (USAMV) Cluj-Napoca,  
Romania

**Hans W. Giessen,**  
Saarland University, Saarbrucken, Germany

**Frank Bezzina,**  
University of Malta, Malta

**Monika Bolek,**  
University of Lodz, Poland

**Robert N. Diotalevi,**  
Florida Gulf Coast University, USA

**Daiva Jureviciene,**  
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

**Anita Lidaka,**  
Liepaja University, Latvia

**Rania Zayed,**  
Cairo University, Egypt

**Louis Valentin Mballa,**  
Autonomous University of San Luis Potosi, Mexico

**Lydia Ferrara,**  
University of Naples, Italy

**Byron A Brown,**  
Botswana Accountancy College, Botswana

**Grazia Angeloni,**  
University “G. d’Annunzio” in Chieti, Italy

**Chandrasekhar Putcha,**  
California State University, Fullerton, CA, USA

**Cinaria Tarik Albadri,**  
Trinity College Dublin University, Ireland

**Mahammad A. Nurmamedov,**  
State Pedagogical University, Azerbaijan

**Henryk J. Barton,**  
Jagiellonian University, Poland

**Assem El-Shazly,**  
Zagazig University, Egypt

**Saltanat Meiramova,**  
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

**Rajasekhar Kali Venkata,**  
University of Hyderabad, India

**Ruzica Loncaric,**  
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

**Stefan Vladutescu,**  
University of Craiova, Romania

**Billy Adamsen,**  
University of Southern Denmark, Denmark

**Marinella Lorinzi,**  
University of Cagliari, Italy

**Giuseppe Cataldi,**  
University of Naples “L’Orientale”, Italy

**N. K. Rathee,**  
Delaware State University, USA

**Michael Ba Banutu-Gomez,**  
Rowan University, USA

**Adil Jamil,**  
Amman University, Jordan

**Habib Kazzi,**  
Lebanese University, Lebanon

**Valentina Manoiu,**  
University of Bucharest, Romania

**Henry J. Grubb,**  
University of Dubuque, USA

**Daniela Brevenikova,**  
University of Economics, Slovakia

**Genute Gedviliene,**  
Vytautas Magnus University, Lithuania

**Vasilika Kume,**  
University of Tirana, Albania

**Mohammed Kerbouche,**  
University of Mascara, Algeria

**Adriana Gherbon,**  
University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania

**Pablo Alejandro Olavegogeochea,**  
National University of Comahue, Argentina

**Raul Rocha Romero,**  
Autonomous National University of Mexico, Mexico

**Driss Bouyahya,**  
University Moulay Ismail, Morocco

**William P. Fox,**  
Naval Postgraduate School, USA

**Rania Mohamed Hassan,**  
University of Montreal, Canada

**Tirso Javier Hernandez Gracia,**  
Autonomous University of Hidalgo State, Mexico

**Tilahun Achaw Messaria,**  
Addis Ababa University, Ethiopia

**George Chiladze,**  
University of Georgia, Georgia

**Elisa Rancati,**  
University of Milano-Bicocca, Italy

**Alessandro Merendino,**  
University of Ferrara, Italy

**David L. la Red Martinez,**  
Northeastern National University, Argentina

**Anastassios Gentzoglani,**  
University of Sherbrooke, Canada

**Awoniyi Samuel Adebayo,**  
Solusi University, Zimbabwe

**Milan Radosevic,**  
Faculty Of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia

**Berenyi Laszlo,**  
University of Miskolc, Hungary

**Hisham S Ibrahim Al-Shaikhli,**  
Auckland University of Technology, New Zeland

**Omar Arturo Dominguez Ramirez,**  
Hidalgo State University, Mexico

**Bupinder Zutshi,**  
Jawaharlal Nehru University, India

**Pavel Krpalek,**  
University of Economics in Prague, Czech Republic

**Mondira Dutta,**  
Jawaharlal Nehru University, India

**Evelio Velis,**  
Barry University, USA

**Mahbubul Haque,**  
Daffodil International University, Bangladesh

**Diego Enrique Baez Zarabanda,**  
Autonomous University of Bucaramanga, Colombia

**Juan Antonio Lopez Nunez,**  
University of Granada, Spain

**Nouh Ibrahim Saleh Alguzo,**  
Imam Muhammad Ibn Saud Islamic University, Saudi Arabia

**Ashgar Ali Ali Mohamed,**  
International Islamic University, Malaysia

**A. Zahoor Khan,**  
International Islamic University Islamabad, Pakistan

**Valentina Manoiu,**  
University of Bucharest, Romania

**Andrzej Palinski,**  
AGH University of Science and Technology, Poland

**Jose Carlos Teixeira,**  
University of British Columbia Okanagan, Canada

**Enkeleint - Aggelos Mechili,**  
National and Kapodistrian University of Athens, Greece

**Martin Gomez-Ullate,**  
University of Extremadura, Spain

**Nicholas Samaras,**  
Technological Educational Institute of Larissa, Greece

**Emrah Cengiz,**  
Istanbul University, Turkey

**Francisco Raso Sanchez,**  
University of Granada, Spain

**Simone T. Hashiguti,**  
Federal University of Uberlandia, Brazil

**Tayeb Boutbouqalt,**  
University, Abdelmalek Essaadi, Morocco

**Maurizio Di Paolo Emilio,**  
University of L'Aquila, Italy

**Ismail Ipek,**  
Istanbul Aydin University, Turkey

**Olena Kovalchuk,**  
National Technical University of Ukraine, Ukraine

**Oscar Garcia Gaitero,**  
University of La Rioja, Spain

**Alfonso Conde,**  
University of Granada, Spain

**Jose Antonio Pineda-Alfonso,**  
University of Sevilla, Spain

**Jingshun Zhang,**  
Florida Gulf Coast University, USA

**Rodrigue V. Cao Diogo,**  
University of Parakou, Benin

**Olena Ivanova,**  
Kharkiv National University, Ukraine

**Marco Mele,**  
Unint University, Italy

**Okyay Ucan,**  
Omer Halisdemir University, Turkey

**Arun N. Ghosh,**  
West Texas A&M University, USA

**Matti Raudjarv,**  
University of Tartu, Estonia

**Cosimo Magazzino,**  
Roma Tre University, Italy

**Susana Sousa Machado,**  
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

**Jelena Zascerinska,**  
University of Latvia, Latvia

**Umman Tugba Simsek Gursoy,**  
Istanbul University, Turkey

**Zoltan Veres,**  
University of Pannonia, Hungary

**Vera Komarova,**  
Daugavpils University, Latvia

**Salloom A. Al-Juboori,**  
Muta'h University, Jordan

**Stephane Zingue,**  
University of Maroua, Cameroon

**Pierluigi Passaro,**  
University of Bari Aldo Moro, Italy

**Georges Kpazai,**  
Laurentian University, Canada

**Claus W. Turtur,**  
University of Applied Sciences Ostfalia, Germany

**Natalia Sizochenko,**  
Dartmouth College, USA

**Michele Russo,**  
University of Catanzaro, Italy

**Nikolett Deutsch,**  
Corvinus University of Budapest, Hungary

**Andrea Baranovska,**  
University of st. Cyrill and Methodius Trnava, Slovakia

**Brian Sloboda,**  
University of Maryland, USA

**Yassen Al Foteih,**  
Canadian University Dubai, UAE

**Marisa Cecilia Tumino,**  
Adventista del Plata University, Argentina

**Luca Scaini,**  
Al Akhawayn University, Morocco

**Aelita Skarbaliene,**  
Klaipeda University, Lithuania

**Oxana Bayer,**  
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

**Onyeka Uche Ofili,**  
International School of Management, France

**Aurela Saliaj,**  
University of Vlora, Albania

**Maria Garbelli,**  
Milano Bicocca University, Italy

**Josephus van der Maesen,**  
Wageningen University, Netherlands

**Claudia M. Dellafiore,**  
National University of Rio Cuarto, Argentina

**Francisco Gonzalez Garcia,**  
University of Granada, Spain

**Mahgoub El-Tigani Mahmoud,**  
Tennessee State University, USA

**Daniel Federico Morla,**  
National University of Rio Cuarto, Argentina

**Valeria Autran,**  
National University of Rio Cuarto, Argentina

**Muhammad Hasmi Abu Hassan Asaari,**  
Universiti Sains, Malaysia

**Angelo Viglianisi Ferraro,**  
Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy

**Roberto Di Maria,**  
University of Palermo, Italy

**Delia Magherescu,**  
State University of Moldova, Moldova

**Paul Waithaka Mahinge,**  
Kenyatta University, Kenya

**Aicha El Alaoui,**  
Sultan My Slimane University, Morocco

**Marija Brajic,**  
University of Split, Croatia

**Monica Monea,**  
University of Medicine and Pharmacy of Tirgu Mures, Romania



**Belen Martinez-Ferrer,**  
Univeristy Pablo Olavide, Spain

**Rachid Zammar,**  
University Mohammed 5, Morocco

**Fatma Koc,**  
Gazi University, Turkey

**Calina Nicoleta,**  
University of Craiova, Romania

**Shadaan Abid,**  
UT Southwestern Medical Center, USA

**Sadik Madani Alaoui,**  
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

**Patrizia Gazzola,**  
University of Insubria, Italy

**Krisztina Szegedi,**  
University of Miskolc, Hungary

**Liliana Esther Mayoral,**  
National University of Cuyo, Argentina

**Amarjit Singh,**  
Kurukshetra University, India

**Oscar Casanova Lopez,**  
University of Zaragoza, Spain

**Emina Jerkovic,**  
University of Josip Juraj Strossmayer, Croatia

**Carlos M. Azcoitia,**  
National Louis University, USA

**Rokia Sanogo,**  
University USTTB, Mali

**Bertrand Lemennicier,**  
University of Paris Sorbonne, France

**Lahcen Benaabidate,**  
University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco

**Janaka Jayawickrama,**  
University of York, United Kingdom

**Kiluba L. Nkulu,**  
University of Kentucky, USA

**Oscar Armando Esparza Del Villar,**  
University of Juarez City, Mexico

**George C. Katsadoros,**  
University of the Aegean, Greece

**Elena Gavrilova,**  
Plekhanov University of Economics, Russia

**Eyal Lewin,**  
Ariel University, Israel

**Szczepan Figiel,**  
University of Warmia, Poland

**Don Martin,**  
Youngstown State University, USA

**John B. Strait,**  
Sam Houston State University, USA

**Nirmal Kumar Betchoo,**  
University of Mascareignes, Mauritius

**Camilla Buzzacchi,**  
University Milano Bicocca, Italy

**EL Kandoussi Mohamed,**  
Moulay Ismai University, Morocco

**Susana Borrás Pentinat,**  
Rovira i Virgili University, Spain

**Jelena Kasap,**  
Josip J. Strossmayer University, Croatia

**Massimo Mariani,**  
Libera Università Mediterranea, Italy

**Rachid Sani,**  
University of Niamey, Niger

**Luis Aliaga,**  
University of Granada, Spain

**Robert McGee,**  
Fayetteville State University, USA

**Angel Urbina-Garcia,**  
University of Hull, United Kingdom

**Sivanadane Mandjiny,**  
University of N. Carolina at Pembroke, USA

**Marko Andonov,**  
American College, Republic of Macedonia

**Ayub Nabi Khan,**  
BGMEA University of Fashion & Technology, Bangladesh

**Leyla Yilmaz Findik,**  
Hacettepe University. Turkey

**Vlad Monescu,**  
Transilvania University of Brasov, Romania

**Stefano Amelio,**  
University of Unsubria, Italy

**Enida Pulaj,**  
University of Vlora, Albania

**Christian Cave,**  
University of Paris XI, France

**Julius Gathogo,**  
University of South Africa, South Africa

**Claudia Pisoschi,**  
University of Craiova, Romania

**Arianna Di Vittorio,**  
University of Bari "Aldo Moro", Italy

**Joseph Ntale,**  
Catholic University of Eastern Africa, Kenya

**Kate Litondo,**  
University of Nairobi, Kenya

**Maurice Gning,**  
Gaston Berger University, Senegal

**Katarina Marosevic,**  
J.J. Strossmayer University, Croatia

**Sherin Y. Elmahdy,**  
Florida A&M University, USA

**Syed Shadab,**  
Jazan University, Saudi Arabia

**Koffi Yao Blaise,**  
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

**Mario Adelfo Batista Zaldivar,**  
Technical University of Manabi, Ecuador

**Kalidou Seydou,**  
Gaston Berger University, Senegal

**Patrick Chanda,**  
The University of Zambia, Zambia

**Meryem Ait Ouali,**  
University IBN Tofail, Morocco

**Laid Benderradji,**  
Mohamed Boudiaf University of Msila, Algeria

**Amine Daoudi,**  
University Moulay Ismail, Morocco

**Oruam Cadex Marichal Guevara,**  
University Maximo Gomes Baez, Cuba

**Vanya Katarska,**  
National Military University, Bulgaria

**Carmen Maria Zavala Arnal,**  
University of Zaragoza, Spain

**Francisco Gavi Reyes,**  
Postgraduate College, Mexico

**Iane Franceschet de Sousa,**  
Federal University S. Catarina, Brazil

**Patricia Randrianavony,**  
University of Antananarivo, Madagascar

**Roque V. Mendez,**  
Texas State University, USA

**Kesbi Abdelaziz,**  
University Hassan II Mohammedia, Morocco

**Whei-Mei Jean Shih,**  
Chang Gung University of Science and Technology, Taiwan

**Ilknur Bayram,**  
Ankara University, Turkey

**Elenica Pjero,**  
University Ismail Qemali, Albania

**Gokhan Ozer,**  
Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Turkey

**Veronica Flores Sanchez,**  
Technological University of Veracruz, Mexico

**Camille Habib,**  
Lebanese University, Lebanon

**Larisa Topka,**  
Irkutsk State University, Russia

**Paul M. Lipowski,**  
Creighton University, USA

**Marie Line Karam,**  
Lebanese University, Lebanon

**Sergio Scicchitano,**  
Research Center on Labour Economics (INAPP), Italy

**Mohamed Berradi,**  
Ibn Tofail University, Morocco

**Visnja Lachner,**  
Josip J. Strossmayer University, Croatia

**Sangne Yao Charles,**  
University Jean Lorougnon Guede, Ivory Coast

**Omar Boubker,**  
University Ibn Zohr, Morocco

**Kouame Atta,**  
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

**Patience Mpanzu,**  
University of Kinshasa, Congo

**Devang Upadhyay,**  
University of North Carolina at Pembroke, USA

**Nyamador Wolali Seth,**  
University of Lome, Togo

**Akmel Meless Simeon,**  
Ouattara University, Ivory Coast

**Mohamed Sadiki,**  
IBN Tofail University, Morocco

**Paula E. Faulkner,**  
North Carolina Agricultural and Technical State University, USA

**Gamal Elgezeery,**  
Suez University, Egypt

**Manuel Gonzalez Perez,**  
Universidad Popular Autonoma del Estado de Puebla, Mexico

**Denis Pompidou Folefack,**  
Centre Africain de Recherche sur Bananiers et Plantains (CARBAP), Cameroon

**Seka Yapi Arsene Thierry,**  
Ecole Normale Superieure Abidjan (ENS Ivory Coast)

**Dastagiri MB,**  
ICAR-National Academy of Agricultural Research Management, India

**Alla Manga,**  
University Cheikh Anta Diop, Senegal

**Lalla Aicha Lrhorfi,**  
University Ibn Tofail, Morocco

**Ruth Adunola Aderanti,**  
Babcock University, Nigeria

**Katica Kulavkova,**  
University of “Ss. Cyril and Methodius”, Republic of Macedonia

**Aka Koffi Sosthene,**  
Research Center for Oceanology, Ivory Coast

**Forchap Ngang Justine,**  
University Institute of Science and Technology of Central Africa, Cameroon

**Toure Krouele,**  
Ecole Normale Supérieure d’Abidjan, Ivory Coast

**Sophia Barinova,**  
University of Haifa, Israel

**Leonidas Antonio Cerda Romero,**  
Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Ecuador

**T.M.S.P.K. Thennakoon,**  
University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

**Aderewa Amontcha,**  
Université d’Abomey-Calavi, Benin

**Khadija Kaid Rassou,**  
Centre Régional des Métiers de l’Éducation et de la Formation, Morocco

**Rene Mesias Villacres Borja,**  
Universidad Estatal De Bolívar, Ecuador

**Aaron Victor Reyes Rodriguez,**  
Autonomous University of Hidalgo State, Mexico

**Qamil Dika,**  
Tirana Medical University, Albania

**Kouame Konan,**  
Peleforo Gon Coulibaly University of Korhogo, Ivory Coast

**Hariti Hakim,**  
University Alger 3, Algeria

**Emel Ceyhun Sabir,**  
University of Cukurova, Turkey

**Salomon Barrezueta Unda,**  
Universidad Técnica de Machala, Ecuador

**Belkis Zervent Unal,**  
Cukurova University, Turkey

**Elena Krupa,**  
Kazakh Agency of Applied Ecology, Kazakhstan

**Carlos Angel Mendez Peon,**  
Universidad de Sonora, Mexico

**Antonio Solis Lima,**  
Apizaco Institute Technological, Mexico

**Roxana Matefi,**  
Transilvania University of Brasov, Romania

**Bouharati Saddek,**  
UFAS Setif1 University, Algeria

**Toleba Seidou Mamam,**  
Universite d'Abomey-Calavi (UAC), Benin

**Serigne Modou Sarr,**  
Universite Alioune DIOP de Bambey, Senegal

**Nina Stankous,**  
National University, USA

**Lovergine Saverio,**  
Tor Vergata University of Rome, Italy

**Fekadu Yehualashet Maru,**  
Jijjiga University, Ethiopia

**Karima Laamiri,**  
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

**Elena Hunt,**  
Laurentian University, Canada

**Sharad K. Soni,**  
Jawaharlal Nehru University, India

**Lucrezia Maria de Cosmo,**  
University of Bari "Aldo Moro", Italy

**Florence Kagendo Muindi,**  
University of Nairobi, Kenya



**Maximo Rossi Malan,**  
Universidad de la Republica, Uruguay

**Haggag Mohamed Haggag,**  
South Valley University, Egypt

**Olugbamila Omotayo Ben,**  
Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria

**Eveligh Cecilia Prado-Carpio,**  
Technical University of Machala, Ecuador

**Maria Clideana Cabral Maia,**  
Brazilian Company of Agricultural Research - EMBRAPA, Brazil

**Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,**  
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

**Valeria Alejandra Santa,**  
Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina

**Stefan Cristian Gherghina,**  
Bucharest University of Economic Studies, Romania

**Goran Ilik,**  
"St. Kliment Ohridski" University, Republic of Macedonia

**Amir Mohammad Sohrabian,**  
International Information Technology University (IITU), Kazakhstan

**Aristide Yemmafou,**  
University of Dschang, Cameroon

**Gabriel Anibal Monzón,**  
University of Moron, Argentina

**Robert Cobb Jr,**  
North Carolina Agricultural and Technical State University, USA

**Arburim Iseni,**  
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

**Raoufou Pierre Radji,**  
University of Lome, Togo

**Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,**  
Universidad de Almeria, Spain

**Satoru Suzuki,**  
Panasonic Corporation, Japan

**Iulia-Cristina Muresan,**  
University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Romania

**Russell Kabir,**  
Anglia Ruskin University, UK

**Nasreen Khan,**  
SZABIST, Dubai

**Luisa Morales Maure,**  
University of Panama, Panama

**Lipeng Xin,**  
Xi'an Jiaotong University, China

**Harja Maria,**  
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

**Adou Paul Venance,**  
University Alassane Ouattara, Cote d'Ivoire

**Nkwenka Geoffroy,**  
Ecole Supérieure des Sciences et Techniques (ESSET), Cameroon

**Benie Aloh J. M. H.,**  
Felix Houphouët-Boigny University of Abidjan, Cote d'Ivoire

**Bertin Desire Soh Fotsing,**  
University of Dschang, Cameroon

**N'guessan Tenguel Sosthene,**  
Nangui Abrogoua University, Cote d'Ivoire

**Ackoundoun-Nguessan Kouame Sharll,**  
Ecole Normale Supérieure (ENS), Cote d'Ivoire

**Abdelfettah Maouni,**  
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

**Alina Stela Resceanu,**  
University of Craiova, Romania

**Alilouch Redouan,**  
Chouaib Doukkali University, Morocco

**Gnamien Konan Bah Modeste,**  
Jean Lorougnon Guede University, Cote d'Ivoire

**Sufi Amin,**  
International Islamic University, Islambad Pakistan

**Sanja Milosevic Govedarovic,**  
University of Belgrade, Serbia

**Elham Mohammadi,**  
Curtin University, Australia

**Andrianarizaka Marc Tiana,**  
University of Antananarivo, Madagascar

**Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,**  
Udayana University, Indonesia

**Yue Cao,**  
Southeast University, China

**Audrey Tolouian,**  
University of Texas, USA

**Asli Cazorla Milla,**  
Centro de Estudios Universitarios Madrid, Spain

**Valentin Marian Antohi,**  
University Dunarea de Jos of Galati, Romania

**Tabou Talahatou,**  
University of Abomey-Calavi, Benin

**N. K. B. Raju,**  
Sri Venkateswara Veterinary University, India

**Hamidreza Izadi,**  
Chabahar Maritime University, Iran

**Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,**  
Ain Shams University, Egypt

**Rachid Ismaili,**  
Hassan 1 University, Morocco

**Tamar Ghutidze,**  
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

**Emine Koca,**  
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

**David Perez Jorge,**  
University of La Laguna, Spain

**Irma Guga,**  
European University of Tirana, Albania

**Jesus Gerardo Martínez del Castillo,**  
University of Almeria, Spain

**Mohammed Mouradi,**  
Sultan Moulay Slimane University, Morocco

**Marco Tulio Ceron Lopez,**  
Institute of University Studies, Mexico

**Mangambu Mokoso Jean De Dieu,**  
University of Bukavu, Congo

**Hadi Sutopo,**  
Topazart, Indonesia

**Priyantha W. Mudalige,**  
University of Kelaniya, Sri Lanka

**Emmanouil N. Choustoulakis,**  
University of Peloponnese, Greece

**Yasangi Anuradha Iddagoda,**  
Chartered Institute of Personal Management, Sri Lanka

**Pinnawala Sangasumana,**  
University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

**Abdelali Kaaouachi,**  
Mohammed I University, Morocco

**Kahi Oulai Honore,**  
University of Bouake, Cote d'Ivoire

**Ma'moun Ahmad Habiballah,**  
Al Hussein Bin Talal University, Jordan

**Amaya Epelde Larranaga,**  
University of Granada, Spain

**Franca Daniele,**  
“G. d’Annunzio” University, Chieti-Pescara, Italy

**Saly Sambou,**  
Cheikh Anta Diop University, Senegal

**Daniela Di Berardino,**  
University of Chieti-Pescara, Italy

**Dorjana Klosi,**  
University of Vlore “Ismail Qemali, Albania

**Abu Hamja,**  
Aalborg University, Denmark

**Stankovska Gordana,**  
University of Tetova, Republic of Macedonia

**Kazimierz Albin Klosinski,**  
John Paul II Catholic University of Lublin, Poland

**Maria Leticia Bautista Diaz,**  
National Autonomous University, Mexico

**Bruno Augusto Sampaio Fuga,**  
North Parana University, Brazil

**Anouar Alami,**  
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

**Vincenzo Riso,**  
University of Ferrara, Italy

**Janhavi Nagwekar,**  
St. Michael’s Hospital, Canada

**Jose Grillo Evangelista,**  
Egas Moniz Higher Institute of Health Science, Portugal

**Xi Chen,**  
University of Kentucky, USA

**Fateh Mebarek-Oudina,**  
Skikda University, Algeria

**Nadia Mansour,**  
University of Sousse, Tunisia

**Jestoni Dulva Maniago,**  
Majmaah University, Saudi Arabia

**Daniel B. Hier,**  
Missouri University of Science and Technology, USA

**S. Sendil Velan,**  
Dr. M.G.R. Educational and Research Institute, India

**Enriko Ceko,**  
Wisdom University, Albania

**Laura Fischer,**  
National Autonomous University of Mexico, Mexico

**Mauro Berumen,**  
Caribbean University, Mexico

**Sara I. Abdelsalam,**  
The British University in Egypt, Egypt

**Maria Carlota,**  
Autonomous University of Queretaro, Mexico

**H.A. Nishantha Hettiarachchi,**  
University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

**Bhupendra Karki,**  
University of Louisville, Louisville, USA

**Evens Emmanuel,**  
University of Quisqueya, Haiti

**Iresha Madhavi Lakshman,**  
University of Colombo, Sri Lanka

**Francesco Scotognella,**  
Polytechnic University of Milan, Italy

**Kamal Niaz,**  
Cholistan University of Veterinary & Animal Sciences, Pakistan

**Rawaa Qasha,**  
University of Mosul, Iraq

**Amal Talib Al-Sa'ady,**  
Babylon University, Iraq

**Hani Nasser Abdelhamid,**  
Assiut University, Egypt

**Mihnea-Alexandru Gaman,**  
University of Medicine and Pharmacy, Romania

**Daniela-Maria Cretu,**  
Lucian Blaga University of Sibiu, Romania

**Ilenia Farina,**  
University of Naples "Parthenope, Italy

**Luisa Zanolla,**  
Azienda Ospedaliera Universitaria Verona, Italy

**Jonas Kwabla Fiadzawoo,**  
University for Development Studies (UDS), Ghana

**Adriana Burlea-Schiopoiu,**  
University of Craiova, Romania

**Alejandro Palafox-Munoz,**  
University of Quintana Roo, Mexico

**Fernando Espinoza Lopez,**  
Hofstra University, USA

**Ammar B. Altemimi,**  
University of Basrah, Iraq

**Monica Butnariu,**  
University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine "King Michael I, Romania

**Davide Calandra,**  
University of Turin, Italy

**Nicola Varrone,**  
University of Campania Luigi Vanvitelli, Italy

**Luis Angel Medina Juarez,**  
University of Sonora, Mexico

**Francesco D. d'Ovidio,**  
University of Bari "Aldo Moro", Italy

**Sameer Algburi,**  
Al-Kitab University, Iraq

**Braione Pietro,**  
University of Milano-Bicocca, Italy

**Mounia Bendari,**  
Mohammed VI University, Morocco

**Stamatios Papadakis,**  
University of Crete, Greece

**Aleksey Khlopytskyi,**  
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

**Sung-Kun Kim,**  
Northeastern State University, USA

**Nemanja Berber,**  
University of Novi Sad, Serbia

**Krejsa Martin,**  
Technical University of Ostrava, Czech Republic

**Magdalena Vaverkova,**  
Mendel University in Brno, Czech Republic

**Jeewaka Kumara,**  
University of Peradeniya, Sri Lanka

**Antonella Giacosa,**  
University of Torino, Italy

**Paola Clara Leotta,**  
University of Catania, Italy

**Francesco G. Patania,**  
University of Catania, Italy

**Rajko Odobasa,**  
University of Osijek, Faculty of Law, Croatia

**Jesusa Villanueva-Gutierrez,**  
University of Tabuk, Tabuk, KSA

**Leonardo Jose Mataruna-Dos-Santos,**  
Canadian University of Dubai, UAE

**Usama Konbr,**  
Tanta University, Egypt



**Branislav Radeljić,**  
Necmettin Erbakan University, Turkey

**Anita Mandarić Vukusić,**  
University of Split, Croatia

**Barbara Cappuzzo,**  
University of Palermo, Italy

**Roman Jimenez Vera,**  
Juarez Autonomous University of Tabasco, Mexico

**Lucia P. Romero Mariscal,**  
University of Almeria, Spain

**Pedro Antonio Martín-Cervantes,**  
University of Almeria, Spain

**Hasan Abd Ali Khudhair,**  
Southern Technical University, Iraq

**Qanqom Amira,**  
Ibn Zohr University, Morocco

**Farid Samir Benavides Vanegas,**  
Catholic University of Colombia, Colombia

**Nedret Kuran Burcoglu,**  
Emeritus of Bogazici University, Turkey

**Julio Costa Pinto,**  
University of Santiago de Compostela, Spain

**Satish Kumar,**  
Dire Dawa University, Ethiopia

**Favio Farinella,**  
National University of Mar del Plata, Argentina

**Jorge Tenorio Fernando,**  
Paula Souza State Center for Technological Education - FATEC, Brazil

**Salwa Alinat,**  
Open University, Israel

**Hamzo Khan Tagar,**  
College Education Department Government of Sindh, Pakistan

**Rasool Bukhsh Mirjat,**  
Senior Civil Judge, Islamabad, Pakistan

**Samantha Goncalves Mancini Ramos,**  
Londrina State University, Brazil

**Mykola Nesprava,**  
Dnoproptrovsk State University of Internal Affairs, Ukraine

**Awwad Othman Abdelaziz Ahmed,**  
Taif University, Kingdom of Saudi Arabia

**Giacomo Buoncompagni,**  
University of Florence, Italy

**Elza Nikoleishvili,**  
University of Georgia, Georgia

**Mohammed Mahmood Mohammed,**  
University of Baghdad, Iraq

**Oudgou Mohamed,**  
University Sultan Moulay Slimane, Morocco

**Arlinda Ymeraj,**  
European University of Tirana, Albania

**Luisa Maria Arvide Cambra,**  
University of Almeria, Spain

**Charahabil Mohamed Mahamoud,**  
University Assane Seck of Ziguinchor, Senegal

**Ehsaneh Nejad Mohammad Nameghi,**  
Islamic Azad University, Iran  
**Mohamed Elsayed Elnaggar,**  
The National Egyptian E-Learning University , Egypt

**Said Kammas,**  
Business & Management High School, Tangier, Morocco

**Harouna Issa Amadou,**  
Abdou Moumouni University of Niger

**Achille Magloire Ngah,**  
Yaounde University II, Cameroun

**Gnagne Agness Essoh Jean Eudes Yves,**  
Universite Nangui Abrogoua, Cote d'Ivoire

**Badoussi Marius Eric,**  
Université Nationale des sciences, Technologies,  
Ingénierie et Mathématiques (UNSTIM) , Benin

**Carlos Alberto Batista Dos Santos,**  
Universidade Do Estado Da Bahia, Brazil

**Oumar Bah,**  
Sup' Management, Mali

**Angelica Selene Sterling Zozoaga,**  
Universidad del Caribe, Mexico

**Josephine W. Gitome,**  
Kenyatta University, Kenya

**Keumean Keiba Noel,**  
Felix Houphouet Boigny University Abidjan, Ivory Coast

**Tape Bi Sehi Antoine,**  
University Peleforo Gon Coulibaly, Ivory Coast

**Atsé Calvin Yapi,**  
Université Alassane Ouattara, Côte d'Ivoire

**Desara Dushi,**  
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

**Mary Ann Hollingsworth,**  
University of West Alabama, Liberty University, USA

**Aziz Dieng,**  
University of Portsmouth, UK

**Ruth Magdalena Gallegos Torres,**  
Universidad Autonoma de Queretaro, Mexico

**Atanga Essama Michel Barnabé,**  
Université de Bertoua, Cameroun

**Alami Hasnaa,**  
Universite Chouaid Doukkali, Maroc

**Emmanuel Acquah-Sam,**  
Wisconsin International University College, Ghana

**Fabio Pizzutilo,**  
University of Bari "Aldo Moro", Italy

**Hicham Chairi,**  
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

**Noureddine El Aouad,**  
University Abdelmalek Essaady, Morocco

**Samir Diouny,**  
Hassan II University, Casablanca, Morocco

**Gibet Tani Hicham,**  
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

**Anoua Adou Serge Judicael,**  
Université Alassane Ouattara, Côte d'Ivoire

**Abderrahim Ayad,**  
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

**Sara Teidj,**  
Moulay Ismail University Meknes, Morocco

**Gbadamassi Fousséni,**  
Université de Parakou, Benin

**Bouyahya Adil,**  
Centre Régional des Métiers d'Education et de Formation, Maroc

**Haounati Redouane,**  
Ibn Zohr Agadir, Morocco

**Hicham Es-soufi,**  
Moulay Ismail University, Morocco

**Imad Ait Lhassan,**  
Abdelmalek Essaâdi University, Morocco

**Givi Makalatia,**  
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

**Adil Brouri,**  
Moulay Ismail University, Morocco

**Noureddine El Baraka,**  
Ibn Zohr University, Morocco

**Ahmed Aberqi,**  
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

**Oussama Mahboub,**  
Queens University, Kingston, Canada

**Markela Muca,**  
University of Tirana, Albania

**Tessougue Moussa Dit Martin,**  
Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Mali

**Kledi Xhaxhiu,**  
University of Tirana, Albania

**Saleem Iqbal,**  
University of Balochistan Quetta, Pakistan

**Dritan Topi,**  
University of Tirana, Albania

**Dakouri Guissa Desmos Francis,**  
Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire

**Adil Youssef Sayeh,**  
Chouaib Doukkali University, Morocco

**Zineb Tribak,**  
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

**Ngwengeh Brendaline Beloke,**  
University of Biea, Cameroon

**El Agy Fatima,**  
Sidi Mohamed Ben Abdelah University, Morocco

**Julian Kraja,**  
University of Shkodra "Luigj Gurakuqi", Albania

**Nato Durglishvili,**  
University of Georgia, Georgia

**Abdelkrim Salim,**  
Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

**Omar Kchit,**  
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

**Isaac Ogundu,**  
Ignatius Ajuru University of Education, Nigeria

**Giuseppe Lanza,**  
University of Catania, Italy

**Monssif Najim,**  
Ibn Zohr University, Morocco

**Luan Bekteshi,**  
“Barleti” University, Albania

**Malika Belkacemi,**  
Djillali Liabes, University of Sidi Bel Abbes, Algeria

**Oudani Hassan,**  
University Ibn Zohr Agadir, Morocco

**Merita Rumano,**  
University of Tirana, Albania

**Mohamed Chiban,**  
Ibn Zohr University, Morocco

**Tal Pavel,**  
The Institute for Cyber Policy Studies, Israel

**Jawad Laadraoui,**  
University Cadi Ayyad of Marrakech, Morocco

**El Mourabit Youssef,**  
Ibn Zohr University, Morocco

**Mancer Daya,**  
University of Science and Technology Houari Boumediene, Algeria

**Krzysztof Nesterowicz,**  
Ludovika-University of Public Service, Hungary

**Laamrani El Idrissi Safae,**  
Ibn Tofail University, Morocco

**Suphi Ural,**  
Cukurova University, Turkey

**Emrah Eray Akca,**  
Istanbul Aydin University, Turkey

**Selcuk Poyraz,**  
Adiyaman University, Turkey

**Ocak Gurbuz,**  
University of Afyon Kocatepe, Turkey

**Umut Sener,**  
Aksaray University, Turkey

**Mateen Abbas,**  
Capital University of Science and Technology, Pakistan

**Muhammed Bilgehan Aytac,**  
Aksaray University, Turkey

**Sohail Nadeem,**  
Quaid-i-Azam University Islamabad, Pakistan

**Salman Akhtar,**  
Quaid-i-Azam University Islamabad, Pakistan

**Afzal Shah,**  
Quaid-i-Azam University Islamabad, Pakistan

**Muhammad Tayyab Naseer,**  
Quaid-i-Azam University Islamabad, Pakistan

**Asif Sajjad,**  
Quaid-i-Azam University Islamabad, Pakistan

**Atif Ali,**  
COMSATS University Islamabad, Pakistan

**Shahzda Adnan,**  
Pakistan Meteorological Department, Pakistan

**Waqar Ahmed,**  
Johns Hopkins University, USA

**Faizan ur Rehman Qaiser,**  
COMSATS University Islamabad, Pakistan

**Choua Ouchemi,**  
Université de N'Djaména, Tchad

**Syed Tallataf Hussain Shah,**  
COMSATS University Islamabad, Pakistan

**Saeed Ahmed,**  
University of Management and Technology, Pakistan

**Hafiz Muhammad Arshad,**  
COMSATS University Islamabad, Pakistan

**Johana Hajdini,**  
University "G. d'Annunzio" of Chieti-Pescara, Italy

**Mujeeb Ur Rehman,**  
York St John University, UK

**Noshaba Zulfiqar,**  
University of Wah, Pakistan

**Muhammad Imran Shah,**  
Government College University Faisalabad, Pakistan

**Niaz Bahadur Khan,**  
National University of Sciences and Technology, Islamabad, Pakistan

**Titilayo Olotu,**  
Kent State University, Ohio, USA

**Kouakou Paul-Alfred Kouakou,**  
Université Peleforo Gon Coulibaly, Côte d'Ivoire

**Sajjad Ali,**  
Karakoram International University, Pakistan

**Hiqmet Kamberaj,**  
International Balkan University, Macedonia

**Sanna Ullah,**  
University of Central Punjab Lahore, Pakistan

**Khawaja Fahad Iqbal,**  
National University of Sciences and Technology (NUST), Pakistan

**Heba Mostafa Mohamed,**  
Beni Suef University, Egypt

**Abdul Basit,**  
Zhejiang University, China

**Karim Iddouch,**  
International University of Casablanca, Morocco



**Jay Jesus Molino,**  
Universidad Especializada de las Américas (UDELAS), Panama

**Imtiaz-ud-Din,**  
Quaid-e-Azam University Islamabad, Pakistan

**Dolantina Hyka,**  
Mediterranean University of Albania

**Yaya Dosso,**  
Alassane Ouattara University, Ivory Coast

**Essedaoui Aafaf,**  
Regional Center for Education and Training Professions, Morocco

**Silue Pagadjovongo Adama,**  
Peleforo GON COULIBALY University, Cote d'Ivoire

**Soumaya Outellou,**  
Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Morocco

**Rafael Antonio Estevez Ramos,**  
Universidad Autónoma del Estado de México

**Mohamed El Mehdi Saidi,**  
Cadi Ayyad University, Morocco

**Ouattara Amidou,**  
University of San Pedro, Côte d'Ivoire

**Murry Siyasiya,**  
Blantyre International University, Malawi

**Benbrahim Mohamed,**  
Centre Regional des Métiers de l'Education et de la Formation d'Inezgane (CRMEF),  
Morocco

**Emmanuel Gitonga Gicharu,**  
Mount Kenya University, Kenya

**Er-razine Soufiane,**  
Regional Centre for Education and Training Professions, Morocco

**Foldi Kata,**  
University of Debrecen, Hungary

**Elda Xhumari,**  
University of Tirana, Albania

**Daniel Paredes Zempual,**  
Universidad Estatal de Sonora, Mexico

**Jean Francois Regis Sindayihebura,**  
University of Burundi, Burundi

**Luis Enrique Acosta Gonzzlez,**  
University of Holguin, Cuba

**Odoziobodo Severus Ifeanyi,**  
Enugu State University of Science and Technology, Enugu, Nigeria

**Maria Elena Jaime de Pablos,**  
University of Almeria, Spain

**Soro Kolotcholoma Issouf**  
Peleforo Gon Coulibaly University, Cote d'Ivoire

**Compaore Inoussa**  
Université Nazi BONI, Burkina Faso

**Dorothee Fegbawe Badanaro**  
University of Lome, Togo

# Table of Contents:

**Highlighting Water Stress in Apple Seedlings Using HSI Texture with Machine Learning Technique.....1**

*Yanying An*

*Ran Wang*

**Análisis Comparativo del Posicionamiento Preciso Utilizando el Receptor de Bajo Costo GNSS ZED-F9P en Conjunto con la Antena BEIBT300 y Diferentes Modelos de Antena de Orden Geodésico.....36**

*Lizbeth G. Santiago-Sánchez*

*Rosendo Romero-Andrade*

*Manuel E. Trejo-Soto*

*Daniel Hernández-Andrade*

*Yedid G. Zambrano-Medina*

*Norberto Alcántar-Elizondo*

*Naciel Bojorquez-Pacheco*

*Rafaela M. Llanes-Hernández*

*Aníbal I. Arana-Medina*

*José M. Briseño-Morán*

*Richard Serrano-Agila*

**Les Eaux Stagnantes Constituent Une des Occasions d'Exposition au Plomb et aux Coliformes à Kinshasa, République Démocratique du Congo.....56**

*Kalum Muray*

**Complications des Contraceptifs Réversibles à Longue Durée d'Action: A Propos de 21 Cas Colligés au Service de Gynécologie-Obstétrique du CHU Kara, Nord du Togo.....75**

*Kossi Edem Logbo-Akey*

*Tina Kétévi*

*Akila Bassowa*

*Kignomon Bingo M'Bortché*

*Yendoubé Pierre Kambote*

*Kofi Mawoulé Amewouho*

*Cissé Alassani*

*Noè Kibandou Patidi*

*Dede Regina Ajavon*

*Abdoul Samadou Aboubakari*

*Koffi Akpdza*

**Effets de *Faidherbia albida* (Delile) sur des Paramètres de Croissance et de Rendement du Mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) en Milieu Paysan dans la Commune de Tibiri (Niger).....86**

*Younoussou Rabo*

*Issoufou Balla Mahaman Sadikou*

*Ali Mahamane*

**Enhancing Hygiene and Technical Properties of Ceramic Tiles through Moroccan Phosphate Additives.....104**

*Fatima Zahra Boutaleb*

*Nadia Boutaleb*

*Bouchaib Bahlaouan*

*Meryem Hadidi*

*Ghita Radi Benjelloun*

*Fatima Azzahra Louanjli*

*Fatima Ezzahra Doublali*

*Said El Antri*

**Étiologies des Etats d'Agitation Reçus aux Urgences d'un Hôpital de Référence au Bénin.....120**

*Ireti Nethania Elie Ataigba*

*David Sinet Koivogui*

*Perside Sènam N'Sia*

*Djibrilla Moussa*

*Mêmêgnon Awohouedji*

*Francis Tognon Tchegnonsi*

**Harmonizing Aesthetics and Psychological Well-being: An Indepth Exploration of the Integrative Impact of Dysport in Cosmetic Procedures.....131**

*Mehrasa Nikandish*

*Mohammad Nikandish*

*Hedayatpour Behnoud*

**Temporal Variability of Rainfall and Trend Analysis of Melloulou  
Watershed in Morocco.....139**

*Bertal Yassine*

*Ben Brahim Youssef*

**Assessing the Relationship between Short Birth-to-Pregnancy Interval  
and the Maternal and Perinatal Outcomes among Multiparous Women  
in Northern Ghana.....153**

*Gilbert G. Agulu*

*Emmanuel K. Dzotsi*

*Kofi Issah*

*Josephat A. Nyuzaghl*

*Alemna D. Adogboba*

*Vincent A. Adongo*

**Caractérisation de la Dynamique des Peuplements Ligneux du Centre  
Nationale de Recherches Agronomiques de Bambey  
(Diourbel/Sénégal).....177**

*Issa Diakite*

*Pape Ibrahima Djighaly*

*Amsatou Thiam*

*Dioumacor Fall*

*Nathalie Diagne*

**Vermicomposting of Sludge from the Camp SIC Cité-Verte Wastewater Treatment Plant (Yaounde-Cameroon).....200**

*Ngahane Emilienne Laure*

*Tambe Roosevelt Mbappe*

*Tchiofo Lontsi Rodine*

*Sagne Moumbe Joel*

**Evaluation de l'Alimentation Séquentielle à Base d'une Ration Contenant des Feuilles de Manioc Post -Récolte (Manihot esculenta) sur les Performances Zootechniques des Poulets de Chair Standard en Finition.....218**

*J.R. Guembo*

*P.P. Adzona*

*V.M. Ntsoumou*

*P.E. Pepah*

*J.B. Bati*

*B.H. Mantsanga*

*A.J. Saboukoulou*

*H. Banga-Mboko*

**Cholécystectomie par Célioscopie de Lithiases Biliaires Symptomatiques  
chez une Jeune Femme de 34 Ans et Revue de la Littérature (Un Cas  
Clinique).....253**

*Oumarou Youssouf*

*Mamadou Sarifou Diallo*

*Riadh Mustapha*

*Chokri Mazlout*

*Mourad Hjaiej*

*Daniel Sylvere Ouimon*

*Clotaire Donatien Raphaï*

**Etude Analgésique des Extraits Hydroéthanoliques de *Clerodendrum  
splendens* G. Don (Lamiaceae) et *Nephrolepis bisserata* (Sw.) Schott  
(Nephrolepidaceae) : Deux Plantes de la Pharmacopée Ivoirienne.....244**

*Sylvie Noëlle Tidou*

*Landry Sylvain Kouakou*

*Gisèle Siransy Kouakou*

*Guédé Noëlle Zirihi*



## Highlighting Water Stress in Apple Seedlings Using HSI Texture with Machine Learning Technique

*Yanying An*

School of Information Technology, Murdoch University, Australia  
Qingdao Agricultural University, China

*Ran Wang*

Qingdao Agricultural University, China

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p1](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p1)

Submitted: 01 January 2024

Accepted: 15 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

An Y. & Wang R. (2024). *Highlighting Water Stress in Apple Seedlings Using HSI Texture with Machine Learning Technique*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p1>

### Abstract

Apples are known for their nutrition and economic value. Accurate and rapid diagnosis of water status in apple seedlings on an individual rootstock basis is a prerequisite for precision water management. This study presents a rapid and non-destructive approach for estimating water content in apple seedlings at leaf levels. A PIKA L system collects hyperspectral images (400-1000nm) of apple leaves. Our research extracts spatial information, gray-level co-occurrence matrix (GLCM), from feature wavelength images of hypercubes. Machine learning methods are applied to these spatial feature matrixs to identify apple leaves under different water stresses. In addition, differences in spectral responses were analysed using machine learning techniques for sorting apple seedlings with varying water treatments (dry, normal, and overwatering). Also, we measure chlorophyll to determine the relationship between hyperspectral characteristics and physiological changes. The achievements of the research indicate that the fusion of texture and hyperspectral imaging coupled with machine learning techniques is promising and presents a powerful potential to determine the water stress in the leaves of apple seedlings.

**Keywords:** Hyperspectral imaging; machine learning; plant water stress; plant leaf; plant physiology

## 1. Introduction

Apple (*Malus domestica Borkh*) is one of the world's most widely planted and nutritionally significant fruit crops (Duan et al., 2017). Apples are rich in nutrients vital for good health and disease prevention, making them a valuable choice each day for enhancing the quality of our diet. With increased income and public awareness of balanced nutrition, Global apple consumption is increasing annually (Li et al., 2013). Apple seedlings are tiny and propagated tree stems grafted onto a hardy rootstock (Loucks, 2021). They are hugely profitable. In 2021, according to Willis Orchard Co. (2021), ten seedling trees at the height of 1-2 feet made a profit of \$34.95, whereas ten seedling trees at the height of 2-3 feet earned \$59.95.

Water management is vital for apple orchards (Lim and Nam, 2007). As a result of drought and increasing competition for water, orchardists need to adopt efficient water management strategies (PIRSA, 2006). Newly planted apple trees require weekly watering. Ideal apple tree irrigation involves deep root soaking (Ellis, 2021). The key is to let the water flow into the soil slowly to allow for deep watering until it is established (The Home Depot, 2021). A plant induces leaf senescence prematurely if water shortage exceeds a critical level (Lim and Nam, 2007). This process is characterised by loss of chlorophyll and leaf yellowing (Yamaguchi et al., 2010). If wilting leaves are observable, irreversible damage to plants and yield occurs (Behmann et al., 2014). On the other hand, creating standing water and soggy roots can be as damaging as drought conditions for the apple seedlings. Too much water depletes oxygen from the soil, prevents the roots from absorbing necessary minerals, and makes a tree susceptible to rotting and infections (Ellis, 2021). The symptoms of overwatering also include wilting, yellowing of leaves, root rot and stunted growth (Canna, 2023). Our research focuses on detecting early drought and overwatering stresses, which are not yet visible to the naked eye. Detecting early symptoms of water stress and distinguishing it from normal variations timely requires further attention.

Water stress can be detected using various methods. Water stress is one of the crucial environmental factors inhibiting photosynthesis (Bradford and Hsiao, 1982). Studies have shown that decreased photosynthesis under water stress can be linked to the perturbations of the biochemical process (Graan and Boyer, 1990; Lauer and Boyer, 1992). In particular, PSII is sensitive to water stress (He et al., 1995). Lu and Zhang (1999) studied the effect of water stress on PSII photochemistry and thermostability of PSII in wheat plants by measurement of chlorophyll fluorescence. However, chlorophyll fluorescence is destructive and damages the leaf as well. Pressure chambers, measuring plant water potential, are widely used in irrigation management (Waring and Cleary, 1967). They are not well suited to measurements of small plants such as grasses because a petiole must extend through the seal of the pressure chamber. In addition, plants with tender tissues

(e.g., new tillers on grasses) are easily damaged by the seal and cannot be used (Zhang et al., 2022).

Chlorophyll in plant leaves is crucial in plant metabolism and growth. Chlorophyll in apple leaves is essential in photosynthesis (Wang et al., 2016). It constitutes a major component of plant leaves and is a useful indicator of the overall health condition of the plant. Determining chlorophyll content in plant leaves can be used to investigate plant physiological and nutritional status and consequently has important implications for plant stress detection (Jin et al., 2020). Generally, as plant stress levels increase, chlorophyll content tends to decrease (Schuerger et al., 2003). Traditional approaches for quantifying chlorophyll content mainly include acetone ethanol extraction, spectrophotometry and high-performance liquid chromatography (Zhang et al., 2022). Such destructive methods based on laboratory procedures are time-consuming and expensive (Gholizadeh et al., 2017). Several spectral indices have been identified using spectroscopy and a portable chlorophyll meter, which can predict chlorophyll content in plant tissues *in vivo* (Jespersen et al., 2016). However, manually operated portable chlorophyll meters are relatively biased, and spectroscopy techniques cannot measure the spatial distribution of chlorophyll in plant leaves (Gupta et al., 2013). These two methods are too labour-intensive to meet the needs of large-scale screening programs.

Hyperspectral imaging (HSI) is now emerging as a potential tool for rapid, non-destructive, and automated assessment of plant status (Kim et al., 2015). Hyperspectral imaging integrates spectroscopic methods and imaging technology (Williams and Norris, 2001). In the pertinent hyperspectral image, each pixel contains a complete spectrum. No physicochemical analyses are needed, making it ideal for agri-food (Ayala, 2018). Using hyperspectral technology can identify stress symptoms before a human observer does so, which has obvious benefits (Lowe et al., 2017).

Current HSI in small-scale plant research focuses on chlorophyll and other plant-related endogenous pigments in the visible spectral range (400-800nm) (Bauriegel and Herppich, 2014). Chlorophyll could be contrasted with predictions obtained from HSI spectral reflectance (Feng et al., 2019). Based on the characteristics of chlorophyll reflection and absorption of specific wavelength spectra, chlorophyll spectroscopy diagnosis of many plants has been carried out. Wen et al. (2019) visualised chlorophyll content distribution in apple leaves using hyperspectral imaging technology. Sun et al. (2018) took 382-1019nm bands of hyperspectral imaging data as the research band using the Random Frog Leaping algorithm and partial least squares method, selected the sensitive bands and constructed an estimation model of chlorophyll content in potato leaves. Ding et al. (2015) used hyperspectral imaging technology to predict the chlorophyll content of rape leaves, and the correlation coefficient reached 0.834.

Artificial intelligence technologies are used extensively in image processing and many other fields (Ozdemir and Polat, 2020). As a result, classification studies are carried out on hyperspectral images with machine learning methods. Deep Learning, a specialised form of the artificial neural network, is highly preferred due to its unique structure, especially for classifying hyperspectral images containing complex information. In Yin et al's research (2017), four geographical origins of Chinese wolfberries were studied using the HSI technique. The mean spectra of the wolfberry samples were analysed to build a support vector machine (SVM), neural network with radial basis function (NN-RBF) and extreme learning machine (ELM) models. Zhu et al. (2029) identified the freshness of spinach leaves stored at different temperatures using HSI, where Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA), support vector machine (SVM), and extreme learning machine (ELM) were used to build models based on full spectra and effective wavelengths. Yamashita et al. (2020) employed five machine learning algorithms, Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Cubist, Stochastic Gradient Boosting (SGB), and Kernel-based Extreme Learning Machine (KELM) in the dissection of hyperspectral reflectance to estimate nitrogen and chlorophyll contents in tea leaves. Feng et al. (2019) predicted the chlorophyll contents of crops under salinity stress by combining hyperspectral data with Partial Least Square Regression (PLSR). A high predictive accuracy of SPAD was acquired in this study, as shown by the R-value of 0.838.

Many deep learning-based algorithms focus on deep feature extraction for classification improvement (Li et al., 2018). Features extracted from images are used for image matching and retrieving (Afifi and Ashour, 2012). The texture is one of the essential characteristics of hyperspectral images. Image texture analysis, an important area of research in image processing, aims to provide information about the spatial arrangement of colour or intensities in an image (Xu and Gowen, 2019). The texture information in the hyperspectral image is vital for automatic image processing. The texture pattern of different tissues and plants under differing water treatments contains various intensity patterns, which can be exploited for image classification (Bhagat et al., 2019). Besides, much research has demonstrated that adding textural features to characteristic spectral features could further enhance the performance and accuracy of the model (Jiang et al., 2019; Cheng et al., 2016; Liu et al., 2014). Through band grouping, sample band selection and guided filtering, the texture features of hyperspectral data are improved (Li et al., 2018). Li et al. (2018) proposed a novel hyperspectral classification framework based on optimal Deep Belief Networks (DBNs) and a novel texture feature enhancement (TFE). After TFE, the optimal DBN is employed on the hyperspectral reconstructed data for feature selection and classification.

The texture feature extraction methods include many approaches, for example, the Gray level co-occurrence matrix (GLCM). In Lu et al. (2018)'s research using hyperspectral imaging to discriminate yellow leaf curl disease in tomato leaves, 24 texture features were extracted using a gray-level co-occurrence matrix (GLCM). AlSuwaidi et al. (2017) applied hyperspectral imaging on control, stressed Arabidopsis plant leaves, and employed Markov random field model (MRF) to facilitate spectral-texture analysis and enhance prediction performance. Zhang et al. (2022) classified flue-cured tobacco based on the fusion of hyperspectral and texture features; texture features were extracted using GLCM, whereas machine learning techniques KNN, RF, SVM and Naive Bayes Classifier (NB) were employed. GWO-ELM was used in hyperspectral estimation of SPAD value of cotton leaves under Verticillium Wilt stress (Yuan et al., 2023). The smooth and stable sigmoid function, which was easy to derive, was selected as the activation function of ELM, and the multiple trial-and-error method was applied to determine the number of nodes in the hidden layers, the size of the gray wolf population and the maximum number of iterations. Ni et al. (2020) used online sorting of the film on cotton based on GWO-ELM. However, all those research focused on the texture feature of RGB images of hyperspectral imaging cube, our research makes a renovation by combing texture feature of images of main spectra with the spectral features.

Our research aims to combine texture and color analysis of hyperspectral imaging with machine learning to identify apple seedling leaves under different water treatments (normalisation, overwatering, drought). The objectives are: (1) investigating and comparing apple leaves' hyperspectral characteristics in fusion with textural and color features under different water treatments using machine learning methods. (2) validating the classification result using chlorophyll content. A spectral-texture analysis framework is proposed for classifying hyperspectral images of apple seedling leaves of different water conditions. Advanced machine learning techniques are used to identify distinctive features in the spectral domain of hyperspectral images. In addition, texture properties are explored in the characteristic wavelength images. The framework integrates these two levels of properties at both feature extraction and classifying decision stages. The main crux of the work lies in the use of significant spectral and texture features and a decision fusion mechanism to enhance the image properties, thus improving classification accuracy.

## **2. Material and Methods**

### **2.1 Material**

M9T337 apple seedlings with around 20 leaves per plant were grown in the National Agricultural and forestry science and Technology incubator

seedling base in Zhucheng, China. Apple seedlings of similar growth were chosen. The height of the rootstock was around 15cm. Apple seedlings were transported to greenhouses at Qingdao Agricultural University. Two weeks after transplanting, all apple seedlings were treated with the complete nutrient solution and supplied with all the essential nutrients. The nutrient solution was provided to each plant using a trickle nozzle.

The temperature of the greenhouse was around 23°C. The humidity of the greenhouse was 95%. Each pot contained one seedling. The substrate was composed of peat and vermiculite (1:1). The experiment occurred between September and November 2021.

## 2.2 Experiment design

There were three treatment groups, excessive water treatment group, drought group, and control group-normal watering group. For each treatment, 30 apple seedlings were used for hyperspectral imaging collection, and 30 apple seedlings were used for physiological index collection. Hence, there were 180 seedlings used in total. A pre-experiment was conducted to conclude that the daily amount of water a pot of apple seedlings needs was 30mL. The night before the experiment, the three treatments apple seedlings were watered thoroughly. Once the apple seedlings of the drought group were watered, no further watering was required during the experiment. The excessive water treatment group maintained water at a depth of 1.5cm (90mL per day) and the water was uniformly replenished at 6 pm. In addition, 30mL of water was added to apple seedlings in the regular watering group every day at 6 pm. The quantity of water used for each level of treatment (normalisation, overwatering, drought) is listed in Table 1.

**Table 1.** Quantity of water used for each level of treatment

Stress level	Quantity of water needed
normalisation	30mL per day
overwatering	90mL per day
drought	0

One leaf in the middle of each plant was employed for hyperspectral data collection. The acquisition occurred every other day after water treatment before apparent symptoms such as wilting and yellowing appeared on apple leaves (day 25). On day 0, the starting point of water treatment, only 30 hyperspectral images were collected (10 for each treatment) due to the similar conditions for all apple seedlings. From then on, 30 images were collected for each treatment. The information and sample collection period ranged from 9:00 am to 11:00 am. Table 2 shows the number of images collected.

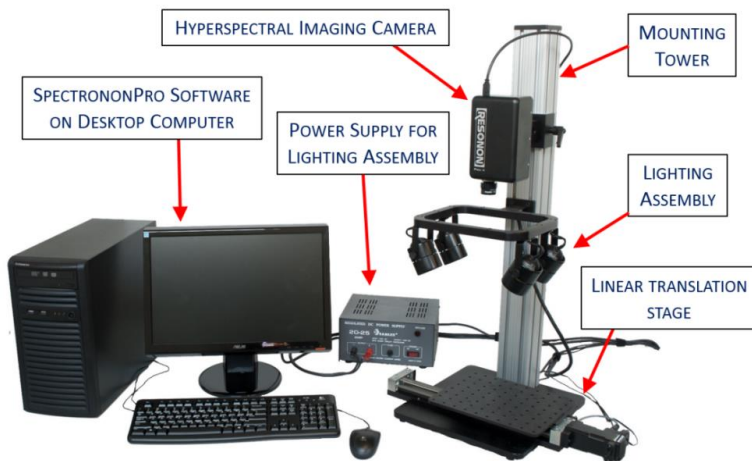


**Table 2.** Number of images collected

Date	18 Sep	19 Sep	21Sep	23 Sep	25 Sep	27 Sep	29 Sep
No. of images	30	90	90	90	90	90	90

The physiological index group used a random block design, and 30 seedlings constituted a small plot. Samples were measured on September 18 (day 0), September 19 (day 1), till Sep 29 (day 11), respectively. The SPAD of leaves four and seven from the bottom of the apple seedlings were measured using a chlorophyll meter and taken as an average for each pear seedling.

### 2.3 System Configuration (Imaging System-Hardware)



**Figure 1.** Benchtop HSI system (Resonon Inc., 2019)

Resonon SpectrononPro 5.3 was used in our research (figure 1). It comprised a hyperspectral imaging camera, linear translation stage, mounting tower, lighting assembly, and software control system (Resonon, 2019). The imager and lighting assembly positions were adjusted along the tower's length. Resonon's hyperspectral images are line-scan imagers; two-dimensional images were constructed by translating the sample relative to the camera. A total of 8 Halogen lamps were used.

A Windows® XP operating system with 512MB memory was used. It had a 2.0GHz Pentium 4 compatible processor and 64MB AGP graphics. In addition, a 32-bit standard PCI slot, FireWire 800 port, and OHCI standard IEEE 1394B host controller were used.

## 2.4 Image Correction

**Table 3.** Parameter setting

Camera Settings	
Framerate	30 fps
Integration time	12.904ms
Gain	1.0000dB
Update	
High cut percentage	98%
Stage	
Swath	13.1cm
Scanning speed	0.6993cm/s
Step size	0.0333333333cm
Homing speed	4.000cm/s
Jogging speed	0.07938cm/s

The system collected hyperspectral images in a wavelength range of 400-1000 nm with a spectral resolution of 2.1 nm. Leaves were fixed on black cardboard with negligible reflectance and placed on the mobile platform. During image acquisition, the mobile platform for line scanning had an optimised velocity of 0.6993 cm/s, and the camera integration time was 12.904 ms (Table 3). A corrected hyperspectral image was calculated using the following equation:

$$R = (image - dark) / (white - dark)$$

Where: R was the relative reflectance image of the sample, *image* was the raw image of the sample, *white* was the white reference image acquired from a uniform, stable, and high reflectance ceramic tile (reflectance), and *dark* was the current dark image acquired by completely covering the camera lens with its non-reflective opaque black cap.

## 2.5 Software

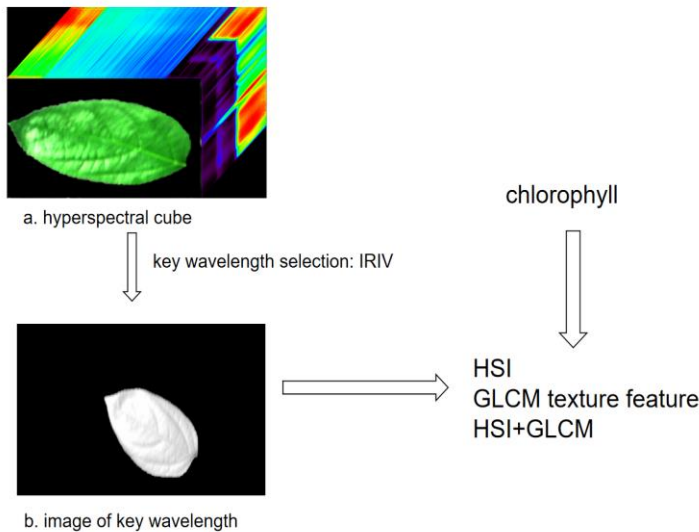
Image acquisition was controlled by imaging data acquisition software (SpectronPro, Resonon Inc., USA). Image correction was done using software ENVI 5.3 (The Environment for Visualizing Images, ITT Visual Information Solutions Corp., USA) and analysed using Matlab R2010a (The Mathworks, Inc., Natick, MA, USA).

## 2.6 Data preprocessing

Figure 2 demonstrates the workflow of this research. According to Figure 4, the detailed data analysis processes are: The IRIV method was applied to extract spectral fingerprint features. Next, neural networks ELM, and its variations, GWO-ELM, SSA-ELM, were used to evaluate the water stress using the spectral fingerprint features. Then, these three neural networks



were employed in the HSI, GLCM feature analysis, in addition to characteristic wavelengths fused with texture feature analysis. Also, the chlorophyll measurement was taken to corroborate the result.



**Figure 2.** Data processing workflow

In the IRIV selection, Root mean square error of prediction (RMSEP) = 3.8785, RMSEF = 0.5875. 15 bands were selected to represent the 300 bands of hypercubes. These are band185 (766.39nm), band213 (827.34nm), band222 (847.06nm), band223 (849.21nm), band230 (864.65nm), band234 (873.46nm), band246 (899.97nm), band249 (906.61nm), band257 (924.37nm), band259 (928.82nm), band262 (935.49nm), band276 (966.75nm), band278 (971.22nm), band289 (995.91nm) and band290 (998.16nm).

### 3. Texture analysis for identifying leaf water stress

Due to significant leaf variations in surface textures, texture analysis was conducted to identify the leaf water stress. Texture analysis characterises regions in an image by their texture content in terms of smoothness, roughness, silkiness, or bumpiness in the context of an image. These characteristics refer to brightness values or grey level variations in this case. The most commonly used texture measures are derived from the grey-level co-occurrence matrix (GLCM).

The grey-level co-occurrence matrix approach (GLCM) considers the pairs of pixels in certain spatial relations to each other. Co-occurrence matrices are used. They relate the relative frequencies  $P(i,j|d\theta)$  that two pixels at a constant vector distance  $(d,\theta)$  from each other have intensity  $(i,j)$ : in the GLCM  $P(i,j|d\theta)$ , the  $(i,j)$  th entry of the matrix, represents the number of

occurrences of a pixel having the intensity value  $i$  that is separated from another pixel with intensity value  $j$  at a distance  $d$  in the direction  $\theta$ . Two forms of co-occurrence matrix exist. In the first case, the matrix is symmetric, where pairs separated by  $d$  and  $-d$  (for a direction  $\theta$ ) are counted (Haralick et al., 1973). In the second case, the matrix is not symmetric, and only pairs separated by a distance of  $d$  are counted (Connors and Harlow, 1980). This leads to a square matrix with a dimension equal to the number of intensity levels in the image for each distance  $d$  and orientation  $\theta$ . If pixel pairs in the picture are highly correlated, the entries in the GLCM are gathered along the diagonal of the matrix. There are five features used in our study:

1. **energy**: it provides information on image homogeneity; it has low values when the probabilities of the grey-level pairs are similar and high values otherwise. It is computed as  $\sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} P(i, j|d, \theta)^2$

2. **entropy**: it measures the disorder of the GLCM. It is computed as  $-\sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} P(i, j|d, \theta) \log_2(P(i, j|d, \theta))$

3. **correlation**: it measures the grey-level linear dependence between pixels (relative to each other) at the specified positions; it has high values when the values are uniformly distributed in the GLCM and low values otherwise.

4. **local homogeneity (also called inverse difference moment)**: it is high when the same pairs of pixels are found (e.g., in the case of a spatial periodicity). It is computed as  $\sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} \frac{P(i, j|d, \theta)}{1+(i-j)^2}$

5. **inertia (also called contrast)**: it quantifies local variations present in the image. It is computed as  $\sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} (i - j)^2 P(i, j|d, \theta)$

The GLCM approach consists in considering second-order statistics. The GLCM method studies the grey-level distribution of pairs of pixels. This is why it is also known as the second-order histogram method. In the same way, higher-order statistics analyse the joint distribution of more than two pixels.

#### 4. Machine learning methods

##### a. ELM

In this study, we compared and validated the ELM model with its variations, GWO-ELM, SSA-ELM and GOA-ELM.

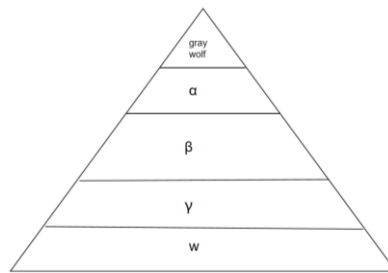
Extreme Learning Machine (ELM) are feedforward neural networks, invented by Huang (2006). According to Huang (2006), this algorithm tends to provide good generalization performance at extremely fast learning speed. ELM doesn't require gradient-based backpropagation to work. It used Moore-Penrose generalized inverse to set its weights.

$$f_L(x) = \sum_{i=1}^L \beta_i g_i(x) = \sum_{i=1}^L \beta_i g(\omega_i * x_j + b_i), j = 1, \dots, N \quad (4)$$

Where:  $L$  is a number of hidden units,  $N$  is a number of training samples,  $\beta$  is weight vector between the hidden layer and output,  $\omega$  is a weight vector between input and hidden layer,  $g$  is an activation function,  $b$  is a bias vector,  $x$  is an input vector.

### b. GWO-ELM

The gray wolf optimisation algorithm, proposed in 2014, is a new swarm intelligence optimisation algorithm (Mirjalili et al.,2014). The GWO algorithm mainly maps the group predation behaviour of gray wolves to the machine learning field to realise the optimisation of parameters and algorithms. Its main features include fewer adjustment parameters, a simple structure, high efficiency and convenience, etc. The algorithm has a convergence factor adaptive mechanism and an information feedback mechanism, which can effectively avoid various defects of the traditional algorithm. It has advantages in the convergence speed and solution accuracy of the problem(Wang,2021).



**Figure 3.** Gray wolf population classification

The wolf group in the grey wolf optimisation algorithm is divided into four levels  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\omega$  in the shape of a pyramid (figure 3). Among which  $\alpha$  is the head wolf, whose main task is to coordinate the group's decision-making and conduct internal management,  $\beta$ 's main task is to assist  $\alpha$  in decision-making, and  $\delta$  is mainly responsible for observation, hunting and nursing.  $\omega$  is responsible for coordinating the relationship within the group. The wolves will constantly update their location according to their level of fitness.

### c. Sparrow Search Algorithm (Sparrow Search Algorithm, SSA) optimised ELM.

In SSA, the first sparrow to obtain food is often the discoverer with the highest fitness value, leading the entire population to determine the location and direction of food. Therefore, the finder will search for food in a broader range than other sparrows and constantly explore the fitness values in different directions and positions. The position of the population needs to be updated iteratively to find out the best foraging position.

Randomly initialise the population size of sparrows  $n$  and the maximum number of iterations  $max\ iter$ , and determine its objective function; the sparrow group position is initialised as:

$$X = \begin{bmatrix} f([x_{1,1} & \dots & x_{1,d}]) \\ \vdots & & \vdots \\ f([x_{n,1} & \dots & x_{n,d}]) \end{bmatrix} \quad (5)$$

In the formula, the value of each row in  $Fx$  represents the fitness value of the individual (Liu et al., 2022).

### 5. Neural network training

The training target accuracy (goal) is set to 0.01, and the number of training is set to 100 times. When the training curve's fitting accuracy (best) (train) reaches the target accuracy, that is, when the end point of the training curve, the fitting accuracy, and the target accuracy coincide, the neural network automatically stops training. Suppose the fitting accuracy never reaches the target accuracy. In that case, the neural network will repeat the training process until the number of training times is completed. 75% of the data were randomly selected as the training sample set, 15% as the validation data, and 15% as the test data. In table 4, the numbers of HSI data cube is the exact amount of data cubes taken during the experiment session (11 days collectively). The number of GLCM input data is the number of key wavelengths (15) multiplied by the number of data cubes collected, it is the same with the input data HSI fused with GLCM. Table 5 demonstrates the parameters of different learning algorithms. In both ELM variations GWO-ELM and SSA-ELM, the number of hidden layers is 50, and the max iteration is 100.

**Table 4.** Numbers of input data

Input data	number
HSI	30+30×3×6
GLCM	15×(30+30×6)
HSI+GLCM	15×(30+30×6)

**Table 5.** Neural network parameters

Machine learning networks	parameters
ELM	hiddennum = 50; activate_model = 'sig';
GWO-ELM	hiddennum = 50; SearchAgents_no = 5; Max_iteration = 100;
SSA-ELM	hiddennum = 50; Pop= 5; activate_model = 'sig'; Max_iteration = 100;

## 5.2.1 Evaluation metrics

### A. Confusion matrix

Performance measurement is vital in defining the effectiveness of a program. Confusion matrixes are a common evaluation tool used in machine learning (An, 2020). Generally, they consist of a  $n \times n$  table plotting actual class against predicted class ( $n$  denoting the number of classes, so a binary classifier would utilize a  $2 \times 2$  table), to which the true and false (determined by the actual classes) positives and negatives (determined by the predicted classes) fit within (Visa et al., 2011).

### B. Accuracy

In practical applications, we should take the accuracy of the classifier into consideration. Because scientists and farmers are more concerned with the situations where the classifier sorts the drought pear seedling leaves as sound ones if the classifier makes the wrong decision, which will hinder the timely watering of the plants, leading to more significant potential economic losses than discarding the plants.

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{correctly classified samples}}{\text{total number of samples}} \quad (18)$$

Accuracy (total correct divided by the total number of assessments), however, does not consider the significance of misidentified class (Halimu et al., 2019) and tends to be an overall optimistic performance indicator.

### C. Evaluation metrics for classification algorithms

Commonly used evaluation metrics for classification algorithms include recall, precision, F1 score and mse-loss. Recall measures the ability to identify positive samples, precision measures the accuracy of positive sample predictions, and F1 score is a metric that combines recall and precision. MSE-loss is a criterion that measures the mean squared error between each element in the input and target. These metrics can be selected and weighted based on specific requirements. The formulas for these metrics are provided accordingly.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (19)$$

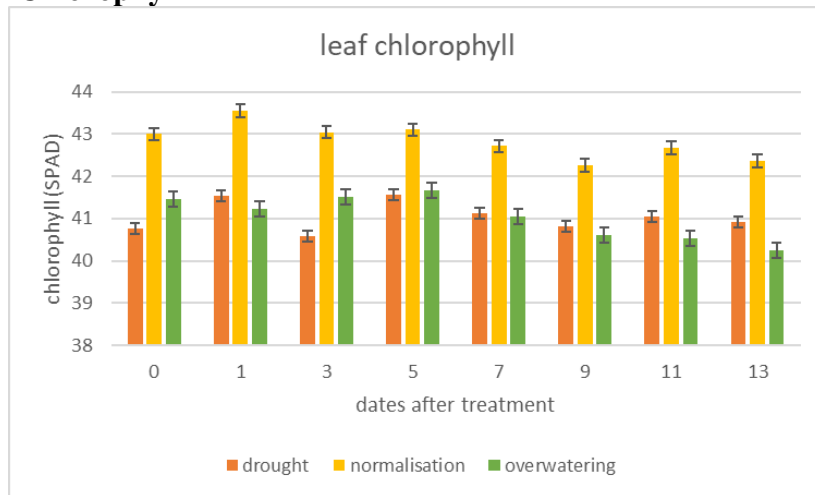
$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (20)$$

$$\text{F1 score} = \frac{2 \times P \times R}{P+R} \quad (21)$$

Where TP is true positive, TN is true negative, FP is false positive, FN is false negative, P is precision, and R is recall (Shu et al., 2023).

## 6. Physiological Data

### 6.1 Chlorophyll



**Figure 4.** SPAD of apple leaves under different water treatments

The small vertical line on the graph represents the standard deviation of the mean(LSD=0.05).

The leaf chlorophyll content is an essential indicator of the growth and photosynthesis of apples under water stress (Sun et al., 2021). Figure 4 shows the amount of chlorophyll produced by photosynthesis in leaves under different water treatments. There was a significant difference in chlorophyll among other water treatment groups. The chlorophyll of apple leaves in the normal treatment group increased, reached its maximum on October 5<sup>th</sup>, and then slowly decreased. This can be explained by the fact that the leaves in the normal water treatment group are sufficient in water, and the photosynthesis capability is vital. By comparison, the chlorophyll of apple leaves in the drought treatment group slowly decreased as plants did not have enough water. As Pour-Aboughadareh et al. (2019) stated, water deficit stress reduced the relative chlorophyll content (SPAD). Chlorophyll is the main component of photosynthesis-one of the physiological processes most sensitive to environmental stress (Hussain et al.,2019). Like high temperature, water deficiency may induce lipid peroxidase and electrolytic leakage from chloroplast and thylakoid membranes, leading to a loss of chlorophyll content (Ristic et al., 2007). The chlorophyll of leaves in the overwatering group increased slightly but soon decreased as the water provided exceeded what the plant needed. In waterlogged soil, there is not enough oxygen for the roots. The roots start to rot fast, thus leading to pigmentation loss (Green, 2022).

The spectral reflectance of leaves is closely related to the leaf surface characteristics, leaf thickness, water content, and the contents of chlorophyll and other pigments (Feng et al., 2004). The wavelength region (500 to 900

nm) contains wavelengths with pigment absorption features (Merzlyak et al., 2003) as well as the red edge (700 to 750 nm) (Mutanga and Skidmore, 2007). The results of this study indicated that changes in chlorophyll content could be used to validate hyperspectral imaging changes in apple seedlings exposed to water stress.

## 7. Classification results

Table 6 shows the classification results from different machine learning methods using different input data. According to the table, when fused with GLCM texture features, the performance of these three models significantly increased. GWO-ELM and SSA-ELM performed better than ELM; where the combination of HSI and GLCM can reach a test accuracy of 65.73% and 63.64% respectively. In GWO-ELM, when HSI is fused with GLCM features, the precision rate is 0.6657, recall rate is 0.6561, and F1 value is 0.6518.

**Table 6.** Performance metrics

Machine learning algorithms	Different data input	Test accuracy	Precision	Recall	Loss	F1
ELM	HSI	64.94%	0.6957	0.5714	77.92%	0.6275
	GLCM	61.04%	0.6857	0.7059	74.03%	0.6957
	HSI+GLCM	64.94%	0.7826	0.6000	70.13%	0.6792
GWO-ELM	HSI	62.69%	0.6258	0.6369	82.09%	0.6270
	GLCM	53.85%	0.5363	0.5358	90.21%	0.5342
	HSI+GLCM	65.73%	0.6657	0.6561	61.54%	0.6518
SSA-ELM	HSI	58.21%	1	1	91.04%	1
	GLCM	47.56%	1	1	83.92%	1
	HSI+GLCM	63.64%	1	1	84.62%	1

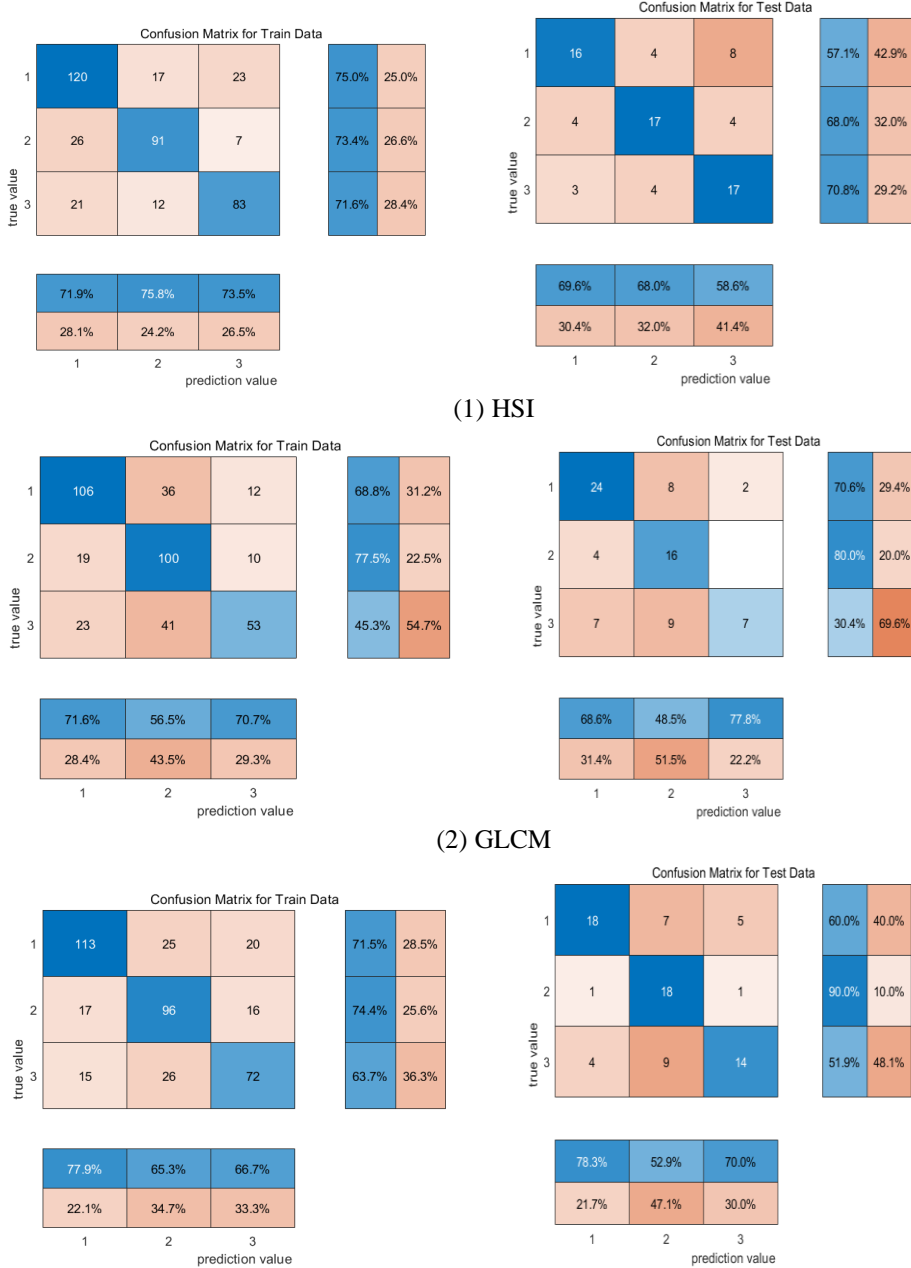
### 7.1 Confusion matrix

#### A. ELM

Figure 10 shows the confusion matrix of ELM with three different input data. In the training data of HSI, 120 out of 160 normal samples were correctly identified (75%). But 26 overwatering samples were wrongly treated as normal, and 7 overwatering samples were wrongly treated as drought (26.6%). In the test data of HSI, 17 out of 25 samples were correctly identified as overwater (68%), but 4 normal samples were recognized as overwatered and 8 normal samples were treated as drought (42.9%).

In the training data of GLCM, 106 out of 154 normal samples were correctly recognized (68.8%), but 19 over water samples were treated as normal, 41 drought samples were recognized as overwatered. In the test data of GLCM, 24 out of 35 samples were correctly identified as normal (68.6%), while 8 normal samples were treated as overwatered.

In the training data of HSI fused with GLCM, 113 out of 158 normal samples were correctly identified (71.5%), while 17 over water samples were treated as normal, and 16 overwater samples were treated as drought (25.6%). In the test data of HSI fused with GLCM, 18 normal samples and 18 overwater samples were correctly identified.



**Figure 5.** Confusion matrix for ELM using HSI (1), GLCM (2) and HSI fused with GLCM (3)

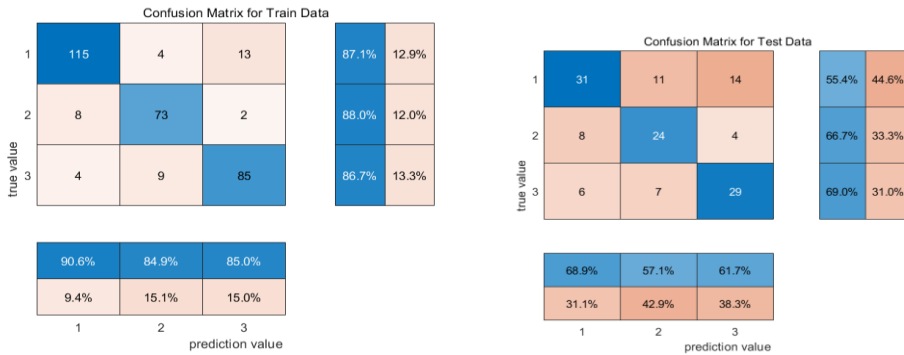


## B. GWO-ELM

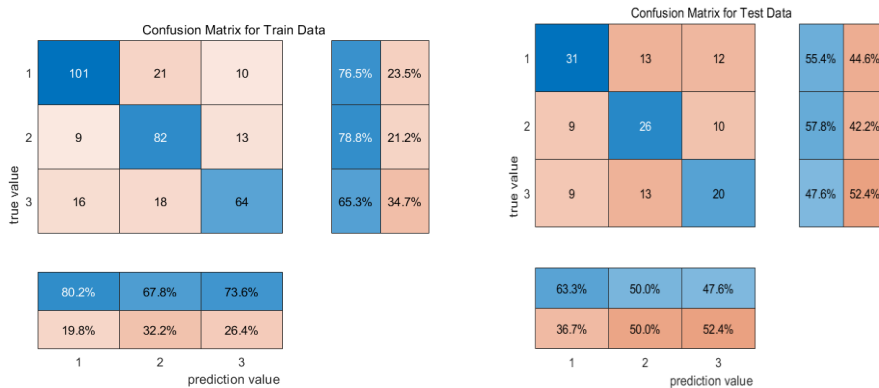
Figure 6 shows the confusion matrix for GWO-ELM using three inputs. In the training data of HSI, 115 out of 132 normal samples were correctly identified (87.1%), but 13 normal samples and 2 overwater samples were treated as drought (15.5). In the test data of HSI, 24 out of 42 samples were correctly identified as overwatered (57.1%), but 8 and 4 overwater samples were mis-treated as normal and drought respectively (33.3%).

In the training data of GLCM, 101 out of 126 samples were correctly labeled as normal (80.2%), but 9 overwater samples were wrongly taken as normal and 13 overwater samples as drought (21.2%). In the test data of GLCM, 26 out of 52 samples were correctly identified as overwater (50.0%), but 9 overwater and 9 drought samples were wrongly classified as normal (36.7%),

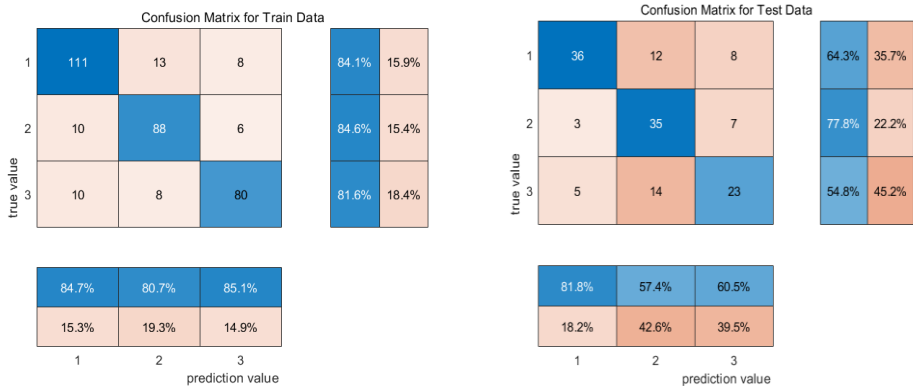
In the training data of HSI fused with GLCM, 80 out of 98 drought samples were correctly identified (81.6%), but 8 normal samples and 6 overwater samples were wrongly labeled as drought (14.9%). In the test data of HSI fused with GLCM, 36 out of 44 samples were correctly identified as normal (81.8%), while 14 drought samples were wrongly taken as overwatered.



(a) HSI



(b) GLCM



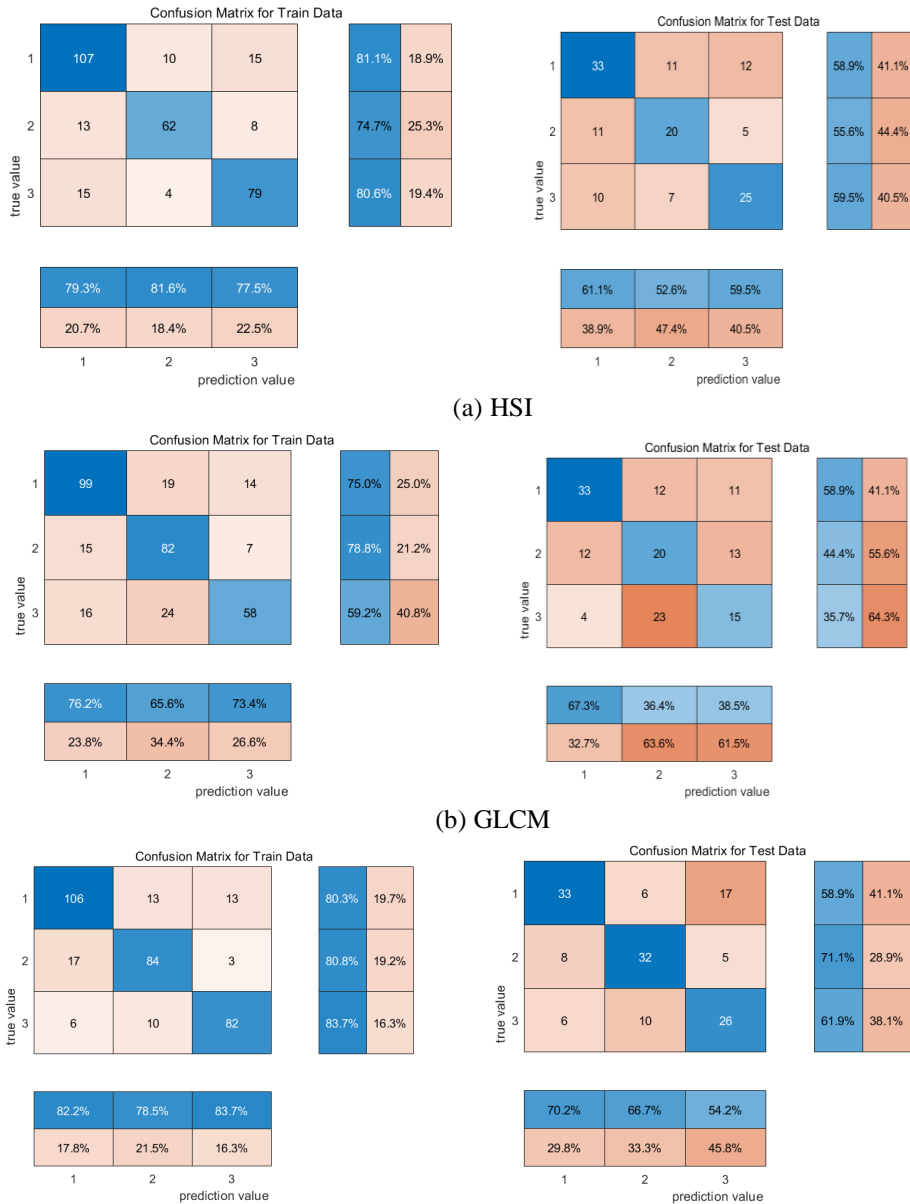
(c) HSI fused with GLCM

**Figure 6.** Confusion matrix for GWO-ELM using HSI (1), GLCM (2) and HSI fused with GLCM (3)

Figure 7 demonstrates the confusion matrix for SSA-ELM using HSI, GLCM and HSI fused with GLCM. Figure 8 demonstrates the confusion matrix for SSA-ELM using HSI, GLCM and HSI fused with GLCM. In the training data of HSI, 107 out of 135 samples were correctly identified as normal (79.3%), but 15 normal samples and 8 overwater samples were wrongly taken as drought (22.5%). In the test data of HSI, 20 out of 36 overwater samples were correctly identified (55.6%), but 10 drought samples and 7 drought samples were taken as normal and overwater respectively (40.5%).

In the training data of GLCM, 99 out of 132 normal samples were correctly identified (75%), but 19 normal and 14 normal samples were wrongly taken as overwater and drought respectively (25%). In the test data of GLCM, 33 out of 56 normal samples were correctly identified (58.9%), but 4 drought samples were wrongly taken as normal, 13 overwater samples were wrongly taken as drought.

In the training data of HSI fused with GLCM, 106 out of 132 samples were correctly identified as normal (80.3%), but 17 overwater samples were wrongly taken as normal, 3 overwater samples were wrongly taken as drought (19.2%). In the test data of HSI fused with GLCM, 17 normal samples were wrongly taken as overwatered. Only 26 out of 42 drought samples were correctly identified (61.9%).



**Figure 7.** Confusion matrix for SSA-ELM using HSI (1), GLCM (2) and HSI fused with GLCM (3)

## Conclusion and discussion

This study explored the feasibility of using hyperspectral imaging techniques and texture features combined with machine learning to detect and identify water stress on apple leaves. The results proved that texture features fused with hyperspectral imaging performed better than merely using

hyperspectral imaging for machine learning classification. The spectral behaviour was closely related to the changes in the leaf's physiological status caused by the water stress. Apple leaves under water stress produced a different specific and characteristic reflectance spectrum from regular leaves, which was difficult to observe by eyes in the early stage.

To identify the categories of water effectively, standard normal variate was used to preprocess the data. Subsequently, the multivariate stepwise linear regression method was applied to extract spectral fingerprint features, simplifying the training model and accelerating the calculation speed. These characteristic wavelengths correlated to spectral behaviours and cellular structure were selected in association with chlorophyll. The number of input spectral fingerprint features was only five, which are Band 85(564.26nm), Band 174(753.41nm), Band 156(714.65nm), Band 116(629.43nm), Band 194(796.79nm), Band 144(688.95nm) and Band 285(998.16nm), which decreased by more than 97% compared with the original spectral data. The absorbances are associated with the combinations of fundamental vibrations of C-H and O-H functional groups (Kamruzzaman et al.,2016). The 710–760 nm (red-edge) band and band around 700 nm are related to chlorophyll (ElMasry et al., 2007; Pacumbaba and Beyl, 2011). Also, chlorophyll absorptions are found in the visible region of the spectrum near 430, 460, 640, and 660 nm (Curran, 1989). Subtle absorption at 780nm and 980nm may be associated with the third and second overtones of O-H stretching, which may be relevant to water (ElMasry et al.,2012). Absorption at 940 nm is related to C-H third overtone (Kamruzzaman et al.,2016). According to Lu et al. (2022), a small reflectance peak appeared in the band around 550 nm, which is caused by the reflection of chlorophyll; a trough appeared in the red band around 680 nm, which is caused by the strong absorption of chlorophyll. Finally, diverse classifiers (ELM, GWO-ELM, SSA-ELM) were developed and evaluated on hyperspectral images and spectral-textural hyperspectral imaging analysis. For water stress detection, all classification models obtain relatively good accuracy (>90%) and robust performance, recognising the water stress before the signs of wilting or yellowing appear notably in the apple leaf. Also, the neural networks regarding textural analysis in fusion with hyperspectral imaging reached a satisfactory result. It should be mentioned that the classification result of the selected texture parameters fused with hyperspectral imaging outperformed those using only hyperspectral imaging data.

Recent research has made efforts to integrate spectral and image characteristics in order to obtain sufficient information and enhance the practical outcomes of hyperspectral imaging (HSI) applications (Wang et al., 2015; Ru et al., 2019). When compared to the accuracy achieved in identifying yellow rust in wheat leaves using spectral data alone, the accuracy of identification increases by 7.3% when utilizing both spectral and texture

features (Guo et al., 2020). Furthermore, the incorporation of spectral, texture, and morphological features can lead to a 2% improvement in accuracy for the germ side and a 1.3% improvement for the endosperm side (Yang et al., 2015).

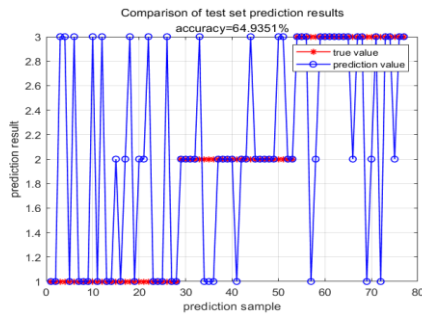
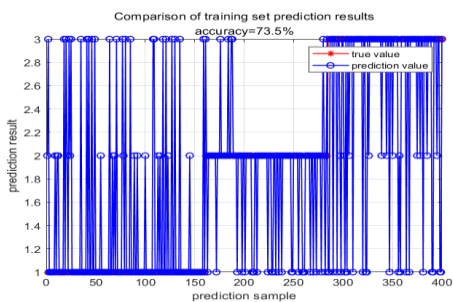
Previous studies have employed statistical analysis methods, such as the gray level co-occurrence matrix (GLCM) and morphological parameter calculations, to extract texture and morphological features from images. However, these methods are known for their complexity, time-intensive nature, reliance on spatial scale considerations, and the need for prior information (Sachar and Kumar, 2021). In recent years, deep learning has emerged as a powerful technique for feature extraction and has found widespread application, particularly in the field of imaging (Yu et al., 2020).

Our study confirmed the results of other research. In Zhang et al. (2022)'s analysis of distinguishing flue-cured tobacco samples, the texture features of flue-cured tobacco were selected by gray-level co-occurrence matrix (GLCM). Then the texture features and spectral features were normalised and fused. SPA chose twenty-five feature bands, and the classification accuracy using feature bands was decreased. The classification effect was improved significantly after the fusion of hyperspectral and texture characteristics. Zhu et al. (2017) investigated the feasibility and potentiality of presymptomatic detection of tobacco disease using hyperspectral imaging, combined with the variable selection method and machine learning classifiers. Four texture features, including contrast, correlation, entropy, and homogeneity were extracted according to grey-level co-occurrence matrix (GLCM). Additionally, different machine-learning algorithms were developed and compared to detect and classify disease stages with effective wavelengths, texture features and data fusion respectively. Yu et al. (2018) researched the prediction of polysaccharides and total sugar in wolfberry based on spectral and texture information from hyperspectral images. According to the absolute value of the average weight coefficient of each wavelength under the first three principal component images of 300 wolfberry samples, five characteristic wavelengths were selected (578. 42, 622. 97, 699. 61, 809. 39, 865. 40 nm). *Graycomatrix* was used to extract the texture features of hyperspectral images corresponding to five characteristic wavelengths. After the screening, partial Least Squares Regression was used to examine the correlation between polysaccharide content and spectra data. The correlation result was satisfactory.

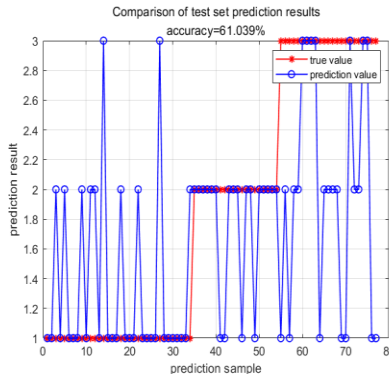
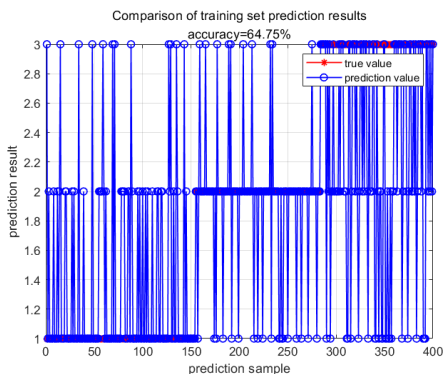
Based on the spectral fingerprint features combined with the supervised classification algorithm developed in this study, a hyperspectral imaging detection system was potentially designed for identifying the categories and water stress levels in apple leaves. In future research, we will focus on (1) contrasting the spectral fingerprint features extracted in the field conditions (uncontrolled lighting) with those in the laboratory, (2) increasing

more samples with different stress levels to generate and collect more image profiles of apple seedling leaves, therefore, making the algorithm more accurate and robust, (3) building a detailed time course to record the physiological and hyperspectral characteristics of leaves under different water treatments in differential time frames and (4) expanding our finding to other plant species, and applying the methodology in a real-world sorting environment for online and reliable plant or leaf water stress detection, to achieve excellent plant water and nutrition management.

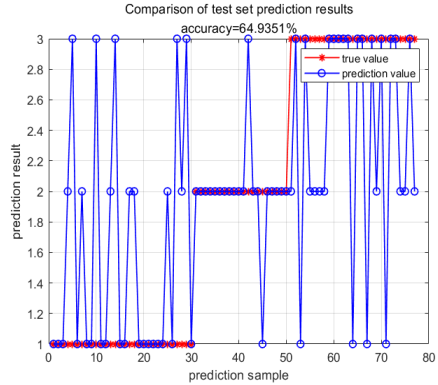
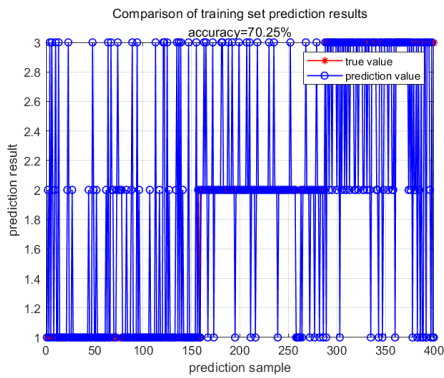
This research introduces a new method, texture analysis of hyperspectral imaging and machine learning tools to identify apple seedling leaves under different water treatments. This otherwise cannot be identified by human eyes, except at the late stages, when the leaves are turning yellow or have wilted. The proposed method offers a new approach and the possibility of effective differentiation of leaves under different water treatments. Furthermore, leaves' chlorophyll corroborates our findings using HSI and machine learning.



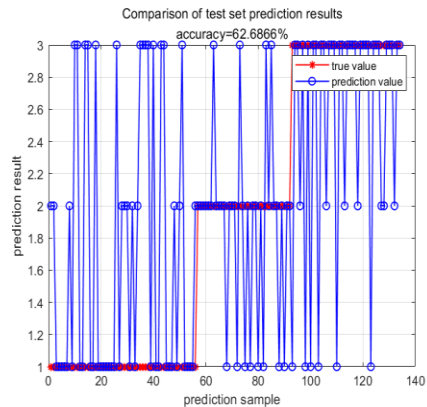
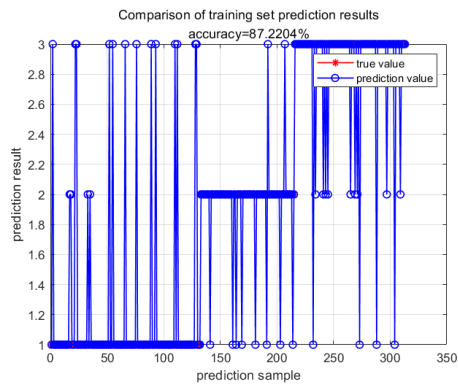
a. HSI



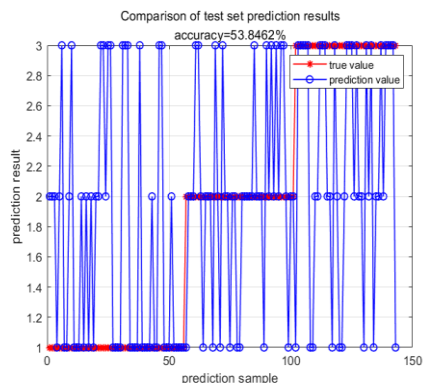
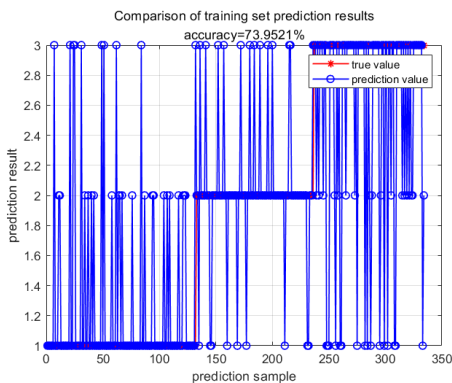
b. GLCM



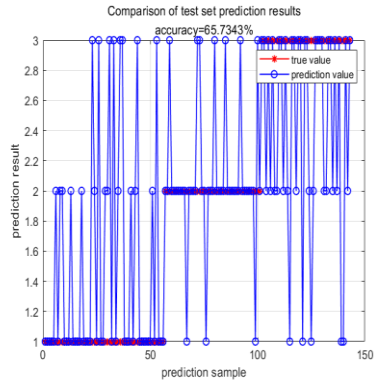
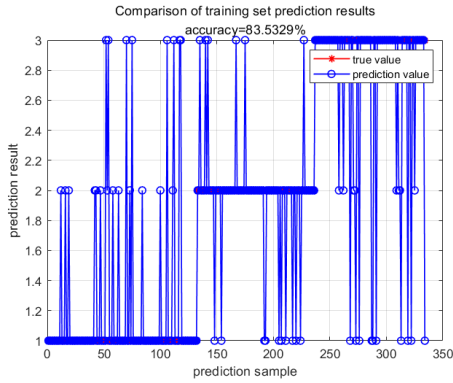
**b. HSI fused with GLCM  
(1) ELM**



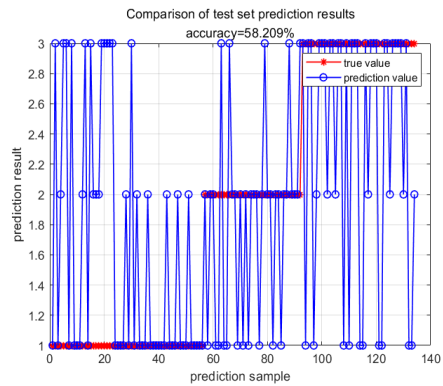
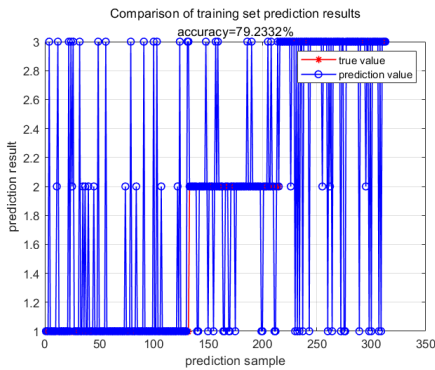
**a.HSI**



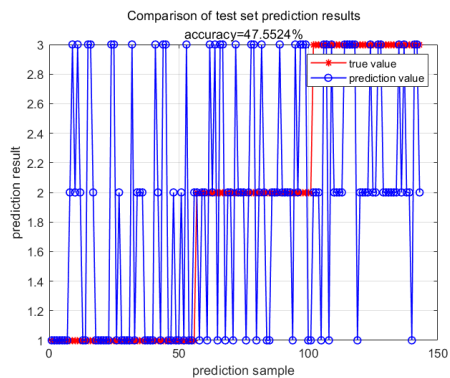
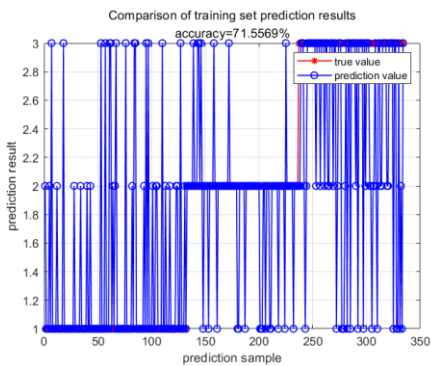
**b.GLCM**



c. HSI+GLCM  
 (2) GWO-ELM

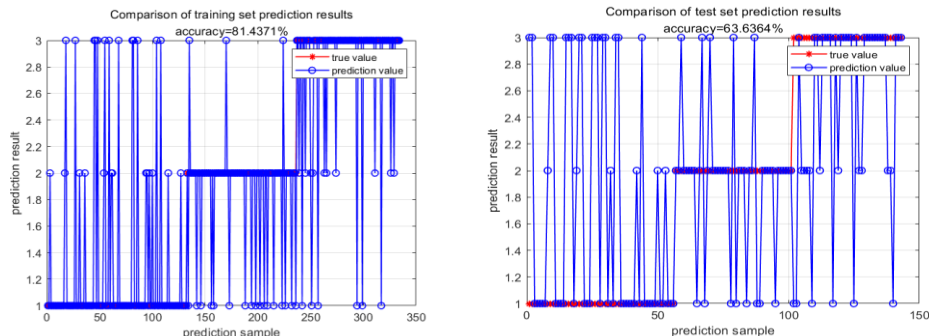


a. HSI



b. GLCM





c.HSI+GLCM  
(3) SSA-ELM

**Figure 8.** Classification result of ELM(1), GWO-ELM(2) and SSA-ELM(3) with an input of HSI(a), GLCM(b) and HSI+GLCM(c)

**Author Contributions:** Conceptualization, W.R. & D.P. ; methodology, A.A.; software, A.A.; validation, A.A. & J. P.; formal analysis, A.A.; investigation, A.A.; resources, A.A.; data curation, A.A.; writing—original draft preparation, A.A.; writing—review and editing, Z.Z.H.; visualisation, A.A.; supervision, D.P.; project administration, A.A.; funding acquisition, W.R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Data Availability Statement:** The data presented in this study is available on request from the corresponding author. The data is not publicly available due to district restrictions on data collection.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflicts of interest.

## References:

1. Abdulridha, J., Ehsani, R., & De Castro, A. (2016). Detection and differentiation between laurel wilt disease, phytophthora disease, and salinity damage using a hyperspectral sensing technique. *Agriculture*, 6(4), 56.
2. Afifi, A, & Ashour, W. (2012). Image retrieval based on content using colour feature. *International scholarly research notices*. <https://doi.org/10.5402/2012/248285>.
3. Agjee, N. E., Mutanga, O., & Ismail, R. (2015). Remote sensing bio-control damage on aquatic invasive alien plant species. *South African Journal of Geomatics*, 4(4), 464-485.

4. Alexandridis, A., Chondrodima, E., & Sarimveis, H. (2016). Cooperative learning for radial basis function networks using particle swarm optimization. *Applied Soft Computing*, 49, 485-497.
5. AlSuwaidi A, Grieve B, and Yin H. (2017). Spectral-texture approach to hyperspectral image analysis for plant classification with SVMs. 2017 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST), 1-6, doi: 10.1109/IST.2017.8261496.
6. Apple & Pear Australia Limited. (2023). Guidelines for irrigation management for apple and pear growers. <https://apal.org.au/wp-content/uploads/2019/09/fo-ow-handout-09-sept-irrigation-guidelines.pdf>
7. Ayala Martini D. (2018). Bachelor's Thesis. Universidad Pública de Navarra; Navarra, Spain: Automatización del Análisis de Imágenes Hiperespectrales para Identificación de Aptitud de Patatas.
8. Backhaus, A., Bollenbeck, F., & Seiffert, U. (2011, June). Robust classification of the nutrition state in crop plants by hyperspectral imaging and artificial neural networks. In 2011 3rd Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS) (pp. 1-4). Institute of Electrical and Electronics Engineers.
9. Bajji, M, Lutts, S, and Kinet, J. (2000). Physiological changes after exposure to and recovery from PEG (Polyethylene Glycol) -induced water deficit in callus cultures issued from durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars differing in drought resistance. *Journal of Plant Physiology*, 156, 75-83.
10. Bauriegel, E. & Herppich, W. (2014). Hyperspectral and chlorophyll fluorescence imaging for early detection of plant diseases, with special reference to *Fusarium spec.* Infections on wheat. *Agriculture*, 4(1), 32-57.
11. Behmann, J., Steinrücken, J., & Plümer, L. (2014). Detection of early plant stress responses in hyperspectral images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93, 98-111.
12. Bhagat, P., Choudhary, P., Manglem Singh, K. (2019). A comparative study for brain tumour detection in MRI images using texture features. Chapter 13 - A comparative study for brain tumour detection in MRI images using texture features. In *Advances in ubiquitous sensing applications for healthcare, Sensors for Health Monitoring*, 5, 259-287.
13. Bhugra, S., Chaudhury, S., & Lall, B. (2015). Use of leaf colour for drought stress analysis in rice. In 2015 Fifth National Conference on Computer Vision, Pattern Recognition, Image Processing and Graphics (NCVPRIPG) (pp. 1-4). IEEE.

14. Bradford, K & Hsiao, T. (1982). Physiological response to moderate stress. In: Lange OL, Nobel PS, Osmond CB, Ziegler H,ets. Encyclopedia of plant physiology. Physiological plant ecology. II. Water relations and carbon assimilation. New York, Berlin, Heidelberg: Springer, 263-324.
15. Broomhead, D., & Lowe, D. (1988). Multivariable functional interpolation and adaptive networks, complex systems, vol. 2.
16. Canna. (2023). The most occurring forms of plant stress-part 2. [https://www.cannagardening.com/most\\_occurring\\_forms\\_plant\\_stress\\_part\\_2](https://www.cannagardening.com/most_occurring_forms_plant_stress_part_2)
17. Chen, X., Pang, T., Tao, H., Lin, M., & Yang, H. (2017). Prediction of apple internal qualities using hyperspectral imaging techniques. In 2017 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS) (pp. 450-455). IEEE.
18. Cheng L, Zhu X, Gao W, Wang L. and Zhao G. (2016). Hyperspectral Estimation of Phosphorus Content in Apple Leaves Based on Random Forest Model. Journal of Fruit Science, 33, 1219-1229.
19. Cheng, W., Sun, D., Pu, H., and Liu, Y. (2016). Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie, 72, 322-329.
20. Connors, R. & Harlow, C. (1980). A theoretical comparison of texture algorithms. IEEE Trans. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-2,3: 204-222.
21. Curran, P., Dungan, J., Gholz, H. (1990). Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine. Tree Physiology, 7, 33–48. doi: 10.1093/treephys/7.1-2-3-4.33.
22. Ding, X., Liu, F., Zhang, C., et al. (2015). Detection of SPAD value of rape leaves based on hyperspectral imaging technology. Spectroscopy and Spectral Analysis, 35(2), 486-491.
23. Duan, N., Bai, Y., Sun, H., Wang, N., Ma, Y., Li, M., ... & Chen, X. (2017). Genome re-sequencing reveals the history of apples and supports a two-stage model for fruit enlargement. Nature communications, 8(1), 249.
24. Ellis, M. (2021). Apple tree irrigation- how to water an apple tree in the landscape. Gardening. <https://www.gardeningknowhow.com/edible/fruits/apples/apple-tree-watering.htm>.
25. ElMasry, G., Kamruzzaman, M., Sun, D.-W., Allen, P. (2012). Principles and applications of hyperspectral imaging in quality evaluation of agro-food products: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 52, 999–1023.
26. ElMasry, G., Wang, N., ElSayed, A., Ngadi, M. (2007). Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for

- strawberry. *Journal of Food Engineering*, 81, 98–107. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.10.016
27. Escobar -Gutierrez, A J, Zipperlin , B, Carbonne, F , Moing , A ,and Gaudillere , JP. (1998). Photosynthesis, carbon partitioning and metabolite content during drought stress in the peach seedling. *Australian Journal of Plant Physiology*, 25, 197-205.
  28. Feng, X., Zhan, Y., Wang, Q., Yang, X., Yu, C., Wang, H., ... & He, Y. (2020). Hyperspectral imaging combined with machine learning as a tool to obtain high-throughput plant salt-stress phenotyping. *The Plant Journal*, 101(6), 1448-1461.
  29. Feng, X., Chen, X., Bao, A. M., Sun, L., Wang, D., & Ma, Y. (2004). Analysis of the cotton physiological change and its hyperspectral response under the water stress condition. *Arid Land Geography*, 2, 250-255.
  30. Grann, T. & Boyer, J. (1990). Very high CO<sub>2</sub> partially restores photosynthesis in sunflowers at low water potentials. *Planta*, 181,378-384.
  31. Green, D. (2022). Leaves turning transparent or translucent: The causes explained. <https://thegardenhows.com/leaves-turning-transparent-or-translucent-the-causes-explained/>.
  32. Gupta, S., Ibaraki, Y., & Pattanayak, A. (2013). Development of a digital image analysis method for real-time estimation of chlorophyll content in micro propagated potato plants. *Plant Biotechnology Reports*, 7, 91–97.
  33. Guo, A., Huang, W., Ye, H., Dong, Y., Ma, H., Ren, Y., & Ruan, C. (2020). Identification of wheat yellow rust using spectral and texture features of hyperspectral images. *Remote Sensing*, 12(9), 1419.
  34. Jiang, B., Wang, P., Zhuang, S., Li, M., Li, Z., & Gong, Z. (2018). Detection of maize drought based on texture and morphological features. *Computers and electronics in agriculture*, 151, 50-60.
  35. Haralick, R., Shanmugam, K. & Dinstein, I. (1973). Textural feature for image classification. *IEEE Trans. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-3, 6, 610-621.
  36. He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. (2016). Identify mappings in deep residual networks. *Computer Vision and Pattern Recognition*. arXiv:1603.05027.
  37. He, J., Wang, J., & Liang, H. (1995). Effects of water stress on photochemical function and protein metabolism of photosystem II in wheat leaves. *Physiologia Plantarum*, 93, 771-777.
  38. Hintzsche, H., & Stopper, H. (2012). Effects of terahertz radiation on biological systems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(22), 2408-2434.

39. Holizadeh, A., Saberioon, M., BorVka, L., Wayayok, A., & Soom, M. (2017). Leaf chlorophyll and nitrogen dynamics and their relationship to lowland rice yield
40. for site-specific paddy management. *Information Processing in Agriculture*, <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.08.002>.
41. Huang, Y. (2017). *Monitoring of nitrogen nutrition in wheat based on hyperspectral imaging*. Nanjing Agricultural University.
42. Huang, G. B., Zhu, Q. Y., & Siew, C. K. (2006). Extreme learning machine: theory and applications. *Neurocomputing*, 70(1-3), 489-501.
43. Humeau-Heurtier. (2019). Texture feature extraction methods: A survey. *IEEE Access*, 7, 8975-9000.
44. Hussain, H. A., Men, S., Hussain, S., Chen, Y., Ali, S., Zhang, S., ... & Wang, L. (2019). Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific reports*, 9(1), 3890.
45. Jespersen, D., Zhang, J., & Huang, B. (2016). Chlorophyll loss associated with heat-induced senescence in bentgrass. *Plant Science*, 249, 1–1.
46. Jia, Z., Ou, C., Sun, S., Wang, J., Liu, J., Li, M., Jia, S. & Mao, P. (2023). A novel approach using multispectral imaging for rapid development of seed pellet formulations to mitigate drought stress in alfalfa. *Computers and Electronics in Agriculture*, 212, 108136.
47. Jiang, H, Yoon, S., Zhuang, H., Wang, W., Li, Y. & Yang, Y. (2019). *Spectrochim. Acta, Part A*, 213,118-216.
48. Jin, X., Zarco-Tejada, P., Schmidhalter, U., Reynolds, M., Hawkesford, M., Varshney, R., Yang, T., Nie, C., Li, Z., Ming, B., Xiao, Y., Xie, Y., & Li, S. (2020). High-throughput estimation of crop traits: a review of ground and aerial phenotyping platforms. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2020.2998816>.
49. Jones, H. (2004). Application of thermal imaging and infrared sensing in plant physiology and ecophysiology. *Advances in Botanical Research*, 41, 107–163.
50. Kamruzzaman, M., Makino, Y., Oshita, S. (2016). Hyperspectral imaging for real-time monitoring of water holding capacity in red meat. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 66, 685–691.
51. Katsoulas, N., C. Kittas, G. Dimokas, and Ch. Lykas. (2006). Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. *Biosystems Engineering*, 93, 237–244.
52. Kim, D., Zhang, H., Zhou, H., Du, T., Wu, Q., Mockler, T. & Berezin, M. (2015). Highly sensitive image-derived indices of water-stressed

- plants using hyperspectral imaging in SWIR and histogram analysis. *Scientific Reports*, 5, 15919. <https://doi.org/10.1038/srep15919>.
53. Lakso, A., Geyer, A. & Carpenter, S. (1984). Seasonal osmotic relations in apple leaves of different ages. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 109, 544-547.
  54. Lauer, M. & Boyer, J. (1992). Internal CO<sub>2</sub> measures directly in leaves: abscisic acid and low leaf water potential cause opposing effects. *Plant Physiology*, 98, 1010-1016.
  55. Gao, K. X., & Liu, X. G. (1995). Review of researches on the Valsa canker of apple trees. *Hebei Normal University*, 10, 87-91.
  56. Lim, P., & Nam, H. (2007). Aging and senescence of the leaf organ. *Journal of Plant Biology*, 50, 291-300.
  57. Lippmalm, R. (2002). Neural Nets for Computing. Acoustics, speech, and signal processing. *IEEE International Conference on ICASSP*, 88, 1-6.
  58. Liu, D., Pu, H., Sun, D., Wang, L. & Zeng, X. (2014). *Food Chemistry*. 160, 330-337.
  59. Liu, G., Wei, X., Zhang, S., et al. (2019). Analysis of epileptic seizure detection method based on improved genetic algorithm optimisation back propagation neural network [J]. *Journal of Biomedical Engineering*, 36(1), 24-32.
  60. Li, B., Wang, R., Ma, J., & Xu, W. (2020). Research on crop water status monitoring and diagnosis by terahertz imaging. *Frontiers in Physics*, 8, 571628.
  61. Li, R., Lu, Y., Peters, J.M.R. et al. (2020). Non-invasive measurement of leaf water content and pressure–volume curves using terahertz radiation. *Scientific Report*, 10, 21028. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78154-z>
  62. Li, J., Xi, B., Li, Y., Du, Q., & Wang, K. (2018). Hyperspectral Classification Based on Texture Feature Enhancement and Deep Belief Networks. *Remote Sensing*, 10(3), 396. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/rs10030396>
  63. Liu, X., Zhang, Z., Meng, F., & Zhang, Y. (2022). Fault diagnosis of wind turbine bearings Based on CNN and SSA–ELM. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 1-17.
  64. Loucks J. (2021). How to grow apple tree seedlings. SFGATE. <https://homeguides.sfgate.com/grow-apple-tree-seedlings-59390.html>.
  65. Lowe, A., Harrison, N., & French, A. P. (2017). Hyperspectral image analysis techniques for the detection and classification of the early onset of plant disease and stress. *Plant methods*, 13(1), 80.

66. Lu, Z., Zhang, Z., Zhang, X., Yang, W., Zhu, L., & Huang, C. (2022). Intelligent identification of cotton verticillium wilt based on spectral and image feature fusion. *Research Square*, 8(2). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1903428/v1>
67. Lu J, Zhou M, Gao Y, and Jiang H. (2018). Using hyperspectral imaging to discriminate yellow leaf curl disease in tomato leaves. *Precision Agriculture*, 19, 379-394. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9524-7>
68. Lu, C., & Zhang, J. (1999). Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. *Journal of Experimental Botany*, 50(336), 1199-1206.
69. Mack, J., Schindler, F., Rist, F., Herzog, K., Töpfer, R., & Steinhage, V. (2018). Semantic labeling and reconstruction of grape bunches from 3D range data using a new RGB-D feature descriptor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 96-102.
70. Mirjalili, S., Mirjalili, S., & Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer[J]. *Advances in engineering software*, 69, 46-61.
71. Levenberg-Marquardt backpropagation. <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainlm.html;jsessionid=39efd735b2ae310e3e285a17b507>.
72. Ma, C., Zhang, H. H., & Wang, X. (2014). Machine learning for big data analytics in plants. *Trends in plant science*, 19(12), 798-808.
73. Merzlyak, M. N., Gitelson, A. A., Chivkunova, O. B., Solovchenko, A. E., & Pogosyan, S. I. (2003). Application of reflectance spectroscopy for analysis of higher plant pigments. *Russian Journal of plant physiology*, 50, 704-710.
74. Mutanga, O., & Skidmore, A. K. (2007). Red edge shift and biochemical content in grass canopies. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(1), 34-42.
75. Ni, C., Li, Z., Zhang, X., Sun, X., Huang, Y., Zhao, L., ... & Wang, D. (2020). Online sorting of the film on cotton based on deep learning and hyperspectral imaging. *IEEE Access*, 8, 93028-93038.
76. Ozdemir A & Polat K. (2020). Deep Learning Applications for Hyperspectral Imaging: A Systematic Review. *Journal of the Institute of Electronics and Computer*, 2, 39-56. <https://doi.org/10.33969/JIEC.2020.21004>.
77. Pacumbaba R. O., Jr. & Beyl C. A. (2011). Changes in hyperspectral reflectance signatures of lettuce leaves in response to macronutrient deficiencies. *Advances in Space Research*, 48, 32-42. doi: 10.1016/j.asr.2011.02.020



78. Plaza, A., Martínez, P., Plaza, J., Pérez R. (2003). Spatial/spectral analysis of hyperspectral image data. In *Advances in Techniques for Analysis of Remotely Sensed Data*, 2003 IEEE Workshop on. IEEE.
79. Percy, M. & R, Hindle. (1989). A new method for the non-invasive three-dimensional measurement of human back movement. *Clinical Biomechanics*, 4(2), 73-39. ISSN 0268-0033. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(89\)90042-9](https://doi.org/10.1016/0268-0033(89)90042-9).
80. PIRSA. (2006). Irrigating Horticulture Crops with Reduced Water Supplies. Fact Sheet No. 18/06, [www.pir.sa.gov.au/factsheets](http://www.pir.sa.gov.au/factsheets).
81. Ranney, T., Bassuk, N., & Whitlow, T. (1991). Osmotic adjustment and solute constituents in leaves and roots of water-stressed cherry (prunus) trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116 (4), 684-688.
82. Resonon Inc, Resonon. (2019). *SpectrononPro Manual*. Release 5.3.
83. Ristic, Z., Bukovnik, U., & Prasad, P. V. (2007). Correlation between heat stability of thylakoid membranes and loss of chlorophyll in winter wheat under heat stress. *Crop Science*, 47(5), 2067-2073.
84. Ru, C., Li, Z., & Tang, R. (2019). A hyperspectral imaging approach for classifying geographical origins of rhizoma atractylodis macrocephalae using the fusion of spectrum-image in VNIR and SWIR ranges (VNIR-SWIR-FuSI). *Sensors*, 19(9), 2045.
85. Sabzi, S., Pourdarbani, R., Rohban, M. H., Fuentes-Penna, A., Hernández-Hernández, J. L., & Hernández-Hernández, M. (2021). Classification of Cucumber Leaves Based on Nitrogen Content Using the Hyperspectral Imaging Technique and Majority Voting. *Plants*, 10(5), 898. <https://doi.org/10.3390/plants10050898>
86. Sachar, S., & Kumar, A. (2021). Survey of feature extraction and classification techniques to identify plant through leaves. *Expert Systems with Applications*, 167, 114181.
87. Schuerger, A., Capelle, G., Benedetto, J., Mao, C., Chi, N., & Evans, M. (2003). Comparison of two hyperspectral imaging and two laser-induced fluorescence instruments for the detection of zinc stress and chlorophyll concentration in Bahia grass (*Paspalum notatum* Flugge). *Remote Sensing of Environment*, 2003, 84(4), 572–88.
88. Shao C. (2020). Data classification by quantum radical-basis-function networks. *Physics Review*, 102, 042418.
89. Singh, S. & Hemachandran, K. (2012). Content-Based Image Retrieval using Color Moment and Gabor Based Image Retrieval using Color Moment and Gabor Texture Feature. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*. ISSN (Online): 1694-0814. [www.IJCSI.org](http://www.IJCSI.org). 9(5), 1.



90. Smart, R. & Bingham, G. (1974). Rapid estimates of relative water content. *Plant Physiology*, 53(2), 258-260.
91. Sun, J., Yang, L., Yang, X., Wei, J., Li, L., Guo, E. & Kong, Y. (2021). Using Spectral Reflectance to Estimate the Leaf Chlorophyll Content of Maize Inoculated With Arbuscular Mycorrhizal Fungi Under Water Stress. *Frontiers in Plant Science*, 12, 646173. doi: 10.3389/fpls.2021.646173.
92. Sun, H., Zheng, T., Liu, N., Cheng, M., Li, M., & Zhang, Q. (2018). Vertical distribution of chlorophyll in potato plants based on hyperspectral imaging. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 34(1), 149-156.
93. Tan, K., Wang, R., Li, M., & Gong, Z. (2019). Discriminating soybean seed varieties using hyperspectral imaging and machine learning. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 19(4), 1001-1015.
94. The Home Depot. (2021). How to grow trees. <https://www.homedepot.com/c/ah/how-to-grow-apples/9ba683603be9fa5395fab901f33a6977>.
95. Tian, H., Wang, C., Hao, M., et al. (2013). Rapid positive potato dry matter content detection based on spectral differential filtering and multivariate calibration[J]. *Inner Mongolia Agricultural University Journal (Natural Science Edition)*, 34(5), 93-97.
96. Tumer, A. & Akkus, A. (2019). Application of Radial Basis Function Networks with Feature Selection for GDP per Capita Estimation Based on Academic Parameters. *International Journal of Computer Systems Science & Engineering*, 3, 145-150.
97. Wang, Y., Li, L., Shen, S., Liu, Y., Ning, J. & Zhang, Z. (2020). Rapid detection of the quality index of postharvest fresh tea leaves using hyperspectral imaging. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100, 3803-3811.
98. Wang J. (2015). Research on nondestructive testing of Tan mutton tenderness based on spectral image information fusion technology[D]. Yinchuan: Ningxia University.
99. Wang, L., Liu, D., Pu, H., Sun, D. W., Gao, W., & Xiong, Z. (2015). Use of hyperspectral imaging to discriminate the variety and quality of rice. *Food analytical methods*, 8, 515-523.
100. Wang, Z., Liu, H., & Duan, H. (2006). Study on Hyperspectral Inversion Model of Soybean Chlorophyll Content. *Agriculture Engineering News*, 8, 16-21.
101. Water Potential. (2022). Advantages and disadvantages of the pressure chamber. *European Medical*.

- <https://www.europeanmedical.info/water-potential/ii-advantages-and-disadvantages-of-the-pressure-chamber.html>
102. Wang, Z., Quebedeaux, B. & Stutte, G. (1995). Osmotic adjustment: Effect of water stress on carbohydrates in apple under water stress. *Australian journal of plant physiology*, 22, 747-754(1995).
  103. Wen, P., Li, H., Lei, H., & Zhang, F. (2021). High spectral data acquisition and pretreatment method of water-injection mutton. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*.doi:10.16853/j.cnki.1009-3575.2021.02.015.42(2).
  104. Wen, X., Zhu, X., Yu, R., Xiong, J., Gao, D., Jiang, Y., Yang, G. (2019). Visualisation of chlorophyll content distribution in apple leaves based on hyperspectral imaging technology. *Agricultural Sciences*, 10, 6.
  105. Williams, P. & Norris, K. (2001). Near-infrared technology in the agricultural and food industries. Vol. 2, edited by St. Paul, Minn. American Assn. of Cereal Chemists.
  106. Willis Orchard Company. (2021). Apple seedlings. <https://www.willisorchards.com/product/apple-seedlings#.YZjPaJfYtPY>.
  107. Wu, X., Wu, X., Huang, H., Zhang, F., & Wen, Y. (2023). Characterization of Pepper Ripeness in the Field Using Hyperspectral Imaging (HSI) with Back Propagation (BP) Neural Network and Kernel Based Extreme Learning Machine (KELM) Models. *Analytical Letters*, 1-16.
  108. Xu, J., & Gowen, A. (2020). Spatial-spectral analysis method using texture features combined with PCA for information extraction in hyperspectral images. *Journal of Chemometrics*, 34(2), e3132.
  109. Yamaguchi, I., Cohen, J. D., Culler, A. H., Quint, M., Slovin, J. P., Nakajima, M., ... & Sakagami, Y. (2010). 4.02—plant hormones. *Comprehensive Natural Products II, Chemistry and Biology* (ed. Liu HW & Mander L.), 9-125.
  110. Yamashita, H., Sonobe, R., Hirono, Y. et al. (2020). Dissection of hyperspectral reflectance to estimate nitrogen and chlorophyll contents in tea leaves based on machine learning algorithms. *Sci Rep*, 10, 17360. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73745-2>
  111. Yang, X., Hong, H., You, Z., & Cheng, F. (2015). Spectral and image integrated analysis of hyperspectral data for waxy corn seed variety classification. *Sensors*, 15(7), 15578-15594.
  112. Yin, W., Chu, Z., Zhu, H., Zhao, Y., & Yong, H. (2017). Application of near-infrared hyperspectral imaging to discriminate

- different geographical origins of Chinese wolfberries. *Plos One*.12(7), e0180534.
113. Yu, C., Li, F., Chang, C. I., Cen, K., & Zhao, M. (2020). Deep 2D convolutional neural network with deconvolution layer for hyperspectral image classification. In *Communications, Signal Processing, and Systems: Proceedings of the 2018 CSPS Volume II: Signal Processing 7th* (pp. 149-156). Springer Singapore.
114. Yu H, Wang R, Yin Y, Liu Y. (2018). Prediction of polysaccharide and total sugar in wolfberry based on spectral and texture information from the hyperspectral image. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 32(3), 0523-0531.
115. Yuan, X., Zhang, X., Zhang, N., Ma, R., He, D., Bao, H., & Sun, W. (2023). Hyperspectral Estimation of SPAD Value of Cotton Leaves under Verticillium Wilt Stress Based on GWO–ELM. *Agriculture*, 13(9), 1779.
116. Zhang, H., Zhang, W., Zhang, Y. (2022). Research on classification method of flue-cured tobacco based on the fusion of hyperspectral and texture features[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 28(3). doi:10.16472/j.chinatobacco.2021.T0139.
117. Zhang, H., Ge, Y., Xie, X., Atefi, A., Wijewardane, N. K., & Thapa, S. (2022). High throughput analysis of leaf chlorophyll content in sorghum using RGB, hyperspectral, and fluorescence imaging and sensor fusion. *Plant Methods*, 18(1), 1-17.
118. Zhang, J., Zhang, W., Xiong, S., Song, Z., Tian, W., Shi, L. & Ma, X. (2021). Comparison of the new hyperspectral index and machine learning models for winter wheat leaf water content prediction. *Plant Methods*, 17, 34. <https://doi.org/10.1186/s13007-021-00737-2>.
119. Zhu, H., Chu, B., Zhang, C., Liu, F., Jiang, L., & He, Y. (2017). Hyperspectral imaging for presymptomatic detection of tobacco disease with successive projections algorithm and machine-learning classifiers. *Scientific reports*, 7(1), 4125.

## **Análisis Comparativo del Posicionamiento Preciso Utilizando el Receptor de Bajo Costo GNSS ZED-F9P en Conjunto con la Antena BEIBT300 y Diferentes Modelos de Antena de Orden Geodésico**

*C. Lizbeth G. Santiago-Sánchez*

*Dr. Rosendo Romero-Andrade*

*Dr. Manuel E. Trejo-Soto*

*MC. Daniel Hernández-Andrade*

*MC. Yedid G. Zambrano-Medina*

*Dr. Norberto Alcántar-Elizondo*

*Ing. Naccieli Bojorquez-Pacheco*

*C. Rafaela M. Llanes-Hernández*

*MC. Aníbal I. Arana-Medina*

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio,  
Universidad Autónoma de Sinaloa, México

*C. José M. Briseño-Morán*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,  
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

*Dr. Richard Serrano-Agila*

Departamento de Geociencias,  
Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p36](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p36)

Submitted: 20 December 2023

Accepted: 08 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Santiago-Sánchez L.G., Romero-Andrade R., Trejo-Soto M.E., Hernández-Andrade D., Zambrano-Medina Y.G., Alcántar-Elizondo N., Bojorquez-Pacheco N., Llanes-Hernández R.M., Arana-Medina A.I., Briseño-Morán J.M. & Serrano-Agila R. (2024). *Análisis Comparativo del Posicionamiento Preciso Utilizando el Receptor de Bajo Costo GNSS ZED-F9P en Conjunto con la Antena BEIBT300 y Diferentes Modelos de Antena de Orden Geodésico*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 36.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p36>

### **Resumen**

Con el avance de la Geodesia y la mejora de las especificaciones técnicas de los receptores de bajo costo, los GNSS abren nuevas alternativas

para investigar las capacidades técnicas y rendimiento real que proveen este tipo de receptores para diferentes propósitos geodésicos. En este contexto, la precisión alcanzable fue analizada usando el receptor de bajo costo GNSS ZED-F9P en conjunto con dos antenas de orden geodésico (ASH701975.01B y LEIAS10 NONE) y una antena de bajo costo (BEIBT300 NONE). Las observaciones GNSS fueron llevadas a cabo en un periodo de dos días para cada modelo de antena. El análisis fue realizado en tiempos de observación de 12, 6 y 1 h, respectivamente. Estas observaciones fueron procesadas usando el método relativo estático mediante la inclusión de una estación de referencia continua del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, la cual está localizada a una distancia aproximada de 4 km. Los resultados demuestran que la mayor precisión es lograda en un periodo de 12 h, con diferencias mínimas de 3 cm para la componente Norte y 33 cm para la vertical. En este sentido, la solución menos precisa es obtenida en el periodo de 1 h resultando diferencias de 70 cm, 46 cm y 2.3 m para la componente Norte, Este y vertical respectivamente.

---

**Palabras clave:** ZED-F9P, Receptor de bajo costo GNSS, GNSS, método relativo estático

---

## **Comparative Analysis of Precise Positioning Using Low-Cost GNSS Receiver ZED-F9P with Antenna BEIBT300 and Different Antennas of Geodetic Order**

*C. Lizbeth G. Santiago-Sánchez*

*Dr. Rosendo Romero-Andrade*

*Dr. Manuel E. Trejo-Soto*

*MC. Daniel Hernández-Andrade*

*MC. Yedid G. Zambrano-Medina*

*Dr. Norberto Alcántar-Elizondo*

*Ing. Naccieli Bojorquez-Pacheco*

*C. Rafaela M. Llanes-Hernández*

*MC. Aníbal I. Arana-Medina*

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio,  
Universidad Autónoma de Sinaloa, México

*C. José M. Briseño-Morán*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,  
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

*Dr. Richard Serrano-Agila*

Departamento de Geociencias,  
Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador

---

### **Abstract**

With advancements in geodesy and enhancements in the technical specifications of low-cost receivers, GNSS opens up new avenues for investigating the capabilities and performance provided by these receivers for various geodetic purposes. In this context, the precision achievable using the low-cost GNSS receiver ZED-F9P in conjunction with two geodetic antennas (ASH701975.01B and LEIAS10 NONE) and a low-cost antenna (BEIBT300 NONE) was analyzed. GNSS observations were conducted over a 2-day period for each antenna model. The analysis involved observation durations of 12, 6, and 1 h. These observations were processed using the static relative method alongside a continuously operating GNSS station from the Active National Geodetic Network of the National Institute of Statistics and Geography, situated at ~4 km. The results demonstrate that the highest precision was achieved over a 12 h period, with minimal differences of 3 cm for the North component and 33 cm for the vertical component. Conversely, the least accurate solution was obtained within a 1 h observation period, resulting in differences of up to 70 cm, 46 cm, and 2.3 m for the North, East,

and vertical components, respectively.

---

**Keywords:** ZED-F9P, Low-cost GNSS, GNSS, Static Relative method

## Introducción

Los Sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS) han tenido un gran auge a nivel mundial debido a la precisión, cobertura global y diversas aplicaciones como deformación de la corteza (Dumka et al., 2022; Garate et al., 2015; García-Armenteros, 2023; Hernández-Andrade et al., 2022), análisis ionosférico como precursor sísmico (Nayak et al., 2023c, 2023b, 2023a; Sharma et al., 2023, 2020), monitoreo de estructuras (Yigit and Gurlek, 2017), siendo ejemplo de algunos estudios realizados con los receptores geodésicos.

Durante la época de los años 90, surgen los denominados equipos GNSS de bajo costo inicialmente para trabajos de mapeo (Tsakiri et al., 2018; Zamora-Maciel et al., 2020; Tsakiri et al., 2017), más sensibles en la recepción de señal logrando una potencia promedio de la señal recibida de -160 dB (Zhang and Schwieger, 2016) incluso con una sola frecuencia, en comparación a los equipos de orden geodésico que logran  $\sim$ -128.5 dB (Zamora-Maciel et al., 2020).

En el estado del arte, se han realizado investigaciones que demuestran la potencialidad de uso de los receptores de bajo costo. Cina and Piras, (2015) evaluó el rendimiento de los equipos de bajo costo para el monitoreo de laderas, demostrando que es posible alcanzar el orden de mm, siendo capaces de observar deformaciones en esta magnitud. Más tarde, Hamza et al., (2023) utilizó técnicas en tiempo real y de posicionamiento puntual preciso al igual que Hohensinn et al., (2022), quienes reportan precisiones de mm. Zhang and Schwieger, (2016) mejoraron la precisión obtenida basándose en la compensación del efecto multitrayectoria al colocar la estación de bajo costo GPS cerca de una superficie reflejante y mitigar directamente este efecto. Caldera et al., (2016) investigaron el impacto del software usado para el procesamiento de datos provenientes de equipos de bajo costo, los resultados demuestran que usando equipos de bajo costo en compañía de software libre para el procesamiento de observaciones GNSS, es posible lograr un orden milimétrico en una línea base corta. Gill et al., (2017) probaron los equipos de bajo costo y ultra bajo costo mediante la técnica de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP), comparando con la solución obtenida con un receptor de orden geodésico, determinando que los receptores de ultra bajo costo son inferiores en precisión a los de bajo costo y por ende a los de orden geodésico en aproximadamente 37 y 51 cm, respectivamente. Romero-Andrade et al., (2019) prueban que los equipos de bajo costo son útiles en diferentes sistemas embebidos para posicionamiento preciso. Garrido-Carretero et al., (2019) investigan si es una posible opción el uso de los equipos de bajo costo GNSS



en modo RTK bajo el estándar ISO-17123-8, demostrando que es factible en bajo líneas geodésicas cortas. Zamora-Maciel et al., (2020) evalúa una línea base geodésica utilizando equipos de bajo costo en sistemas embebidos, demostrando que pueden lograrse diferencias en el orden del mm en líneas base de ~5 km mediante la técnica Diferencial GPS. Romero-Andrade et al., (2021) demostraron que es recomendable realizar observaciones en altas frecuencias debido a la pérdida de observaciones y, que, es posible alcanzar un nivel centimétrico usando la técnica de PPP. Wielgocka et al., (2021) investigaron el rendimiento del receptor de bajo costo ZED-F9P conectado con la antena ANN-MB-00-00 a través del método PPP y en Tiempo Real Cinemático (RTK) logrando precisiones de hasta 5 cm. Romero-Andrade et al., (2021) evaluaron el posicionamiento obtenido a través de los métodos Relativo Estático (RE) y PPP, demostrando que los receptores de bajo costo de una frecuencia no son aptos para su uso en áreas urbanas mediante el método PPP, sin embargo, para el RE, es posible usarlos en líneas bases menores a 20 km. Janos and Kuras, (2021) comprobaron y evaluaron la precisión del posicionamiento obtenido en ambientes con distintos entornos, encontrando que la antena de parche ANN-MB-00-00 es ideal para trabajar en cielo abierto, asimismo, con antena de orden geodésico alcanza una alta precisión. Borio et al., (2022) demostraron la posibilidad de uso de los receptores GNSS de bajo costo para medir zonas con material radioactivo determinando que las trayectorias son precisas. Zahradník et al., (2022) mostraron la posibilidad de uso del receptor ublox F9P para fines geodésicos en el sistema embebido Arduino, alcanzado precisiones centimétricas en modo RTK. Krietemeyer et al., (2022) presentaron un método de calibración directo en campo donde no se requiere un software costoso, mostrando posicionamiento entre 5.6 a 3.8 mm con antena de bajo costo en modo Cinemático en post-proceso, comparable con una antena de orden geodésico. Sanna et al., (2022) combinaron el uso de receptores de bajo costo en conjunto para antenas de orden geodésico en tiempo real, encontrando que para cielos despejados es posible obtener 95% de las observaciones fijas en tiempo real con un tiempo de adquisición de 1 o 2 s. Tunini et al., (2022) implementaron por primera vez la aplicabilidad de los sensores de bajo costo GNSS en estudios de deformación de la corteza terrestre, demostrando que es posible lograr mm mediante el uso de software científico, así como series temporales similares a las obtenidas con equipo de orden geodésico. Amami, M., et al., (2022) demostró que al combinar el receptor de bajo costo GPS con un sistema inercial, es posible obtener resultados precisos con el método relativo estático y cinemático solo con la fase portadora en modo diferencial. Kazmierski et al., (2023) analizan el uso práctico de los equipos de bajo costo en una red geodésica, encontrando que para sesiones de 24 y 10 min de observación se puede lograr 17 y 40 mm, respectivamente, lo cual hace posible utilizarlos

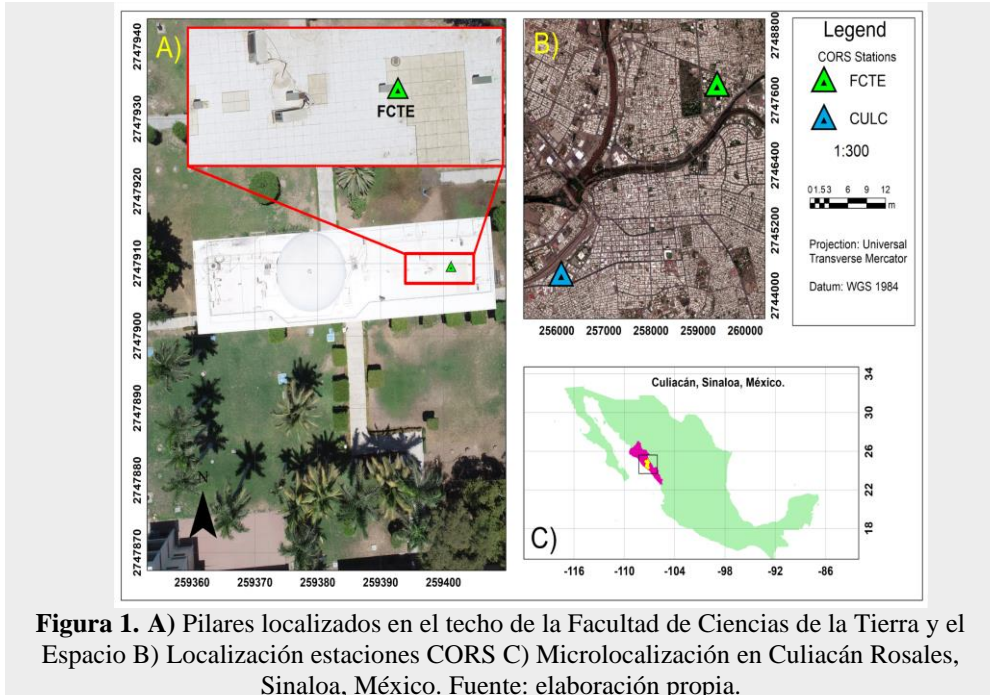


para un monitoreo geodésico. Bojorquez-Pacheco et al., (2023) utilizaron los receptores NEO-M8T, NEO-6T y ZED-F9P para determinar la factibilidad de uso a distancias de 4 y 33 km en modo relativo estático, demostrando que los modelos son aptos para trabajar en topografía y geodesia. Recientemente, Hernández-Andrade, et al., (2024), realizaron una calibración de línea base geodésica con receptores GNSS de orden geodésico y de bajo costo, donde además empleó mediciones electrónicas de distancia (EDM) con estación total, usando antenas de bajo costo y de orden geodésico mediante el método relativo estático, en el cual, demostró que las diferencias máximas pueden alcanzar hasta 1.2 cm.

En este sentido, el principal objetivo de esta investigación es probar la precisión que es posible alcanzar con antenas de orden geodésico (ASH701975.01A, LEIAS10 NONE) y de bajo costo (BIEBT300 NONE), en conjunto de un receptor GNSS de bajo costo (ZED-F9P-02B-00) de doble frecuencia, considerando tiempos de observación de 12, 6 y 1 hr, procesando bajo el método relativo estático, tomando como coordenadas de referencia las del posicionamiento obtenido en 24 hr de observación continua.

### **Área de estudio**

Con el fin de aplicar en el procesamiento de las observaciones GNSS el método relativo estático, fue considerada la estación de operación continua GNSS del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) (<https://www.inegi.org.mx/app/geo2/rgna/>) mediante la estación “CULC”, localizada en la ciudad de Culiacán de Rosales, Sinaloa, en México. La estación de monitoreo “FCTE” donde se realizaron las observaciones de este experimento se encuentra sobre el techo de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio aproximadamente a 5 km de la estación de monitoreo continuo “CULC”, siendo un monumento de centrado forzoso para evitar errores de centrado y en condiciones climatológicas óptimas con un entorno alrededor de la antena limpio (Figura 1).



## Metodología

### Recolección y procesamiento de las observaciones GPS

Se utilizaron tres antenas distintas, 2 antenas de orden geodésico (ASH701975.01B NONE y LEIAS10 NONE) y una de bajo costo (BIEBT300 NONE) con calibración del *National Geodetic Survey* (NGS) (Figura 2) en conjunto con un receptor GNSS de bajo costo (ZED-F9P-02B-00) de la serie u-blox.



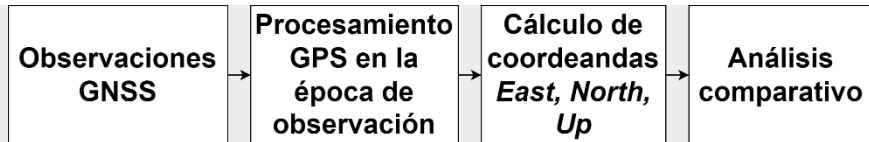
El receptor de bajo costo GNSS (Figura 3), cuenta con las constelaciones GPS, GLONASS, GALILEO; QZSS y BeiDou; con un tiempo de adquisición de inicio frío de 15 s, inicio caliente 2 s, inicio ayudado 2 s; tiempo de convergencia < 10 s; precisión horizontal de 1.5 m; precisión

vertical de 0.01 m + 1 ppm; con bandas GPS/QZSS L1C/A, L2C; GLONASS L1OF, L2OF; GALILEO E1-B/C, E5b; BeiDou B1I, B2I (Ublox, 2023).



**Figura 3.** Receptor GNSS de bajo costo modelo ZED-F9P-02B-00. Fuente: elaboración propia.

La metodología utilizada para la investigación es presentada en la Figura 4.



**Figura 4.** Metodología utilizada para la investigación. Fuente: elaboración propia.

Las campañas de observación fueron llevadas a cabo del 05 al 16 de junio de 2023 de forma continua (Tabla 1) en el techo de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el espacio ubicada en Culiacán Rosales, Sinaloa, México (Figura 1); considerando la hora local (tiempo del pacífico) y UTC (UTC-7).

**Tabla 1.** Campaña de mediciones por día de la antena (inicio de mediciones en hora geodésica). Fuente: Elaboración propia.

CAMPAÑA DE MEDICIÓN		
Antena	Fechas de observación	
	Día 1	Día 2
<b>LEIAS10 NONE</b>	06 y 07 de junio 2023	07 y 08 de junio 2023
<b>ASH701975.01B</b>	09 y 10 de junio del 2023	10 y 11 de junio del 2023
<b>BEIBT300 NONE</b>	12 y 13 de junio 2023	13 y 16 de junio 2023

El receptor de bajo costo GPS fue controlado usando una computadora de escritorio mediante el software RTKLIB (Takasu, 2013) en el sistema Ubuntu a través del uso de programación en Shell-C (Newham and Rosenblatt, 2005), de tal forma que cada observación generara un archivo (“obs” y “nav”) para los días. Los archivos en formato “ubx” fueron convertidos a “obs” en

“RTKConv” de RTKLIB en LINUX. El intervalo de observación fue considerado a 5 hz, debido a que tienden a perder observaciones los receptores de bajo costo (Romero-Andrade et al., 2021), asimismo, las observaciones fueron decimadas a 15 s con el software TEQC (Estey and Wier, 2014) debido a que la estación de referencia de operación continua “CULC” está configurada a este intervalo de observación y así poder aplicar el método relativo estático (Hofmann-Wellenhof et al., 2008). En este sentido, se utilizó el software TEQC para convertir los archivos a un tiempo de 12, 6 y 1 h.

Debido a que las coordenadas de la estación de referencia se encuentran en el ITRF08 época 2010.0 (por normatividad en el país de México), se aplicó la reducción al marco de referencia ITRF08 época 2023.4466 conforme a lo expuesto en Bojorquez-Pacheco et al., (2023); INEGI, (2016) para considerar las mismas épocas de observación y tener en cuenta la deformación del marco tectónico en el tiempo. Las observaciones GPS fueron procesadas utilizando el software comercial Topcon Tools (Topcon, 2009), observables de Código y Fase en L1 y L2, una máscara de elevación de 15° (usualmente este ángulo es usado para evitar la visibilidad de los satélites de baja elevación) (Hofmann-Wellenhof et al., 2008; Zamora-Maciél et al., 2020), Corrección del centro de fase de la antena mediante el archivo ANTEX del IGS y NGS, órbitas precisas finales (SP3) (Spofford and Remondi, 1994), considerando únicamente la constelación GPS debido a que se prueba la precisión que es posible obtener con únicamente con la constelación más robusta y con mayor disponibilidad de satélites en la ubicación geográfica debido al tiempo de operación; un resumen de los parámetros y software utilizado es presentado en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Parámetros usados para el posicionamiento relativo estático. Fuente: elaboración propia.

<b>Software</b>	Topcon Tools
<b>Observables</b>	Código y Fase; L1 y L2
<b>Máscara de elevación</b>	15°
<b>Corrección de centro de fase de la antena</b>	ANTEX IGS y NGS
<b>Método</b>	Relativo estático
<b>Orbitas satelitales</b>	Precisas (IGS)
<b>Marco de referencia</b>	ITRF08 época 2023.4466
<b>Intervalo de observación</b>	15 s
<b>Constelación</b>	GPS

Una vez procesados los archivos, se consideró la solución con mayor tiempo de observación (24 hr) de una campaña anterior de 24 h como referencia para calcular las coordenadas ENU (North, East y Up) para ver la variación en función del tiempo y de las antenas con calibración.

## Resultados

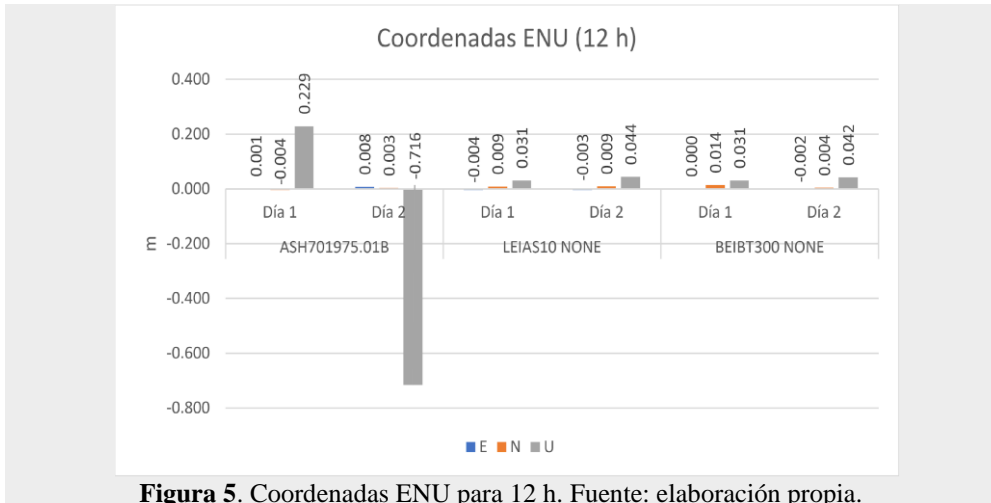
En la Tabla 3 se muestran los resultados de las observaciones con las precisiones logradas.

Tabla 3. Resultados de las observaciones GNSS. Fuente: elaboración propia.											
DIA 1											
Intervalos de observación											
12				6				1			
Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura
24°49'37.7 8958"N	107°22'49. 92251"W	41.983	24°49'37.7 8948"N	107°22'49. 92252"W	41.979	24°49'37.7 8951"N	107°22'49. 92275"W	41.772	0.001	0.001	0.003
0.001	0.001	0.003	0.002	0.002	0.007	0.002	0.002	0.006	0.002	0.002	0.006
24°49'37.7 8983"N	107°22'49. 92265"W	41.813	24°49'37.7 8985"N	107°22'49. 92264"W	42.044	24°49'37.7 7302"N	107°22'49. 91162"W	42.969	0.001	0.001	0.009
0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.004	0.004	0.003	0.009	0.004	0.003	0.009
24°49'37.7 8970"N	107°22'49. 92277"W	41.84	24°49'37.7 8969"N	107°22'49. 92279"W	42.052	24°49'37.7 8947"N	107°22'49. 92290"W	41.833	0.002	0.002	0.008
0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.005	0.003	0.003	0.008	0.003	0.003	0.008
DIA 2											
12				6				1			
Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura
24°49'37.7 8981"N	107°22'49. 92275"W	42.038	24°49'37.7 8981"N	107°22'49. 92275"W	42.038	24°49'37.7 8944"N	107°22'49. 92254"W	41.812	0.006	0.006	0.019
0.006	0.004	0.015	0.006	0.004	0.015	0.007	0.007	0.019	0.007	0.007	0.019
24°49'37.7 8985"N	107°22'49. 92267"W	41.826	24°49'37.7 8985"N	107°22'49. 92267"W	42.056	24°49'37.7 8975"N	107°22'49. 92240"W	41.849	0.001	0.001	0.007
0.001	0.001	0.004	0.001	0.001	0.004	0.003	0.002	0.007	0.003	0.002	0.007
24°49'37.7 8938"N	107°22'49. 92271"W	41.851	24°49'37.7 8932"N	107°22'49. 92267"W	42.059	24°49'37.7 9069"N	107°22'49. 90885"W	42.794	0.002	0.002	0.011
0.002	0.002	0.006	0.002	0.002	0.006	0.004	0.004	0.011	0.004	0.004	0.011

				24		
ANTENA	Longitud	Latitud	Altura			
<b>ASH70197 5.01B</b>	24°49'37.7 9390"N	107°22'49. 92259"W	41.733			
<b>Desv.Est</b>	0.002	0.001	0.004			
<b>LEIAS10 NONE</b>	24°49'37.7 9426"N	107°22'49. 92269"W	41.816			
<b>Desv.Est</b>	0.001	0.001	0.003			
<b>BEIBT300 NONE</b>	24°49'37.7 9627"N	107°22'49. 91630"W	44.143			
<b>Desv.Est</b>	0.01	0.009	0.025			
				24		
ANTENA	Longitud	Latitud	Altura			
<b>ASH70197 5.01B</b>	24°49'37.7 9374"N	107°22'49. 92273"W	41.763			
<b>Desv.Est</b>	0.003	0.003	0.008			
<b>LEIAS10 NONE</b>	24°49'37.7 9424"N	107°22'49. 92275"W	41.829			
<b>Desv.Est</b>	0.002	0.002	0.005			
<b>BEIBT300 NONE</b>	24°49'37.7 9484"N	107°22'49. 92020"W	43.257			
<b>Desv.Est</b>	0.004	0.003	0.01			

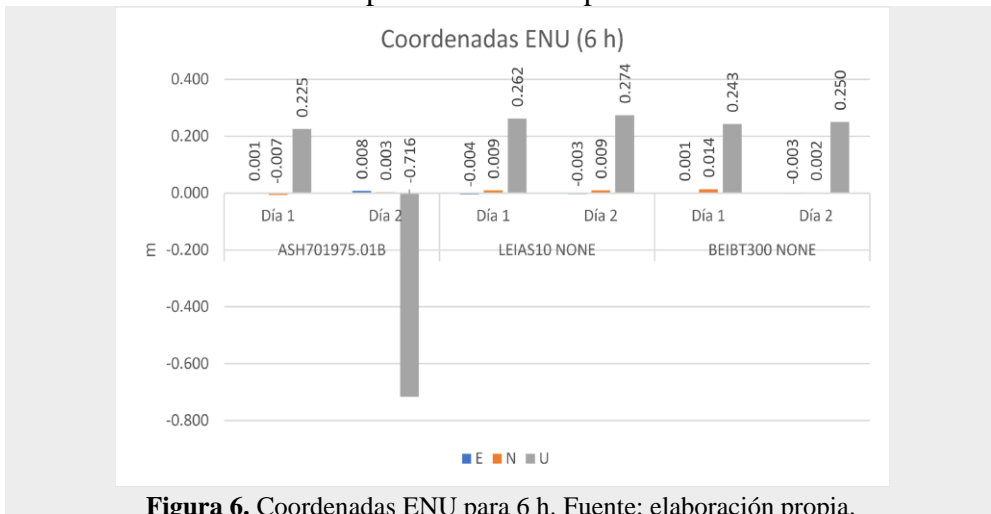
Los resultados expresados en el sistema ENU, para las diferentes antenas y diferentes intervalos de tiempo (Figuras 5-8). En la Figura 5, se muestran los resultados obtenidos en un periodo de tiempo de 12 h. Para la antena de bajo costo BEIBT300 NONE, se logra una alta precisión con diferencias hasta de 1 cm en la componente norte, y mostrando el orden de mm para la componente Este. En el caso de la componente vertical (U), se tiene una diferencia máxima de 4 cm.

Para las antenas de orden geodésico, se tiene que para el modelo ASH701975.01B logra en la componente horizontal una diferencia máxima de 8 mm, y con una mínima de 1 mm. No obstante, para la componente vertical, presenta diferencias máximas hasta de 70 cm. Para la antena LEIAS10 NONE la componente horizontal se mantuvo en el orden milimétrico, por otro lado, la componente vertical es de máximo 4 cm; siendo la componente vertical de la antena geodésica ASH701975.01B la que es menos precisa.



**Figura 5.** Coordenadas ENU para 12 h. Fuente: elaboración propia.

Para el tiempo de observación de 6 h (Figura 6), la componente vertical en las tres antenas se encuentra con la mayor diferencia, alcanzando un máximo de 70 cm para el modelo ASH701975.01B, seguido de la antena LEAS10 NONE y siendo la más precisa la antena de bajo costo BEIBT300 NONE para la componente vertical. Para la componente horizontal, las tres antenas se encuentran en el orden del mm, siendo la antena de bajo costo BEIBT300 NONE la menos precisa en la componente Norte alcanzando el cm.

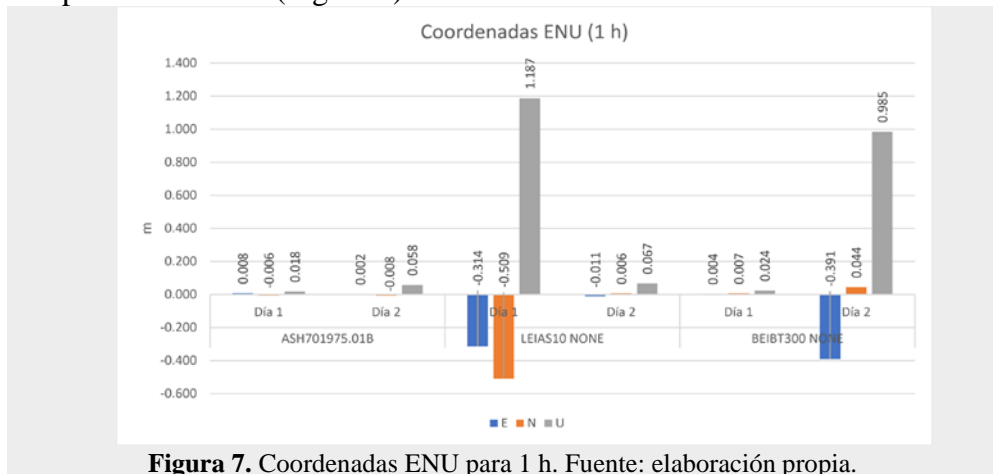


**Figura 6.** Coordenadas ENU para 6 h. Fuente: elaboración propia.

Al considerar una hora de observación las diferencias se vuelven más grandes como lo es el caso de la antena de orden geodésico LEIAS10 NONE y la de bajo costo BEIBT300 NONE, sin embargo, estas diferencias se encuentran al iniciar el día GPS, alcanzando máximo 50 cm en la componente horizontal, en este sentido, para la vertical, aumenta a más de un m. No

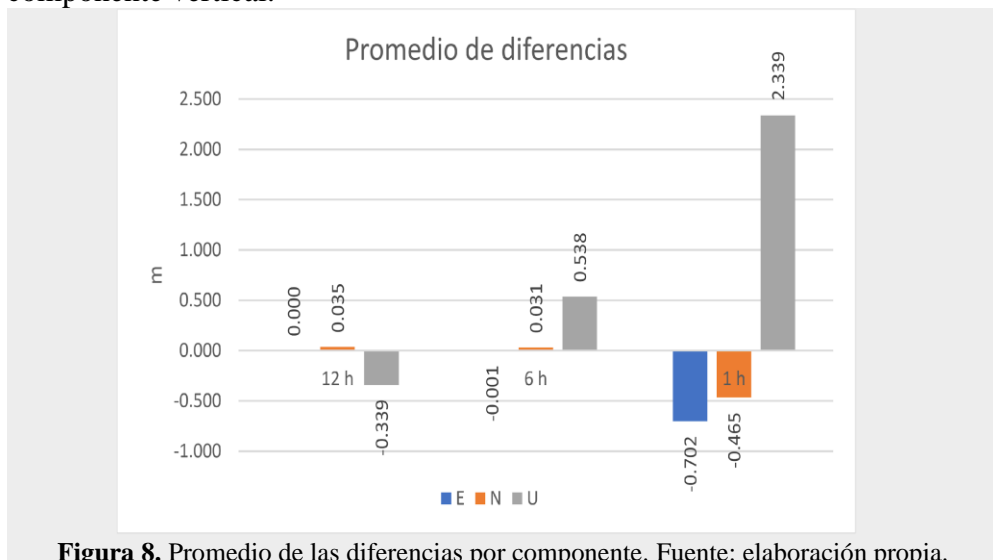


obstante, para la antena de orden geodésico ASH701975.01B se presentan en ambos días diferencias en el orden del mm para la horizontal y cm en la componente vertical (Figura 7).



**Figura 7.** Coordenadas ENU para 1 h. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8 se presentan el promedio por día, componente y hora; mostrando un claro aumento de precisión en función del tiempo, no obstante, para el caso de una hora, las diferencias logran exceder los 50 cm, así como en la componente vertical 2 m. Por otro lado, para el caso de realizar observaciones a 12 horas, se muestra unas diferencias de dos cm para la componente vertical.



**Figura 8.** Promedio de las diferencias por componente. Fuente: elaboración propia.

Considerando los valores obtenidos, se calcula el sentido y desplazamiento. Se analizan los factores de desplazamiento para un periodo de observaciones de 12, 6 y 1 h en los tres tipos distintos de antenas. Para la



antena ASH701975.01B en el día uno de las observaciones, muestra su desplazamiento con sentido NW (Noroeste) en los 3 periodos de observaciones, con un vector resultante que oscila entre los 0.008 m y 0.009 m, distinto al día 2 donde se observa un desplazamiento sentido NE (Noroeste) en periodos de observación de 12 y 6 h en cambio para 1 h muestra un desplazamiento con dirección al NW, con un vector resultante de 0.008 m en 12 y 6 h de observación; para 1 h con 0.002 m.

En los desplazamientos de la antena LEIAS10 NONE se muestra para el día uno en un periodo de observación de 12 h un solo sentido de desplazamiento hacia el SW (Suroeste), mientras que para los periodos de 6 y una hora muestra desplazamiento en el día uno con sentido SW y en el día dos SE, mostrando un vector resultante oscilante de 0.008 m en ambos días para periodos de 12 y 6 h en cambio para 1 h un resultante de 0.573 m y 0.001 m para el día 1 2, respectivamente.

Para la antena BEIBT300 NONE en el primer día de observaciones, se presenta un desplazamiento NE (Noreste) con vector resultante de 0.004 m en el día 1 para 12 y 1 h; en cambio para el periodo de observación de 6 h, se obtiene un factor resultante de 0.002. Para el día 2 de observaciones se obtiene un desplazamiento en sentido SE (Sureste); presentando para los 3 periodos resultados de 0.002 m en 12 h, 6 horas 0.003 m y para 1 h un desplazamiento de 0.391 m.

## **Conclusion y discusión**

Los resultados obtenidos en este estudio son comparables en líneas base largas como los presentados en Kumar and Anurag, (2023), donde se demuestra que es posible alcanzar hasta 5 mm en la horizontal y 1.2 cm en la vertical, esto también es encontrado con la antena de bajo costo BEIBT300 NONE. Por otro lado, las soluciones obtenidas son equiparables a los presentados en Bojorquez-Pacheco et al., (2023) en el orden del mm en ambas componentes, para el caso de los receptores de una frecuencia usados en ese estudio, se muestran constantes, sin embargo, estos resultados obtenidos muestran una correspondencia para los casos de 12 y 6 horas. Bojorquez-Pacheco et al., (2022), demuestra que los receptores de bajo costo de una frecuencia al considerar un intervalo de una hora no logran alta precisión ni exactitud, no obstante, la antena y el receptor de doble frecuencia utilizados por los autores, no resultó ser la más precisa para nuestro caso.

Las mayores diferencias encontradas conforme a los valores de referencia (24 h) son más precisos con los resultados expuestos por Romero-Andrade et al., (2021), donde se ve que un entorno con obstrucciones, una antena no calibrada y la técnica PPP brindan una posicionamiento preciso aceptable, no obstante, es posible mejorarlo al utilizar el método RE y una antena con parámetros de calibración.

Por otro lado, existen estudios donde se prueba la factibilidad de usar diferentes antenas en conjunto con el receptor ZED-F9P con antenas de bajo costo con y sin calibrar, donde se demuestra que las antenas de bajo costo al estimar los coeficientes de calibración mejoran el rendimiento (Krietemeyer et al., 2022), esto es probado en este estudio, no obstante, los resultados precisos se presentan en tiempos superiores a 1 hora.

Conforme a lo presentado, la componente vertical aun cuando se utiliza un equipo de bajo costo en conjunto con una antena geodésica se presenta una baja precisión en todos los tiempos de observación.

En lo que respecta para la aplicación en trabajos de orden topográfico-geodésico (Romero-Andrade et al., 2020), es necesario considerar un posicionamiento mayor a 1 h, ya que los resultados demuestran que se necesita más de 1 h para alcanzar el orden de los mm.

En este sentido, la antena de orden geodésico ASH701975.01B NONE presenta los mejores resultados utilizando el método RE, no obstante, la antena de bajo costo BEIBT300 NONE presenta una solución precisa. Las antenas ASH701975.01B NONE, BEIBT300 NONE y LEIAS10 NONE, no presentan una solución precisa al combinarse con un receptor de bajo costo por un periodo de 1 h, esto puede estar relacionado con la cantidad de observaciones realizadas por hora, ya que, al superar el tiempo de observación, las soluciones se vuelven más precisas conforme al periodo de observación más largo (24 h). Por otro lado, se descarta la influencia de fuentes de error como el efecto multitrayectoria o baja potencia de la señal, ya que no se presenta una menor precisión en tiempo superiores a 1 h, siendo evidente que es el tiempo de observación y cantidad de datos los que están relacionado con esta solución obtenida. En el caso de la componente vertical, en todos los casos resultó ser no precisa, sin embargo, la antena geodésica ASH701975.01B NONE presentó una mejor solución con base a las soluciones numéricas. Los resultados en forma general pueden verse afectados por el entorno de la antena, calibración, tipo de polarización y falta de potencia para alimentar la antena, etc. No obstante, evidentemente en un entorno controlado los resultados presentados son deseables. Autores como Romero-Andrade, et al. (2021), exponen la influencia de medir en entornos complicados como los son áreas urbanas con equipo de bajo costo se observa como es que son afectadas las mediciones en función del tiempo y el tipo de técnica usada para el procesamiento de los datos.

Conforme a los resultados presentados, el receptor ZED-F9P y las tres antenas utilizadas cumplen para realizar trabajos de topografía-geodesia, la cual conforme a la normativa expuesta por INEGI es de al menos 5 dm para densificación del sistema primario de la Red Geodésica Nacional Activa. Al procesar archivos de 1 h podría ser no preciso para establecer una estación de referencia ya que, en este tiempo se obtuvo una mayor diferencia en la

componente horizontal y vertical, más si, una estación de monitoreo continuo para fines de deformación de la corteza, ya que se consideran observaciones de 24 h.

La selección del tipo de antena impacta sobre la precisión que se obtendrá, esto es bien conocido en el estado del arte, no obstante, es recomendable utilizar un receptor en conjunto con una antena de orden geodésico (debidamente calibrada), además de considerar el intervalo de observación, esto impactará considerablemente en la precisión obtenida.

Finalmente se demuestra que, la contribución de este trabajo se muestra al comprobar la posibilidad de lograr una alta precisión mediante la combinación de diferentes antenas geodésicas y el equipo de bajo costo más estudiado en el estado del arte.

### **Agradecimientos**

Este trabajo fue soportado por la Universidad Autónoma de Sinaloa a través de la Facultad de Ciencias de la tierra y el Espacio mediante el proyecto PROFAPI2022 con clave PRO\_A1\_027 y por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Técnica Particular de Loja a través de la Convocatoria Proyectos 2023. Agradecer a los revisores que ayudaron a mejorar este trabajo.

**Conflicto de intereses:** Los autores no declararon ningún conflicto de intereses.

**Disponibilidad de los datos:** Todos los datos están incluidos en el contenido del artículo.

**Declaración de financiación:** Los autores no obtuvieron financiación para esta investigación.

### **Referencias:**

1. Bojorquez-Pacheco, N., Romero-Andrade, R., Trejo-soto, M.E., Hernández-Andrade, D., Trejo-Echeagaray, M., 2022. Evaluación del posicionamiento preciso a través de los receptores GPS LEA-6T , NEO-M8T y ZED-F9P de bajo costo. Eur. Sci. J. 68–89. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n24p68>
2. Bojorquez-Pacheco, N., Romero-Andrade, R., Trejo-Soto, M.E., Hernández-Andrade, D., Nayak, K., Vidal-Vega, A.I., Arana-Medina, A.I., Sharma, G., Acosta-gonzález, L.E., Serrano-Agila, R., 2023. Performance evaluation of single and double-frequency low-cost GNSS receivers in Static Relative mode. Geod. Vestn. 67, 244–257. <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2023.02.244-257>

3. Borio, D., Raiola, F., Gioia, C., Štefula, V., Hubert, P., 2022. Low-Cost GNSS Receivers for Radiometric Surveying: an Experimental Assessment, in: Proceedings of the 35th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2022). 35th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2022), pp. 889–907. <https://doi.org/10.33012/2022.18526>
4. Caldera, S., Realini, E., Barzaghi, R., Reguzzoni, M., Sansò, F., 2016. Experimental Study on Low-Cost Satellite-Based Geodetic Monitoring over Short Baselines. *J. Surv. Eng.* 142. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)su.1943-5428.0000168](https://doi.org/10.1061/(asce)su.1943-5428.0000168)
5. Cina, A., Piras, M., 2015. Performance of low-cost GNSS receiver for landslides monitoring: test and results. *Geomatics, Nat. Hazards Risk* 6, 497–514. <https://doi.org/10.1080/19475705.2014.889046>
6. Dumka, R.K., SuriBabu, D., Kotlia, B.S., Kothyari, G.C., Prajapati, S., 2022. Crustal deformation measurements by global positioning system (GPS) along NSL, western India. *Geod. Geodyn.* 13, 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2021.05.004>
7. Estey, L., Wier, S., 2014. Teqc Tutorial: basics of Teqc use and Teqc products.
8. Garate, J., Martin-Davila, J., Khazaradze, G., Echeverria, A., Asensio, E., Gil, A.J., de Lacy, M.C., Armenteros, J.A., Ruiz, A.M., Gallastegui, J., others, 2015. Topo-Iberia project: CGPS crustal velocity field in the Iberian Peninsula and Morocco. *GPS Solut.* 19, 287–295.
9. García-Armenteros, J.A., 2023. Topo-Iberia CGPS network : A new 3D crustal velocity field in the Iberian Peninsula and Morocco based on eleven years ( 2008 – 2019 ). *GPS Solut.* 27, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10291-023-01484-8>
10. Garrido-Carretero, M.S., de Lacy-Pérez de los Cobos, M.C., Borque-Arancón, M.J., Ruiz-Armenteros, A.M., Moreno-Guerrero, R., Gil-Cruz, A.J., 2019. Low-cost GNSS receiver in RTK positioning under the standard ISO-17123-8: A feasible option in geomatics. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 137, 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.045>
11. Gill, M., Bisnath, S., Aggrey, J., Seepersad, G., 2017. Precise Point Positioning (PPP) using low-cost and ultra-low-cost GNSS receivers. *30th Int. Tech. Meet. Satell. Div. Inst. Navig. ION GNSS 2017* 1, 226–236. <https://doi.org/10.33012/2017.15123>
12. Hamza, V., Stopar, B., Sterle, O., Pavlovčič-Prešeren, P., 2023. A Cost-Effective GNSS Solution for Continuous Monitoring of Landslides. *Remote Sens.* 15. <https://doi.org/10.3390/rs15092287>

13. Hernández-Andrade, Daniel, de Lacy-Pérez de los Cobos, M.C.P., Romero-Andrade, R., Trejo-Soto, M.E., 2024. Statistical Comparison of Geodetic Baseline for Topographic – Geodetic Purposes Using a Low-Cost GNSS Receiver and Electromagnetic Distance Measurement. *J. Surv. Eng.* 150, 1–10.  
<https://doi.org/10.1061/JSUED2.SUENG-1446>
14. Hernández-Andrade, Daniel, Romero-Andrade, R., Sharma, G., Trejo-Soto, M.E., Cabanillas-Zavala, J.L., 2022. Quality assessment of Continuous Operating Reference Stations (CORS) - GPS stations in Mexico. *Geod. Geodyn.* 13.  
<https://doi.org/10.1016/j.geog.2021.12.003>
15. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E., 2008. GNSS Global Navigation Satellite System GPS, GLONASS, Galileo and more. Springer Wien New York.
16. Hohensinn, R., Stauffer, R., Glaner, M.F., Herrera Pinzón, I.D., Vuadens, E., Rossi, Y., Clinton, J., Rothacher, M., 2022. Low-Cost GNSS and Real-Time PPP: Assessing the Precision of the u-blox ZED-F9P for Kinematic Monitoring Applications. *Remote Sens.* 14, 1–25.  
<https://doi.org/10.3390/rs14205100>
17. INEGI, 2016. Procesamiento de datos GPS considerando deformaciones del Marco Geodésico.
18. Janos, D., Kuras, P., 2021. Evaluation of Low-Cost GNSS Receiver under Demanding Conditions in RTK Network Mode. *Sensors (Basel)*. 21. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s21165552>
19. Kazmierski, K., Dominiak, K., Marut, G., 2023. Positioning performance with dual-frequency low-cost GNSS receivers. *J. Appl. Geod.* <https://doi.org/10.1515/jag-2022-0042>
20. Krietemeyer, A., Van der Marel, H., Van de Giesen, N., Ten Veldhuis, M.-C., 2022. A Field Calibration Solution to Achieve High-Grade-Level Performance for Low-Cost Dual-Frequency GNSS Receiver and Antennas. *Sensors (Basel)*. 22.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s22062267>
21. Kumar, A., Anurag, G., 2023. Accuracy Assessment of Relative GPS as a Function of Distance and Duration for CORS Network. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 4. <https://doi.org/10.1007/s12524-023-01701-4>
22. Mustafa M. Amami, 2022. The Advantages and Limitations of Low-Cost Single Frequency GPS/MEMS-Based INS Integration. *Glob. J. Eng. Technol. Adv.* 10, 018–031.  
<https://doi.org/10.30574/gjeta.2022.10.2.0031>
23. Nayak, K., López-Urias, C., Romero-Andrade, R., Sharma, G., Guzman-Acevedo, G.M., Trejo-Soto, M.E., 2023a. Ionospheric Total Electron Content ( TEC ) Anomalies as Earthquake Precursors :

- Unveiling the Geophysical Connection Leading to the 2023 Moroccan 6 . 8 Mw Earthquake. *Geosci.* 13.  
<https://doi.org/10.3390/geosciences13110319>
24. Nayak, K., López-Urias, C., Romero-Andrade, R., Sharma, G., Trejo-Soto, M.E., 2023b. Analysis of Seismo-Ionospheric Irregularities Using the Available PRNs  $v$ TEC from the Closest Epicentral cGPS Stations for Large Earthquakes, in: *Environmental Sciences Proceedings*. MDPI, pp. 1–7. <https://doi.org/10.3390/ecas2023-15144>
  25. Nayak, K., Romero-Andrade, R., Sharma, G., Cabanillas-Zavala, J.L., López-Urias, C., Trejo-Soto, M.E., Aggarwal, S.P., 2023c. A combined approach using b-value and ionospheric GPS-TEC for large earthquake precursor detection: a case study for the Colima earthquake of 7 . 7 - M w , Mexico. *Acta Geod. Geophys.* <https://doi.org/10.1007/s40328-023-00430-x>
  26. Newham, C., Rosenblatt, B., 2005. *Learning the bash shell: Unix shell programming*. “ O’Reilly Media, Inc.”
  27. Romero-Andrade, R., Cabanillas-zavala, J.L., Hernández-andrade, D., Trejo-soto, M.E., Monjardin-armenta, S.A., 2020. Análisis Comparativo Del Posicionamiento GNSS Utilizando Receptor De Bajo Costo U-Blox De Doble Frecuencia Para Aplicaciones Topógrafo-Geodésicas. *Eur. Sci. J.* 16, 289–312.  
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n27p289>
  28. Romero-Andrade, R., Trejo-Soto, M.E., Vázquez-Ontiveros, J.R., Hernández-Andrade, D., Cabanillas-Zavala, J.L., 2021. Sampling rate impact on Precise Point Positioning with a Low-Cost GNSS receiver. *Appl. Sci.* 11, 17.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app11167669>
  29. Romero-Andrade, R., Trejo-soto, M.E., Vega-ayala, A., Hernández-Andrade, D., Vázquez-Ontiveros, J.R., Sharma, G., 2021. Positioning Evaluation of Single and Dual-Frequency Low-Cost GNSS Receivers Signals Using PPP and Static Relative Methods in Urban Areas. *Appl. Sci.* 1–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app112210642>
  30. Romero-Andrade, R., Zamora-Maciel, A., Uriarte-Adrián, J.D.J., Pivot, F., Trejo-Soto, M.E., 2019. Comparative analysis of precise point positioning processing technique with GPS low-cost in different technologies with academic software. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 136. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.100>
  31. Sanna, G., Pisanu, T., Garau, S., 2022. Behavior of Low-Cost Receivers in Base-Rover Configuration with Geodetic-Grade Antennas. *Sensors* 22, 1–17. <https://doi.org/10.3390/s22072779>
  32. Sharma, G., Saikia, P., Walia, D., Banerjee, P., Raju, P.L.N., 2020. TEC anomalies assessment for earthquakes precursors in North-



- Eastern India and adjoining region using GPS data acquired during 2012–2018. *Quat. Int.* <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.07.009>
33. Sharma, G., Singh, M.S., Aggarwal, S.P., Romero-Andrade, R., 2023. Integrated observations on crustal strain - ionosphere total electron content anomalies before the earthquake. *Acta Geophys.* 71, 1173. <https://doi.org/10.1007/s11600-023-01030-7>
  34. Spofford, P.R., Remondi, B.W., 1994. The national geodetic survey standard GPS format SP3. SP3-a format) available from IGS website [http://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/data/format/sp3\\_docu.txt](http://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/data/format/sp3_docu.txt).
  35. Takasu, T., 2013. RTKLIB 2.4.2 Manual.
  36. Topcon, 2009. Manual Reference Topcon Tools.
  37. Tsakiri, M., Sioulis, A., Piniotis, G., 2018. The use of low-cost, single-frequency GNSS receivers in mapping surveys. *Surv. Rev.* 50, 46–56. <https://doi.org/10.1080/00396265.2016.1222344>
  38. Tsakiri, M., Sioulis, A., Piniotis, G., 2017. Compliance of low-cost, single-frequency GNSS receivers to standards consistent with ISO for control surveying. *Int. J. Metrol. Qual. Eng.* 8. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2017006>
  39. Tunini, L., Zuliani, D., Magrin, A., 2022. Applicability of Cost-Effective GNSS sensor for crustal deformation studies. *Sensors (Basel)*.
  40. Ublox, 2023. ZED-F9P-02B Data sheet.
  41. Wielgocka, N., Hadas, T., Kaczmarek, A., Marut, G., 2021. Feasibility of using low-cost dual-frequency gnss receivers for land surveying. *Sensors* 21, 1–14. <https://doi.org/10.3390/s21061956>
  42. Yigit, C.O., Gurlek, E., 2017. Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures. *Geomatics, Nat. Hazards Risk* 5705, 1–12. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1284160>
  43. Zahradník, D., Vyskočil, Z., Hodík, Š., 2022. Ublox F9P for Geodetic Measurement. *Stavební Obz. - Civ. Eng. J.* 31, 110–119. <https://doi.org/10.14311/cej.2022.01.0009>
  44. Zamora-Maciel, A., Romero-Andrade, R., Moraila-Valenzuela, C.R., Pivot, F., 2020. Evaluación de receptores GPS de bajo costo de alta sensibilidad para trabajos geodésicos . Caso de estudio : línea base geodésica. *Cienc. ergo-sum* 27, 0–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a5>
  45. Zhang, L., Schwieger, V., 2016. Improving the Quality of Low-Cost GPS Receiver Data for Monitoring Using Spatial Correlations. *J. Appl. Geod.* 10, 119–129. <https://doi.org/10.1515/jag-2015-0022>

## Les Eaux Stagnantes Constituent Une des Occasions d'Exposition au Plomb et aux Coliformes à Kinshasa, République Démocratique du Congo

*Kalum Muray, PhD*

Université Laurentienne, Sudbury, Ontario, Canada

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p56](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p56)

Submitted: 25 July 2023

Accepted: 13 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Muray K. (2024). *Les Eaux Stagnantes Constituent Une des Occasions d'Exposition au Plomb et aux Coliformes à Kinshasa, République Démocratique du Congo*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 56. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p56>

### Résumé

Les eaux stagnantes envahissent tous les quartiers de la ville de Kinshasa, même dans les communes situées aux endroits surélevés, comme Mont Ngafula. Ces eaux découlent des usées eaux, des immondices, des pluies et des inondations. Il n'est pas rare de voir des matières fécales en suspension dans ces eaux stagnantes, en raison du débordement des puits d'évacuation des fosses septiques. Étant donné que peu d'études portent sur les effets des eaux usées et encore moins sur les eaux stagnantes dans la ville de Kinshasa, justifie l'intérêt de cette étude. Celle-ci avait donc comme objectif d'examiner les éléments physico-chimique et biologiques (microbiologiques) contenus dans les eaux usées stagnantes de Kinshasa, susceptibles d'être nuisibles à la santé humaine. De ce fait, pour caractériser les paramètres physicochimiques et bactériologiques des eaux stagnantes, l'étude a utilisé des bandelettes réactives à l'instar des tests immuno-enzymatiques. Durant la saison pluvieuse, les échantillons étaient cueillis dans certaines communes, aux endroits où les eaux stagnantes étaient permanentes, qu'il pleuve ou non. Aux sites codés A, les prélèvements étaient effectués, à au moins trois jours sans précipitation, tandis que ceux codés B, les prélèvements étaient cueillis dans l'intervalle de 2 à 6 heures après la pluie. Dans les deux cas, les prélèvements étaient effectués à 12 sites différents. À ces 24 sites de prélèvement, avant et après la pluie, les tests indiquent les résultats positifs au plomb et aux coliformes. Comparés aux normes de l'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis (US EPA), les résultats de cette étude dépassant les niveaux présumés sécuritaires.



De ce fait, la proximité et/ou la présence de ces eaux stagnants dans les quartiers résidentiels, offre une occasion inéluctable d'exposition à ces substances. Par ailleurs, les enfants constituent une des couches des populations qui courent le plus haut risque. Discutant des effets délétères sur la santé reliés à ces substances, cet article recommande la gestion plus responsable des eaux usées ainsi que le principe de précaution. Donc, la gestion des eaux stagnantes devrait figurer parmi les outils de surveillance de la santé publique. Elle permettrait ainsi, en amont, de détecter et d'alerter les responsables de la santé publique de menaces à la santé et instituer des mesures susceptibles de protéger la communauté.

---

**Mots-clés:** Contamination, Eaux usées, Polluants chimiques et microbiologiques, Assainissement, Coliformes, E. Coli

---

## **Stagnant Water Constitutes One of the Opportunities for Exposure to Lead and Coliforms in Kinshasa, Democratic Republic of Congo**

*Kalum Muray, PhD*

Université Laurentienne, Sudbury, Ontario, Canada

---

### **Abstract**

Stagnant water invades all districts of the city of Kinshasa, even in communes located in elevated areas, such as Mont Ngafula. These waters come from wastewater, rubbish, rain, and floods. It is not uncommon to see fecal matter suspended in these stagnant waters, due to the overflowing of septic tank evacuation wells. Given that few studies focus on the effects of wastewater, and even fewer on stagnant water in the city of Kinshasa, it justifies the interest of this study. This paper focuses on examining the physicochemical and biological (microbiological) elements contained in stagnant wastewater in Kinshasa, which are likely to be harmful to human health. Therefore, to characterize the physicochemical and bacteriological parameters of stagnant water, the study used reactive strips like enzyme immunoassays. During the rainy season, samples were collected in certain municipalities, especially places where stagnant water was permanent, whether it rained or not. At sites labeled A, samples were taken at least three consecutive days without precipitation, while at those labeled B, samples were collected between 2 and 6 hours after rain. In both cases, samples were taken at 12 different sites. At these 24 sampling sites, before and after the rain, the tests indicated positive results for lead and coliforms. Compared to the

standards set by the United States Environmental Protection Agency (US EPA), the results of this study exceed the presumed safe levels. As a result, the proximity and/or presence of these stagnant waters in residential areas offer an inevitable opportunity for exposure to these substances. Furthermore, children constitute one of the population groups who are at highest risk. In addressing the deleterious health effects associated with these harmful substances, this paper advocates for a more responsible management of wastewater, along with the application of the precautionary principle. Consequently, the supervision of stagnant water should be included among the tools for public health surveillance. This measure would enable early detection and notification of health threats to public health officials, facilitating the implementation of measures to safeguard the community.

---

**Keywords:** Contamination, Wastewater, Chemical and microbiological pollutants, Sanitation, Coliforms, E. Coli

## 1. Contexte de l'étude

La ville de Kinshasa se développe de manière anarchique et dans la méconnaissance des normes urbanistiques. Les eaux usées y sont constituées des matières organiques dégradables, des substances toxiques, des micro-organismes pathogènes et des matières minérales, en suspension ou sous la forme dissoute. Ces eaux ne subissent aucun traitement d'assainissement avant d'être larguées dans les eaux de surface (ruisseaux, rivières et fleuve). En raison de la mauvaise gestion des égouts, les périodes consécutives aux pluies abondantes sont souvent très effroyables. En effet, elles sont suivies souvent des inondations causant de morts et d'énormes dégâts matériels (Katombe, 2019). Par ailleurs, la ville connaît une urbanisation et une croissance démographique immenses, qui exigent une très grande utilisation de l'eau pour divers services. Cela conduit à une augmentation des eaux usées.

Les eaux stagnantes envahissent tous les quartiers, particulièrement ceux qui sont situés aux endroits non surélevés en altitude dans la ville de Kinshasa. Dans bien des cas, elles charrient les immondices partout. Se décomposant, la putréfaction de ces ordures parsemées ici et là, dégage des odeurs nauséabondes parfois insupportables, à certains endroits de la ville. Pire, il existe des emplacements où ces odeurs nauséabondes sont permanentes. Au marché central de Kinshasa comme dans de petits marchés des quartiers, communément appelés « *Wenze* », les marchands vendent leurs produits, aliments y compris, dans des conditions insalubres et, à même le sol (Odia, 2017).

De manière générale, il y a absence de système d'évacuation des eaux usées et là où ces infrastructures existent, elles sont inefficaces pour écouler adéquatement les eaux usées domestiques, artisanales et pluviales. Ce qui

entraîne stagnation de celles-ci, avec comme conséquence, beaucoup de nuisances aux résidents.

Par ailleurs, les toilettes des habitants de la ville Kinshasa ne sont pas généralement connectées aux égouts municipaux. Leur maintenance est très déficiente, principalement en raison de manque ou de l'irrégularité de l'approvisionnement en eau. Il n'est pas rare de voir des matières fécales soient en suspension dans des eaux stagnantes, en raison du débordement des puits d'évacuation.

## **2. Problématique dans le contexte large**

Comme ailleurs, à Kinshasa, les eaux sont constituées des effluents industriels, commerciaux, institutionnels, résidentiels ainsi que des eaux des pluies (Pham, 2015). Les contaminants municipaux incluant les affluents résidentiels, sont souvent de sources diffuses et éparses. Ils sont ainsi difficiles à caractériser (Thornton et al., 2001) et particulièrement dans la capitale congolaise où la gestion des eaux usées est quasiment inopérante.

Les eaux usées peuvent renfermer des polluants physiques, chimiques et biologiques. Chimiquement, les eaux usées peuvent contenir d'une part, des composés organiques tels, des hydrates de carbone, des protéines, des lipides, des pesticides, des phénols, etc. Certains de ces composés sont également inorganiques, tels du phosphore, de soufre, des chlorures, de l'azote, des matières acido-basiques, des matières alcalines et nombreux de ces éléments peuvent être toxiques. Par ailleurs, bien qu'ils soient souvent en trace, les substances métalliques, métaux lourds y compris, constituent des problèmes environnementaux très préoccupants, même s'ils ne font pas objet de cette étude (Perraud, 2016).

Sur le plan microbiologique, les eaux usées peuvent contenir divers micro-organismes, dont les plus préoccupants constituent les champignons, les protozoaires, les algues et les bactéries (UNESCO, 2021). La présence des bactéries coliformes (y compris la bactérie, *Escherichia coli* ou *E. coli*) dans l'eau est une indication de contamination fécale récente. Cela suppose également la présence éventuelle d'autres agents pathogènes fécaux (par exemple des parasites et des virus) susceptibles de constituer un risque pour la santé (UNESCO, 2017).

## **3. Objet de l'étude**

Cette étude avait pour objet d'examiner la composition des eaux usées stagnantes et son impact sur la santé de la population, dans la ville de Kinshasa.

Étant donné l'immensité de la ville, les échantillons ne n'ont pas été prélevés dans toutes les communes. Les paramètres physicochimiques et bactériologiques ont été étudiés dans les communes où les eaux sont quasi

permanemment stagnantes. De ce fait, *in situ*, l'évaluation avait porté sur la mesure de principaux paramètres physico-chimiques et bactériologiques notamment, tels, les coliformes totaux et *Escherichia coli* (E. Coli).

### **3.1 Substances évaluées**

Le plomb et les coliformes qui font objet de cet article, sont parmi les substances sur lesquelles porte notre étude a porté durant la saison pluvieuse de 2023. En effet, cette recherche a évalué, tant les paramètres physico-chimiques (le Manganèse, le Mercure, l'alcalinité et l'acidité et le Plomb) que biologiques (les Coliformes totaux et *Escherichia coli*) des eaux stagnantes dans la ville de Kinshasa, comme le précise dans le rapport intitulé « Esquisse d'évaluation des effets des eaux stagnantes sur la santé à Kinshasa », (Muray, K. sous presse).

### **3.2 Préoccupation du Plomb au sein de l'environnement**

Le plomb est un métal exploité depuis des siècles. Il existe diverses sources d'exposition au plomb, en raison de son utilisation très répandue (OMS, 2022<sup>1</sup>) et de son omniprésence dans les sphères environnementales : l'air (poussière), le sol et l'eau potable (Gouvernement du Canada, 2023<sup>1</sup>).

Dans l'eau, le plomb provient principalement de tuyaux, qui selon les endroits, se corrodent et se désagrègent et laissent passer le plomb dans l'eau. La dispersion du plomb dans l'environnement général, est beaucoup plus attribuable aux activités anthropiques ainsi qu'aux modes vie, tels divers procédés industriels, la combustion de produits combustibles fossiles, notamment et pour ne citer que ceux-là, la combustion des déchets solides (Garnier, 2005). Le comble est que le plomb peut changer de forme, mais il ne se détruit pas. De ce fait, sa rémanence dans l'environnement constitue un phénomène préoccupant. En effet, il s'accumule dans le corps des organismes aquatiques et ceux du sol. Cela est souvent à la base du saturnisme (Garnier, 2005; OMS, 2022<sup>2</sup>).

Dans tous les cas, les effets néfastes du plomb pour la santé augmentent avec l'exposition à cette substance (OMS, 2022<sup>2</sup>). Et par désenchantement, il ne semble pas exister une plombémie (concentration de plomb dans le sang) exempte de danger. Les effets délétères plus fréquemment reportés sont : les atteintes hématologiques (anémie), cardiovasculaires (hypertension), néphrologiques (insuffisances rénales), immunitaires (OMS, 2022<sup>2</sup>) et sur l'appareil reproducteur : atteintes à la fertilité chez l'homme et la femme (Musu & Vogel, 2018). Les effets neurocomportementaux sont également rapportés suite à l'exposition chronique au plomb (OMS, 2022<sup>2</sup>).

### **3.3 Préoccupation des Coliformes totaux et E. Coli au sein de l'environnement**

Selon l'UNESCO (2021), environ 80 % des eaux usées (industrielles, municipales ou domestiques, etc.), sont déversées dans l'environnement sans avoir été traitées au préalable. Cela constitue, bien entendu, une source de prolifération des microorganismes pathogènes (parasites, bactéries et virus) susceptibles de nuire à la santé (UNESCO, 2021; Boukhari, 2019). La présence d'E. Coli dans l'eau, augure l'éventualité d'existence d'autres agents pathogènes, tels les norovirus, liés à la gastro-entérite, le protozoaire *Giardia lamblia*, et la bactérie *Shigella*, entraînant souvent des diarrhées, des maux de ventre, de la fièvre ou des vomissements (Gouvernement du Canada, 2023<sup>2</sup>). Ainsi, la bactérie E. Coli représente 80 à 90 % des coliformes thermo-tolérants (Edberg et al., 2000).

## **4. Matériels et méthodes**

### **4.1 Prélèvements des échantillons**

Pour caractériser les éléments qui existent dans les eaux stagnantes à Kinshasa, sur le plan physico-chimique et bactériologique, nous avons effectué des campagnes de prélèvement des échantillons, de Janvier à février 2023, (deux fois, donc) sur 12 sites dans la ville de Kinshasa.

Méthodologiquement, l'étude s'est basée sur le principe d'un échantillonnage ciblé qui consiste à cueillir des échantillons aux endroits présumés contenir des eaux stagnantes. L'examineur avait, au préalable une idée précise sur endroits où les eaux stagnaient même sans précipitation. Ainsi, les échantillons ont été prélevés aux emplacements d'avance ciblés, selon le protocole du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2008). Dans la présente étude, des excursions de repérage des sites étaient nécessaires dans quelques communes de la ville de Kinshasa.

### **4.2 Sites des prélèvements**

Les sites d'échantillonnage étaient au préalable ciblés. En effet, les endroits à échantillonner étaient au préalable inventoriés de telle sorte qu'on pouvait s'en assurer que l'eau y stagne, avant, pendant et après la pluie.

#### **4.2.1 Pour les échantillons A**

- AE1, représente l'échantillon prélevé dans l'eau stagnante d'environ 20 cm, sur l'avenue Kivu, numéro 50, Quartier Salongo (direction Bangala 2), dans la commune de Kintambo.
- AE2, pour l'échantillon prélevé dans l'eau stagnante d'environ 10 cm, sur l'avenue Lusambo, Quartier Wenge numéro 36, dans la commune de Kintambo.

- AE3, prélèvement effectué sur l'eau stagnante d'environ 5 cm, à l'avenue Maduda, Quartier Makelele, direction Prince de Kisangani, dans la commune de Bandalungwa.
- AE4, dans l'eau stagnante d'environ 12 cm, sur la rue Tsiemi, Quartier Lumumba, dans la commune de Bandalungwa.
- AE5, échantillon prélevé dans l'eau stagnante de 20 cm, sur l'avenue Msiri, numéro 225, Quartier Lumumba, Commune de Bandalungwa,
- AE6, représente l'échantillon prélevé dans avenue Foie, numéro 47, Quartier commercial, un caniveau dont l'eau stagnante était d'environ 5 cm, dans la Commune de Lemba.
- AE7, prélevé sur l'avenue Sefuli, Quartier, Masano dans l'eau stagnante d'un caniveau d'environ 1 mètre, dans la Commune de Lemba
- AE8, constitue l'échantillon prélevé dans l'eau stagnante d'environ 5 cm, sur l'avenue Popokabaka II, numéro 10, Quartier Matonge, Commune de Kalamu.
- AE9, échantillon tiré dans un caniveau d'eau d'environ 25 cm de profondeur, sur l'avenue Luozi, numéro 15, Quartier Lodja, Commune de Kasavubu.
- AE10, sur l'avenue Songololo, numéro 113, Quartier Pende, direction Plateau, échantillon tiré dans un caniveau dont l'eau était d'environ 20 cm de profondeur.
- AE11, tiré de l'eau stagnante d'environ 8 cm de profondeur, sur l'avenue Maluku, numéro 10, Quartier Funa, Commune de Barumbu.
- AE12, échantillon prélevé dans l'eau stagnante d'environ 5 cm de profondeur, sur l'avenue Selembao, Quartier Lubudi, Commune de Selembao.

#### **4.2.2 Pour les échantillons B**

Les prélèvements étaient effectués une semaine après, sur les mêmes sites que pour les échantillons A. La profondeur de l'eau n'avait pas beaucoup fluctué, probablement en raison du sol sablonneux permettant l'infiltration d'eau et de la chaleur chaude (variant entre 25 et 30 degrés) permettant une rapide évaporation.

- BE1, représente l'échantillon prélevé dans l'eau stagnante d'environ 20 cm, sur l'avenue Kivu, numéro 50, Quartier Salongo (direction Bangala 2), dans la commune de Kintambo.
- BE2, pour l'échantillon prélevé dans l'eau stagnante d'environ 10 cm, sur l'avenue Lusambo, Quartier Wenge numéro 36, dans la commune de Kintambo.

- BAE3, prélèvement effectué sur l'eau stagnante d'environ 5 cm, à l'avenue Maduda, Quartier Makelele, direction Prince de Kisangani, dans la commune de Bandalungwa.
- BE4, dans l'eau stagnante d'environ 12 cm, sur la rue Tsiemi, Quartier Lumumba, dans la commune de Bandalungwa.
- BE5, échantillon prélevé dans l'eau stagnante de 20 cm, sur l'avenue Msiri, numéro 225, Quartier Lumumba, Commune de Bandalungwa,
- BE6, représente l'échantillon prélevé dans avenue Foie, numéro 47, Quartier commercial, un caniveau dont l'eau stagnante était d'environ 5 cm, dans la Commune de Lemba.
- BE7, prélevé sur l'avenue Sefuli, Quartier, Masano dans l'eau stagnante d'un caniveau d'environ 1 mètre, dans la Commune de Lemba
- BE8, constitue l'échantillon prélevé dans l'eau stagnante d'environ 5 cm, sur l'avenue Popokabaka II, numéro 10, Quartier Matonge, Commune de Kalamu.
- BE9, échantillon tiré dans un caniveau d'eau d'environ 25 cm de profondeur, sur l'avenue Luozi, numéro 15, Quartier Lodja, Commune de Kasavubu- était de
- BE10, sur l'avenue Songololo, numéro 113, Quartier Pende, direction Plateau, échantillon tiré dans un caniveau dont l'eau était d'environ 20 cm de profondeur.
- BE11, tiré de l'eau stagnante d'environ 8 cm de profondeur, sur l'avenue Maluku, numéro 10, Quartier Funa, Commune de Barumbu.
- BE12, échantillon prélevé dans l'eau stagnante d'environ 5 cm de profondeur, sur l'avenue Selembao, Quartier Lubudi, Commune de Selembao.

## **4.2 Évaluation des essais**

### **4.2.1 Principe des tests utilisés**

Le Kit de « *Health metric* » des États-Unis, a été utilisé pour caractériser les paramètres physicochimiques et bactériologiques des eaux stagnantes. Ce dernier est constitué par des bandelettes réactives, ayant le potentiel agglutiner les antigènes. Basés sur les normes de US-EPA, ces tests sont conçus pour évaluer la qualité de l'eau. Les bandelettes sont introduites dans l'échantillon à examiner et les résultats obtenus indiquent la présence ou l'absence du composé ciblé. À l'instar des épreuves immuno-enzymatiques, ces tests entraînent la liaison d'un anticorps spécifique au type de substance recherché (antigène). Au moyen d'un révélateur, la réaction aboutit à la formation d'une liaison (complexe) anticorps-antigène (Harper, Powell, & Pijl, 2017).



Le contrôle de qualité a été effectué pour déterminer la conformité des résultats. Dans cette situation, le Kit d'*AquaVial* du Canada, a été utilisé comme test pour établir la concordance avec les résultats des sites pairs. Le Kit *BOSIKE* a servi pour établir la concordance des résultats aux sites impairs.

#### 4.2.2 Analyse des bactéries

Les coliformes sont des bactéries Gram négatives qui, à une température variant entre 35-37°C, fermentent le lactose dans 48 heures en produisant du gaz. Parmi eux, les coliformes thermo-tolérants (dits fécaux) fermentent le lactose à la température de 44°C. Dans cette catégorie, *E. Coli* est parmi ces coliformes totaux florissant dans la température de 36 °C (CEAEQ, 2015).

#### Procédure avec le Kit *Health metric*

1. Laver soigneusement les mains avec de l'eau et du savon.
2. Sans toucher l'intérieur du bouchon, retirer-le et remplir soigneusement le flacon.  
NB. Ne pas trop remplir ou renverser le contenu, avant de remettre et de revisser le bouchon.
3. Secouer vigoureusement le flacon pendant quelques secondes pour dissoudre le milieu.
4. Placer le flacon bouché dans une pièce entre 20 à 32°C pendant 48 heures.  
Laisser la bouteille intacte et à l'abri de la lumière directe du soleil.

#### Confirmation des coliformes

Verser une partie d'eau dans le pot, secouer pendant 20 secondes, puis de laisser à température ambiante pendant 48 heures. S'il y a des bactéries dans l'eau, elles digèrent les nutriments du le pot, et dès lors l'eau prend une couleur jaune vif, comme l'indique à la Figure 4.2.2.



Figure 4.2.2

Dans le but de s'assurer de la justesse des résultats, un processus de contrôle qualité, le kit « *Aqua Vial* », est utilisé pour corroborer les résultats



du Kit « *Health metric* » des bactéries et les coliformes, notamment E. Coli. L'échantillon ayant été versé dans les tubes à essai, on observe après quelques minutes le changement de couleur correspondant au degré de contamination de l'eau en coliformes.

#### ***Procédure de confirmation de la présence des bactéries avec le Kit AquaVial***

Remplir le flacon AquaVial TM E. Coli avec l'eau de l'échantillon. Ne pas dépasser le niveau de la ligne de remplissage (5mL). Fermer le flacon en tournant le bouchon dans le sens des aiguilles d'une montre.

NB. On ne doit plus par la suite laisser le flacon ouvert.

Secouer : Agiter bien le flacon pour dissoudre le milieu sec déposé sur les parois du flacon.

Incuber : Laisser le flacon AquaVial T E. Coli incubé dans une position verticale pendant 24 heures à 35 - 40°C ou pendant 48 heures, à la température variant entre 20 et 25°C. Dès lors, vérifier le changement de couleur du réactif dans le flacon d'essai avec le diagramme des couleurs. La couleur jaune indique 0 à moins d'une unité formant colonie par mL (0 ou < CFU). La couleur tend à devenir mauve, lorsque l'échantillon contient une ou plus d'unités formant colonie (1 > CFU/mL). Autrement dit, si l'eau devient jaune, elle est sûre; si l'eau devient violette, des bactéries E. Coli.

#### ***4.2.3 Analyse du plomb au moyen de test « Health metric »***

##### **Procédure**

**A.** Ouvrir le contenu du sachet en aluminium.

Le kit de test contient :

- 1) Une bandelette de test de plomb.
- 2) Un flacon d'échantillon.
- 3) Une pipette compte-goutte, ainsi qu'un déshydratant (à jeter)

**B.** À l'aide de la petite pipette (fournie), ajouter de l'eau dans le flacon. La pipette doit être pleine (une seule fois). **NB** : Plus d'eau altère le résultat du test. Donc, n'ajouter qu'une seule pipette d'eau dans le flacon. Pour prélever un échantillon, presser fermement la poire à l'extrémité du compte-gouttes et placer l'échantillon, puis presser de nouveau pour expulser l'échantillon dans le flacon.

**C.** Placer la bandelette de test dans le flacon de test, avec les flèches pointant vers le bas.

**D.** Attendre 10 minutes. Ne pas déranger la bande ou le flacon pendant ce temps. Des lignes bleues se formeront sur la bande.

**E.** Retirer la bandelette du flacon et lire les résultats.

## Lecture des résultats du plomb

Le résultat est considéré négatif lorsque le test indique moins de 15 ppb : La ligne GAUCHE, à côté du numéro 1, est plus foncée que la ligne DROITE, à côté du numéro 2. Par ailleurs, si on ne voyant qu'une seule ligne, c'est que le résultat est négatif, comme l'indique la Figure 4.4.2.

Le résultat positif (supérieur à 15 ppb) ou encore si les lignes GAUCHE et DROITE sont également sombres, le résultat est positif. Les lignes peuvent être plus claires que celles indiquées sur le schéma, selon le fabricant du test.

Pour ces essais, le test de plomb est calibré selon les normes de l'EPA. Cependant, la concentration du plomb dans l'eau selon la norme du fabricant est de 15 parties par milliard (ppb), tandis que les lignes directrices au Canada pour le plomb dans l'eau potable est aussi peu que 5 ppb (maximum acceptable).



Figure 4.4.2

Correspondance concentration de plomb en rapport avec les unités de Health Metric et celles US EPA					Unités
Indice de Health Metric	0	1	$\geq 1,5^*$	$2^*$	Indice
Concentration équivalente EPA	0	10	$\geq 15^*$	$20^*$	$\mu\text{g/L}$ [partie par milliard (ppb)]

## 5. Résultats des essais

Les résultats des analyses chimiques et microbiologiques des échantillons examinés sont présentés aux Tableaux 1 et 2 (en annexe).

En ce qui concerne les paramètres physico-chimiques, les résultats indiquent que le niveau du plomb de tous les échantillons, était plus élevé que les normes recommandées par USEPA (tant pour les essais des sites A que ceux de B). En ce qui concerne les coliformes, la concentration dépassait les

normes dans tous les sites, à l'exception de AE1, AE3 BE1 et BE2 de Kimbanbo, AE6, AE7, BE6 et BE7 de Lemba et BE3 de Bandal.

## 6. Discussion

Étant donné que les eaux stagnantes sont quasi permanentes dans les quartiers résidentiels de nombreuses communes de la ville de Kinshasa, leur proximité des lieux d'habitation constitue donc, une possibilité d'exposition de la population aux substances contenues dans ces eaux.

Tel que l'indiquent les tableaux 1 et 2, les niveaux des coliformes et E. Coli dans les eaux stagnantes analysées, dépassaient les normes de références sur 67 % des sites (16/24). Les seules exceptions étaient sur les sites AE1, AE2, BE1 et BE2 (à Kintambo), ainsi qu'aux sites AE6, AE7, BE6 et BE7 (à Lemba). De ce fait, les microorganismes pathogènes seraient à redouter dans tous les autres sites échantillonnés, tels qu'à Bandalungwa, Kalamu, Kasavubu, Kinshasa, Barumbu et à Selembao.

Même si la bactérie *Escherichia Coli*, (*E. Coli*) n'est pas systématiquement recherchée pour l'associer aux maladies affectant fréquemment la population, les symptômes de celles-ci font cependant partie du lot des plaintes faisant objet des consultations médicales à Kinshasa. L'*Escherichia Coli*, principalement sa souche, O157:H7, est très souvent associé aux crampes abdominales aiguës, aux diarrhées (parfois sanglantes) et aux vomissements (Gouvernement du Canada, 2021). Pour ce qui est de la ville Kinshasa, dans nombreux quartiers, très souvent les eaux des lieux d'aisance (cabinets et fosses septiques) se mélangent souvent aux eaux pluviales et aux eaux usées ménagères domestiques (celles de cuisine et salle de bain), avant de se conduire dans les ruisseaux et rivières environnant, et ceci, sans traitement. Donc, les eaux usées ne sont pas récupérées, mais simplement larguées dans la rue ou dans la nature. Cela augmente la possibilité d'exposition aux microorganismes pathogènes et de rendre la santé plus précaire (Boaz et al., 2018).

Par ailleurs, les municipalités de Kinshasa ne mettent jamais à la disposition des ménages les services de ramassage des déchets. Ainsi, une grande partie de déchets est jetée dans la rue ou dans des caniveaux d'évacuation des eaux urbaines, avec comme conséquences l'obstruction de ces infrastructures, dont l'aggravation est souvent la source des inondations et la multiplication des poches d'eaux stagnantes (Boaz et al., 2018).

Il a été souvent rapporté Nouveau-Brunswick (Canada) que les matières fécales humaines ou les déjections animales récentes, constituent la principale source de contamination aux pathogènes de l'eau potable. En effet, durant et après des précipitations, des bactéries et d'autres micro-organismes dangereux pouvaient pénétrer dans les eaux de surface, ruisseaux, rivières,

voire même les nappes phréatiques. Ceci constitue, un facteur accentuant les risques de contamination (Gouvernement du Nouveau-Brunswick, 2023).

Au Canada, il a aussi déjà été signalé que l'eau stagnante provenant des crues printanières constituait un risque de propagation des virus, bactéries et des produits chimiques (Ebacher, 2019; Gouvernement de Manitoba, 2013).

Ce phénomène devrait susciter une attention particulière, car selon les estimations de l'Organisation Mondiale de la Santé de 2012, l'insalubrité de l'environnement a été associée au décès de 12,6 millions de personnes sur la planète (OMS, 2012). L'eau contaminée constitue le principal véhicule de transmission des maladies diarrhéiques causées par des microorganismes pathogènes véhiculés par l'eau. Ces maladies sont à la base d'environ 33% de mortalité infantile. À Kinshasa particulièrement, où l'hygiène et l'assainissement de l'environnement sont déficients (Ntonku, 2013), la surveillance de cas de diarrhées devrait revêtir une attention particulière.

Le désordre de l'aménagement urbain à Kinshasa est aussi ponctué d'un manque de zonage. En ce qui concerne le plomb, même si la commune de Limete est la seule reconnue comme zone industrielle, de nos jours, les fabriques artisanales, principalement les garages de réparations d'automobiles, les ateliers de soudure et de petites usines, jonchent ici et là parmi les immeubles de services et les maisons d'habitation. La proximité de ce genre constitue une occasion propice à l'exposition au plomb.

Il a été également documenté au Manitoba et ailleurs (Canada) que les entreprises de recyclage des métaux et des batteries d'automobiles constituaient une des sources d'exposition au plomb, à l'instar des fonderies (Gouvernement de Manitoba, 2023 ; Gouvernement du Canada, 2023<sup>1</sup>). Il est aussi à signaler que le plomb peut émaner d'éclats de peinture séchée, de poussières, boîtes de conserve, cristal au plomb, poterie de céramique, crayons, craies à dessiner pour enfants, etc. Ces éléments constituent également une source d'émanation du plomb (Gouvernement du Canada, 2023<sup>1</sup>). Le fait aggravant est que la disposition des déchets de ces produits, à l'instar de la combustion des huiles usées, n'est pas règlementée dans le cas de Kinshasa. Il est à craindre que le grand nombre des fabriques artisanales et les déchets jonchant tous les quartiers de la ville, constituent une source permanente d'exposition au plomb.

Il a été déjà rapporté que le plomb n'a aucun rôle physiologique reconnu chez l'humain (OMS, 2019). Par ailleurs, quelle que soit la voie d'entrée dans l'organisme, le plomb chemine par le sang avant d'être absorbé par divers tissus. Il a été établi que l'absorption même de très petites quantités de plomb pouvait avoir des effets néfastes sur le développement intellectuel et comportemental des jeunes enfants. Le plomb cellulaire perturbe différents processus physiologiques et plusieurs voies métaboliques cellulaires (Gouvernement du Canada, 2023<sup>1</sup>). En effet, chez les enfants et les fœtus, il

a été rapporté -qu'une plombémie se situant entre 10 à 15 microgrammes par décilitre entraînait des effets nocifs sur les systèmes neurocomportementaux et cognitifs. Par ailleurs, un taux supérieur à 40 microgrammes par décilitre, a été rapporté de pouvoir perturber l'érythropoïèse [faculté de produire des globules rouges, (Lévesque, Rhains & Prud'Homme, 1999)]. Au point de vue toxicocinétique, la plus grande partie du plomb qui pénètre dans l'organisme se trouve dans les hématies (95 %), par un mécanisme jusqu'ici peu élucidé, mais dépendant de la présence de bicarbonate. Le plomb a une grande affinité avec les os dans lesquels il peut se concentrer massivement avec une demi-vie variant entre 10 à 20 ans. C'est ainsi que le plomb reste dans l'organisme très longtemps même après l'exposition (Gouvernement du Canada, 2023<sup>1</sup> ; Allain, 2022). Dans les tissus osseux, le plomb remplace une partie du calcium susceptible de conduire à la l'hydroxyapatite et à la déminéralisation des os. En outre, la grande affinité du plomb aux groupes thiol (SH), lui confère la possibilité d'inhiber les enzymes de ces groupes [acide aminolévulinique (ALA) déshydratase, la ferrochélatase et la coproporphyrinogène oxydase] (Allain, 2023). À côté des effets neurologiques et comportementaux irréversibles documentés associés au plomb chez les humains, l'exposition à cette substance cause également anémie, hypertension et déficience rénale. Par ailleurs, elle entraîne des effets toxiques sur le système immunitaire et l'appareil reproducteur (OMS, 2023). De ce fait, tenant compte de sa dangerosité sur la santé, l'exposition de la population de Kinshasa à cette substance, ne devrait jamais être présumée anodine.

## **Conclusion**

À Kinshasa, les eaux stagnantes proviennent des déchets liquides d'origines ménagères, des rejets de petites industries et fabriques des quartiers, des pluies et des inondations. Ces dernières paralysent à certains moments les activités de la vie quotidiennes et parsèment les immondices partout, au cours de leur passage, ce qui accentue davantage des eaux stagnantes.

Les échantillons prélevés dans quelques communes de Kinshasa ont permis de déduire, après analyses, que les eaux stagnantes de Kinshasa contiennent des substances chimiques, comme le plomb ainsi que des microorganismes pathogènes, dont l'E. Coli. Les résultats de l'étude indiquent que la concentration de ces substances dépassent les normes recommandées par US EPA.

Le plomb est à redouter car, même si les effets nocifs n'apparaissent pas immédiatement, il a été démontré que même à faibles doses, l'exposition à cette substance devrait être considérée comme nuisible à la santé des populations, telles celles de Kinshasa qui sont exposées de manière quasi permanente.

Par ailleurs, comme indicateurs des microorganismes, la présence des coliformes, dont l'E. Coli, révèle une dégradation de la qualité de l'eau. Les résultats ont montré que la présence d'E. Coli dépassait les normes sécuritaires, telles que recommandées par US EPA.

Tenant compte la présence des éléments nuisibles pour la santé dans les eaux stagnantes de Kinshasa, dans une perspective d'avenir, il conviendrait de recommander la mise en place des études qui visent à déterminer les facteurs culturels et socio-économiques associés au défaut de ressources d'assainissement de l'environnement.

Par ailleurs, une éducation citoyenne serait suggérée afin d'incorporer les attitudes et comportements favorables à la santé environnementale. Étant plus sensibilisée, la population serait de cette manière, plus encline à gérer plus adéquatement les déchets solides et liquides. Elle prendrait plus conscience de l'importance de préserver l'environnement et d'atténuer toutes les nuisances susceptibles de porter atteinte à l'intégrité des écosystèmes et au mieux-être de toutes les couches de la population.

Étant donné l'absence d'infrastructures de collecte et de traitement des déchets et des eaux usées, il est à suggérer aux décideurs politiques, aux chercheurs, et à toutes les parties prenantes d'améliorer les capacités organisationnelles. Ce faisant, il conviendrait d'élaborer des plans d'action nationaux et locaux impliquant toutes les couches de la société à la protection de l'environnement ainsi qu'à la meilleure disposition des eaux stagnantes et à la gestion adéquate de toutes les eaux usées.

**Conflit d'intérêts:** L'auteur n'a signalé aucun conflit d'intérêts.

**Disponibilité des données:** Toutes les données sont incluses dans le contenu du document.

**Déclaration de financement:** Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

#### Références:

1. Allain, P. (2023). Pharmacorama. Connaissance des médicaments. Plomb, Pb. En ligne ; adresse : <https://www.pharmacorama.com/pharmacologie/medicaments-elements/metaux-toxicologie/plomb-pb/> ; Consulté, le 23 mai 2023.
2. Boaz, M., Gubert, F., Makabu, T., Munandi Munkunda, J., Roubaud, F., Saint-Macary, C., & Zanuso, C. (2018). Eau, assainissement et conditions de vie au Congo. Enquête de référence pour l'évaluation d'impact du projet PILAEP 2 (Avril-Mai 2018). Rapport d'analyse de l'enquête.

3. Boukhari, H. (2019). Étude physico-chimique des eaux usées traitées de STEP de Draa El Mizan pour des fins de valorisation agricole, Thèse, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie.
4. CEAEQ (2015). Recherche des coliformes totaux et de *Escherichia coli* avec le milieu de culture Colilert : méthode présence/absence. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.
5. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2008). Le Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales. ISBN 978-2-550-55291-8. En ligne; Adresse : <https://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage/generalitesc1.pdf> ; Consulté le 10 octobre 2022.
6. Ebacher, LD. (2019). Eau stagnante: attention aux infections. Le Nouvelliste, 1er mai 2019. En ligne; adresse : <https://www.lenouvelliste.ca/>; Consulté le 8 mai 2023.
7. Edberg, SC., Rice, EW., Karlin, RJ., & Allen, MJ. (2000). *Escherichia coli* : the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88 : 106S-116S.
8. Garnier, R. (2005). Toxicité du plomb et de ses dérivés. Toxicity of lead and lead compounds. EMC - Toxicologie-Pathologie. Volume 2, Issue 2, June 2005, Pages 67-88.
9. Gouvernement de Manitoba (2023). Le plomb - Santé publique – Fiche d'information. En ligne; adresse : [https://www.gov.mb.ca/health/publichealth/factsheets/lead\\_factsheet\\_fr.pdf](https://www.gov.mb.ca/health/publichealth/factsheets/lead_factsheet_fr.pdf) ; Consulté le 18 mai 2023. Consulté le 8 mai 2023.
10. Gouvernement de Manitoba (2013). Inondations. Feuille de renseignements. Questions fréquemment posées sur les eaux de crue et votre santé. En ligne; adresse : [https://www.gov.mb.ca/asset\\_library/fr/spring\\_outlook/floodwater\\_and\\_your\\_health.fr.pdf](https://www.gov.mb.ca/asset_library/fr/spring_outlook/floodwater_and_your_health.fr.pdf); Consulté le 8 mai 2023.
11. Gouvernement du Canada (2021). Symptômes de l'infection à *E. coli* (*Escherichia coli*). En ligne; adresse : <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/e-coli/symptoms-e-coli.html>; Consulté le 8 mai 2023.
12. Gouvernement du Canada (2023<sup>1</sup>). Trousse d'information sur le plomb - Questions couramment posées sur l'effet de l'exposition au plomb sur la santé humaine. En ligne; adresse : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/sante-environnement-milieu-travail/contaminants-environnementaux/plomb/trousse-information-plomb-questions-couramment-posees-effet-exposition-plomb-sante-humaine.html> , Consulté le 29 avril 2023.
13. Gouvernement du Canada (2023<sup>2</sup>). Symptômes de l'infection à *E. coli*. En ligne; adresse :



- <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/e-coli/symptoms-e-coli.html> ; Consulté le 4 mai 2023.
14. Gouvernement du Nouveau-Brunswick (2023). Les faits en eau potable. Bactéries coliformes – Coliformes Totaux et E.Coli. En ligne; adresse : <https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/h-s/pdf/fr/MilieusSains/eau/Coliformf.pdf> ; Consulté le 10 mai 2023.
  15. Harper, L., Powell, J., & Pijl, EM. (2017). An overview of forensic drug testing methods and their suitability for harm reduction point-of-care services. *Harm Reduct J.* 31 juill 2017;14(1):52.
  16. Katombe, K. (2019). Floods kill at least 39 in Congo's capital Kinshasa. *REUTERS* / 27, 2019. En ligne, repéré le 2 août 2022, à l'adresse : <https://www.reuters.com/news/picture/floods-kill-at-least-39-in-congos-capita-idUSKBN1Y01U3>
  17. Lévesque, B., Rhains, M., & Prud'Homme, H. (1999). Protocole d'investigation et de suivi en regard de l'exposition au plomb au Nunavik. Document extrait du Manuel régional de santé publique en ligne Direction de la Santé publique pour le Nunavik. Version PDF réalisée le : 7 janvier 2002. Disponible sur Internet au <http://www.rrsss17.gouv.qc.ca/santepub/>; Consulté le, 19 mai 2023.
  18. Muray, K. Esquisse d'évaluation des effets des eaux stagnantes sur la santé à Kinshasa (sous presse)
  19. Musu, T. & Vogel, L. (2018). Cancer et travail - Comprendre et agir pour éliminer les cancers professionnels. European Trade Union Institute, Bruxelles, 2018. ISBN : 978-2-87452-500-1 (version imprimée) ISBN : 978-2-87452-501-8 (version électronique). En ligne; adresse : [https://www.aleacontroles.com/uploads/tinyBrowser/cancer-travail-WEB\\_\(2\).pdf#page=201](https://www.aleacontroles.com/uploads/tinyBrowser/cancer-travail-WEB_(2).pdf#page=201) ; Consulté le 30 avril 2023.
  20. Ntonku, K. J. (2013). Prise en charge infirmière des enfants de 0 à 5 ans souffrants de la diarrhée avec déshydratation modérée. Mémoire, ISTM Kinshasa.
  21. OMS (2019). Du 20 au 26 octobre 2019 - Semaine internationale 2019 pour la préventions de l'intoxication au plomb - Kit de ressources pour la campagne. En ligne : adresse: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/327737/WHO-CED-PHE-EPE-19.5-fre.pdf> ; Consulté le 18 mai 2023.
  22. OMS (2022<sup>1</sup>). Lignes directrices de l'OMS sur la prise en charge clinique de l'exposition au plomb. ISBN 978-92-4-004591-0 (version imprimée); ISBN 978-92-4-004590-3 (version électronique). En ligne; adresse : <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/352383/9789240045903-fre.pdf>



23. OMS (2022<sup>2</sup>). Intoxication au plomb et santé. En ligne; adresse : <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health#:~:text=L%27exposition%20au%20plomb%20cause,sang%20qui%20soit%20sans%20danger.>, Consulté le 30 avril 2023.
24. Perraud, R. & Colin, B. (2016). Chimie de l'environnement. Édition De Boeck supérieur, 2016. ISBN 10: 2804192172 / ISBN 13: 9782804192174
25. Pham, O. (2015). La problématique du mercure dans les eaux usées de Montréal. Essai Maîtrise en environnement. Centre universitaire de formation en environnement et développement durable. Université de Sherbrooke.
26. UNESCO (2021). La valeur de l'eau, Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2021.

## ANNEXE 1 : Tableaux des résultats

**Tableau 1.** Essais pour les échantillons des sites B

Paramètres ↓	Lieu x	KINTAM BO		BANDAL			LEMBA		KALUM U	KASAV UBU	KINSHA SA	BARUM BU	SELEM BAO
		Éch ant.	AE 1	AE 2	AE3	AE4	AE5	AE 6	A E7	AE8	AE9	AE10	AE11
Bactéries E. Coli		0	0	1 CFU *	1 CFU*	1 CFU *	0	0	1 CFU*	1 CFU*	1 CFU*	1 CFU*	1 CFU*
Plomb (en ppb)		2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*

**Tableau 2.** Essais pour les échantillons des sites B

Paramètres ↓	Lieu x	KINTAM BO		BANDAL			LEMBA		KALUM U	KASAV UBU	KINSH ASA	BARUM BU	SELEM BAO
		Écha nt.	BE1	B E2	BE 3	BE4	BE5	BE6	BE7	BE8	BE9	BE10	BE11
Bactéries E. Coli		0	0	0	1 CFU *	1 CFU *	0	0	1 CFU*	1 CFU*	1 CFU*	1 CFU*	missing
Plomb		2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	2*	missing

### Reconnaisances et remerciements

Pour leur contribution à l'échantillonnage, nous exprimons nos reconnaissances à :

- Yaganda Yembiline Lylie, Assistante de premier mandat au centre de recherche scientifique et Infirmière à la maternité de Kintambo, Kinshasa, République Démocratique du Congo (RDC);
- Kazangba Ndakwa Zephy, Étudiant à la faculté de médecine à l'Université de Kikwit, RDC

Que Cizungu Mukulu trouve ici, nos sentiments de gratitude pour la révision de ce texte.

Nous disons merci de tout cœur à Patrick Mushagalusa Muhandule, pour nous avoir confectionné le laboratoire de fortune à l'UPN.

## **Complications des Contraceptifs Réversibles à Longue Durée d'Action: A Propos de 21 Cas Colligés au Service de Gynécologie-Obstétrique du CHU Kara, Nord du Togo**

***Kossi Edem Logbo-Akey, Gynécologue-obstétricien***

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara, Togo

***Tina Kétévi, Gynécologue-obstétricien***

***Akila Bassowa, Gynécologue-obstétricien***

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Campus, Togo

***Kignomon Bingo M'Bortché, Gynécologue-obstétricien***

Clinique ATBEF, Lomé Togo

***Yendoubé Pierre Kambote, Gynécologue-obstétricien***

***Kofi Mawoulé Amewouho, Gynécologue-obstétricien***

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara, Togo

***Cissé Alassani, Gynécologue-obstétricien***

Clinique HACHIMYA santé et vie, Mango, Togo

***Noè Kibandou Patidi***

Faculté des sciences de la santé, Université de Lomé, Togo

***Dede Regina Ajavon, Gynécologue-obstétricien***

***Abdoul Samadou Aboubakari, Gynécologue-obstétricien***

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara, Togo

***Koffi Akpdza, Gynécologue-obstétricien***

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Sylvanus olympio, Lomé, Togo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p75](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p75)

Submitted: 05 January 2024

Accepted: 08 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Logbo-Akey K.E., Kétévi T., Bassowa A., M'Bortché K.B., Kambote Y.P., Amewouho K.M., Alassani C., Patidi N.K., Ajavon D.R., Aboubakari A.S. & Akpdza K. (2024). *Complications des Contraceptifs Réversibles à Longue Durée d'Action: A Propos de 21 Cas Colligés au Service de Gynécologie-Obstétrique du CHU Kara, Nord du Togo*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 75. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p75>

### **Résumé**

Objectif : Rapporter les complications des contraceptifs réversibles à longue durée d'action pour une meilleure pratique afin de favoriser l'adhésion des femmes à la contraception moderne.

**Méthode :** Il s'est agi d'une étude transversale et descriptive réalisée au service de gynécologie-obstétrique du centre hospitalier universitaire CHU) de Kara du 1er Août 2022 au 31 Juillet 2023. Cette étude a porté sur les complications des contraceptifs réversibles à longue durée d'action. Etaient incluses, toutes les femmes reçues pour complication d'insertion de contraceptifs réversibles à longue durée d'action et prises en charge dans le service.

**Résultats :** Vingt et un clientes porteuses de contraceptifs réversibles à longue durée d'action ont été enregistrés. Il s'agissait de 3 cas de dispositifs intra utérins (14,3%) et 18 cas d'implants (85,7%). L'âge moyen des clientes était de 26,7 ans avec des extrêmes de 20ans et 42ans. Elles étaient en majorité paucipares (52,5%) et revendeuses (47,6%). Les circonstances de découvertes étaient les douleurs abdominales pour les DIU, et les difficultés de retrait pour les implants. Il s'agissait de 3 cas de perforation utérine avec un DIU dans le ligament large, un dans l'épiploon et un abcès du cul de sac recto-utérin. Pour les implants, il s'agissait d'insertion intra musculaire (83,3%) et d'infection du site d'insertion (11,1%). Une prise en charge chirurgicale a été faite dans 90,5% des cas engendrant un coût financier de 143300 FCfa (241,6USD) en moyenne pour le DIU et 45000 FCfa (75,9USD) pour l'implant. L'évolution a été favorable chez toutes les clientes.

**Conclusion :** Les complications des contraceptifs réversibles à longue durée d'action sont dominées par les complications des implants. Elles ont occasionné des couts financiers aux clientes. Un renforcement de capacité des prestataires est nécessaire afin d'augmenter la prévalence contraceptive dans nos milieux.

---

**Mots-clés:** Contraception, dispositif intra utérin, implants, complications

---

## **Complications of Long-Acting Reversible Contraceptive : About 21 Cases Collected at Obstetrics and Gynaecology Department of CHU Kara, North Togo**

***Kossi Edem Logbo-Akey, Gynécologue-obstétricien***

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara, Togo

***Tina Kétévi, Gynécologue-obstétricien***

***Akila Bassowa, Gynécologue-obstétricien***

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Campus, Togo

***Kignomon Bingo M'Bortché, Gynécologue-obstétricien***

Clinique ATBEF, Lomé Togo

***Yendoubé Pierre Kambote, Gynécologue-obstétricien***

***Kofi Mawoulé Amewouho, Gynécologue-obstétricien***

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara, Togo

***Cissé Alassani, Gynécologue-obstétricien***

Clinique HACHIMYA santé et vie, Mango, Togo

***Noè Kibandou Patidi***

Faculté des sciences de la santé, Université de Lomé, Togo

***Dede Regina Ajavon, Gynécologue-obstétricien***

***Abdoul Samadou Aboubakari, Gynécologue-obstétricien***

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara, Togo

***Koffi Akpdza, Gynécologue-obstétricien***

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Sylvanus olympio, Lomé, Togo

---

### **Abstract**

**Objective:** The study aims was to report long-acting reversible contraceptives, for improving practices and encouraging women to use modern contraception.

**Methodology :** This was a cross-sectional, descriptive study carried out at obstetrics and gynecology department of Kara University Hospital from August 1, 2022 to July 31, 2023. All women treated in the department for complications of long-acting reversible contraceptives were included.

**Results :** Twenty-one cases were recorded. There were 3 cases of intrauterine devices (14.3%) and 18 cases of implants (85.7%). The average age of the clients was 26.7 years, with extremes of 20 and 42 years. They were mostly paucipara (52.5%) and resellers (47.6%). The circumstances of discovery were abdominal pain for IUDs, and abandonment for implants. There were two cases of uterine perforation with an IUD in the broad ligament, one in the omentum, and one case of abscess in the recto-uterine pouch. In the case of implants, these were intra-muscular insertion (83.3%) and infection of the

insertion site (11.1%). Surgery was performed in 90.5% of cases, at an average cost of 143300 FCfa (241.6USD) for the IUD and 45000 FCfa (75.9USD) for the implant. The trend was favorable.

Conclusion : Complications of long-acting reversible contraceptives are dominated by implant complications. These have resulted in financial costs for clients. Capacity-building of providers is needed to increase contraceptive prevalence in our communities.

---

**Keywords:** Contraception, intrauterine device, implants, complications

## Introduction

Les méthodes contraceptives réversibles à longue durée d'action (CRLA) sont des méthodes contraceptives dont l'action est prolongée au-delà de trois mois, et peut aller jusqu'à 10ans (Trussell J, 2011). Elles participent pour une grande part à l'espacement des naissances, à la réduction des grossesses non souhaitées et donc des avortements provoqués clandestins, à la diminution de la mortalité maternelle (USAID, 2014). En effet, il est estimé à environ 73 millions d'avortements provoqués chaque année dans le monde contribuant à 4,7 - 13,2 % des décès maternels, en majorité dans les régions en développement (Bearak J et al, 2020 ; Ganatra B et al, 2017 ; Say L et al, 2014). Malgré ces avantages, la prévalence des méthodes contraceptives modernes reste faible avec une prévalence mondiale estimée à 58,7 % en 2022 (United Nations Population Division, 2022). Au Togo, selon l'Enquête par grappes à indicateurs multiples ou Multiple Indicator Cluster Surveys 6 (MICS 6, 2017 – 2018), la prévalence contraceptive était de 24,3% avec les besoins non satisfaits de 33,6% (Togo MICS 6, 2017). Les difficultés d'accès aux services, les préjugés, les effets secondaires, les barrières culturelles ou religieuses ou encore les complications engendrées sont un frein à l'utilisation des méthodes contraceptives (Luo Z et al, 2018 ; Coulibaly M. et al, 2020). Ainsi la présente étude s'est intéressée aux complications aux fins de renforcement de capacité des prestataires et donc améliorer les indicateurs de la santé de reproduction. L'objectif général était d'étudier les complications des CRLA. Les objectifs spécifiques, étaient de décrire le profil socio démographique des clientes, déterminer le type de complications, et enfin décrire la prise en charge.

## Méthodologie

**Type et cadre de l'étude :** il s'est agi d'une étude transversale et prospective allant du 1er Août 2022 au 31 Juillet 2023. Elle a été réalisée dans le service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara. L'étude a porté sur toutes les clientes reçues dans le service pour complication des CLAR

**Critères d'inclusion** : nous avons inclus toutes clientes référées d'un autre centre de santé ou venues d'elles-mêmes pour complication de CLAR et prise en charge dans le service durant la période l'étude.

**Critères d'exclusion** : n'ont pas été incluses, les clientes reçues dans le service pour complication de CLAR et perdues de vue

**Variabes étudiées** : les variables de l'étude étaient les données sociodémographiques des clientes, les circonstances de découverte des complications, le type de complications, la prise en charge des complications, le coût financier de la prise en charge.

**Collecte et analyse des données** : une fiche d'enquête a servi à collecter les données grâce à une interview directe des clientes. Les logiciels Microsoft Excel 2016 et Epi-info 7.2 ont servi à traiter et analyser les données qui ont été converties en pourcentage et en moyenne

**Approbation éthique et confidentialité** : le consentement éclairé des clientes a été obtenu avant leur inclusion dans l'étude. L'anonymat et la confidentialité ont été garantis

## Résultats

Vingt une complications ont été enregistrées, soit en moyenne 2 complications chaque mois. Il s'agissait de 3 complications liées au dispositif intra utérin (2 en cuivre, 1 hormonal), tous d'intervalle, soit 14,3%, et 18 complications liées à l'implant contraceptif (12 cas d'implant à étonogestrel, 6 cas d'implant à lévonorgestrel) soit 85,7%.

## Aspects sociodémographiques

L'âge moyen des clientes était de 26,7 ans avec des extrêmes de 20 ans et 42 ans. Elles étaient paucipares (52,5%, N= 11) et multipares (23,8% N= 5). Concernant leurs occupations les revendeuses (47,6% N= 10) et les sans professions (38,1 N= 8) étaient plus représentées. Il s'agissait de femmes mariées ou en union libre dans 81,0% (N= 17) des cas et non mariée ou non en union dans 19,0% (N= 4) des cas. Elles étaient référées dans 90,4%(N= 19) des cas et venaient du milieu rural dans 85,7%(N= 18) des cas.

## Circonstances de découverte

Il s'agissait essentiellement de douleurs abdomino-pelviennes chroniques (N=2) secondaires à la pose du dispositif, et de douleurs abdomino-pelviennes aiguë (N=1) faisant suite à une tentative de retrait du dispositif, que les complications du DIU ont été découvertes. Pour les implants, dans 83,3% (N=15) les clientes ne se plaignaient d'aucune manifestation clinique et c'est à l'occasion de tentatives de retrait de l'implant que la complication a été découverte. Dans 16,7% (N=3) des cas, il s'agissait des douleurs du site



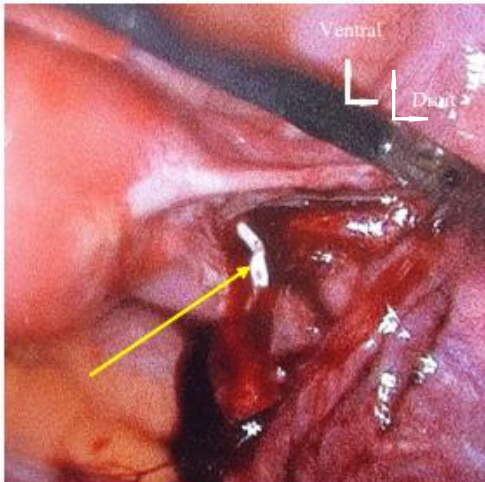
d'insertion. Le tableau I suivant montre les circonstances de découverte des complications des CRLA.

**Tableau I.** Circonstances de découverte des contraceptives réversibles à longue durée d'action

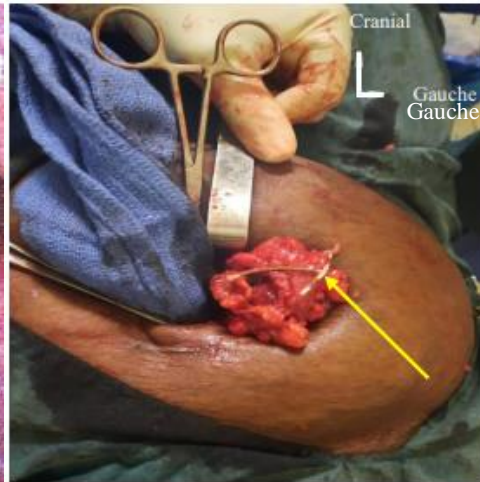
Circonstances de découverte	Effectif (n)	Pourcentage (%)
<b>Dispositif intra utérin</b>		
Douleurs abdomino pelviennes	03	100,0
Total	03	100,0
<b>Implant contraceptif</b>		
Retrait pour désir de procréation	13	72,2
Douleurs site d'insertion	03	16,7
Renouvellement d'implants	02	11,1
Total	18	100,0

### Complications

Concernant le dispositif intra utérin, il s'est agi de 3 cas de perforation utérine avec un dispositif retrouvé dans le ligament large droit à la suite d'une coelioscopie (Photo 1), un autre retrouvé dans le grand omentum (Photo 2) formant une masse retro ombilicale. Le 3<sup>e</sup> cas est celui d'un abcès du cul de sac recto-utérin secondaire à une perforation utérine lors d'une tentative d'extraction du dispositif enchâssé dans le myomètre.



**Photo 1 :** Vue coelioscopique du pelvis. Flèche jaune montrant un dispositif dans le ligament large droit



**Photo 2 :** Aspect peropératoire. Flèche jaune montrant le dispositif intra utérin sur l'omentum

Pour l'implant contraceptif, les complications étaient dominées par les insertions intramusculaires (83,3%, N= 15) suspectées par la radiographie du bras (Photo 3) et confirmées en per opératoire. Les autres complications des implants contraceptifs étaient l'abcès du site d'insertion (11,1%, N=2) et l'hématome sous cutané (5,5%, N=1). Le délai moyen d'insertion de la



méthode et l'identification des complications était de 47 mois pour le DIU et 16 mois pour les implants



**Photo 3.** Radiographie du bras gauche (A : incidence de profil, B : incidence de face)  
Flèches rouges montrant un implant en projection dans le biceps

### Prise en charge des complications

La prise en charge a été chirurgicale dans 90,5% (N= 21) des cas et médicamenteuse dans 9,5% (N= 2) des cas. Pour les trois complications du dispositif intra utérin, une coelioscopie a été réalisée dans un cas et une laparotomie a été réalisée dans les deux autres cas. Concernant les complications des implants contraceptifs, une extraction chirurgicale a été effectuée pour tous les cas d'insertion musculaire (Photo 4).



**Photo 4.** Aspect peropératoire du retrait d'un implant intramusculaire.  
Flèche montrant l'implant inséré dans le muscle

Une incision d'abcès a été effectuée dans un cas. La durée moyenne de l'intervention chirurgicale était de  $83,3 \pm 7,6$  minutes pour le dispositif intra utérin et  $39,1 \pm 10,5$  minutes pour l'implant contraceptif. L'évolution a été favorable pour toutes les clientes. Cette prise en charge a engendré des coûts financiers de 143300 FCfa (241,6USD) en moyenne pour le DIU et 45000 FCfa (75,9USD) pour l'implant. Le délai moyen d'attente avant une prise en charge satisfaisante était de 18,8 mois avec des extrêmes de 2 mois et 76 mois. L'évolution a été favorable chez toutes les clientes.

## Discussion

Durant la période de l'étude, nous avons enregistré 21 clientes pour une complication liée à la méthode. Il s'agissait de 3 complications de DIU et 18 complications d'implant contraceptif. L'âge moyen des clientes était de 26,7ans. En majorité elles étaient des revendeuses (47,6%), paucipares (52,5%) et mariées ou en union dans 81,0% des cas. Les données sociodémographiques de cette étude concordent avec celles de Fousou au Tchad (Fousou L et al, 2021) qui ont rapporté des résultats similaires. Mêmes constats rapportés dans des études en Chine et en Ouganda, les paucipares et les femmes mariées étaient plus susceptibles d'utiliser les CRLA (Luo Z et al, 2018 ; Anguzu R et al, 2014). Selon Fousou et al, la prépondérance des femmes mariées ou en union serait le fait d'une vie sexuelle stable et le désir d'espacer ou limiter les naissances (Fousou L et al, 2021). Concernant l'occupation des clientes, les résultats divergent. Pour certains auteurs, les ménagères sont plus susceptibles à utiliser les méthodes de longue durée d'action (Shiferaw K et al, 2017), ce qui est plutôt l'inverse pour d'autres auteurs (Melka A.S. et al, 2015). De cette présente étude, les CRLA étaient plus utilisés par les revendeuses. En effet, nous pensons que ces méthodes libèreraient les clientes des contraintes liées à l'observance et leur offrirait plus de temps et de disponibilité permettant ainsi de s'occuper de leurs activités.

Concernant les complications liées au dispositif intra utérin, 3 perforations utérines ont été enregistrés. La fréquence des perforations utérines varie de 0,2 à 15 pour 1000 insertions (Cuillier F et al, 2003). En dehors de la disparition des fils, les douleurs abdomino pelviennes constituent souvent les circonstances amenant à découvrir la perforation utérine (Hajjar C et al, 2020). C'était le cas pour les 3 perforations utérines de notre étude. Divers sites de migration du DIU après une perforation utérine ont été rapportés dans la littérature. Ainsi des migrations transvésicales, dans le ligament large, le cul-de-sac recto-utérin, l'omentum ont été rapportées (Bacha K et al, 2001 ; Hajjar C et al, 2020). Ce qui concorde avec nos cas de perforation utérine où on retrouve un dispositif dans le ligament large et un autre dans l'omentum.

Pour les complications des implants contraceptifs, il s'agissait essentiellement d'insertion profonde intramusculaire dans 83,3% des cas. Elles sont liées à une mauvaise technique d'insertion engendrant donc des difficultés de retrait. Prine (Prine L et al, 2018) rapportaient également des complications de retrait des implants liées aux insertions profondes. En effet dans notre contexte, le manque de personnel qualifiés dans des milieux reculés fait que certains actes sont posés par des agents qui n'ont pas souvent la technique appropriée. C'est ce qui occasionnerait probablement ces insertions intramusculaires.

A ces complications des CRLA, des difficultés de prise en charge relevées par des clientes ont été rapportées dans des études antérieures. En effet, Brunie et al rapportaient 53% et 55% des utilisatrices d'implant et dispositif intra utérin souhaitant le retrait, ayant déclaré avoir eu des difficultés à accéder aux services de retrait. Pour 20% de ces clientes souhaitant le retrait, les difficultés financières ne leur permettaient pas d'accéder au centre de référence (Brunie A et al, 2022). Ces difficultés financières constitueraient une des raisons de cette longue période d'attente de 18,8 mois en moyenne dans notre étude. En effet le coût financier de la prise en charge de 143300 Cfa (241,6USD) en moyenne pour le DIU et 45000 Cfa (75,9USD) pour l'implant comparé au coût moyen du retrait de 1327 CFA (2,25 USD) pour les DIU et 1891 CFA (3,21 USD) (Dassah ET et al, 2013). A ces difficultés financières rapportées par Brunie et al, nous pensons pour notre part que les difficultés d'accessibilité géographique des centres de référence auraient certainement contribué au retard de prise en charge, puisque 90,4% des clientes étaient référées des centres périphériques.

## **Conclusion**

Les perforations utérines et les insertions intra musculaires étaient les complications des contraceptifs à longue durée d'action. Elles ont occasionné des couts financiers aux clientes. Un renforcement de capacité des prestataires est nécessaire afin d'augmenter la prévalence contraceptive dans nos milieux. Et partant, l'amélioration de la santé maternelle et néonatale

**Contribution des auteurs :** Tous les auteurs ont participé à l'élaboration et la rédaction de cet article.

**Conflit d'intérêts :** Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

**Disponibilité des données :** Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

**Déclaration de financement :** Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

**Déclaration pour les participants humains :** Cette étude a été approuvée par la direction du centre hospitalier universitaire de Kara. Les principes de la déclaration d'Helsinki ont été respectés

### Références:

1. Anguzu R, Tweheyo R, Sekandi JN, Zalwango V, Muhumuza C, Tusiime S, Serwadda D. Knowledge and attitudes towards use of long acting reversible contraceptives among women of reproductive age in Lubaga division, Kampala district, Uganda. *BMC Research Notes*. 2014 ; 7(1) : 153
2. Bacha K, Ben Amna M, Ben Hassine I, Ghaddab S, Ayed M. Dispositif intra-utérin migre dans la vessie. *Prog Urol*. 2001 ; 11 : 1289-1291
3. Bearak J, Popinchalk A, Ganatra B, Moller A-B, Tunçalp Ö, Beavin C, Kwok L, Alkema L,. Unintended pregnancy and abortion by income, region, and the legal status of abortion: estimates from a comprehensive model for 1990–2019. *The Lancet Global Health*. 2020 ; 8(9):e1152-e1161
4. Brunie A, Aw FNRS, Ndiaye S, Dioh,E, Lebetkin E, Lydon MM, Knippler E., Brittingham S., Dabo M., Ndiaye M.M.D. Making removals part of informed choice: a mixed-method study of client experiences with removal of long-acting reversible contraceptives in Senegal. *Glob Health Sci Pract*. 2022 ; 10(5):e2200123
5. Coulibaly M, Doukouré D, Kouamé J, Ayékoé IA, Mélédje-Koumi MD, Malik S, Sackou-Kouakou J, Aké O, Tiembré I, Kouadio L. Obstacles socioculturels liés à l'utilisation de la contraception moderne en Côte d'Ivoire Socio-cultural obstacles related to modern contraceptive use in Côte d'Ivoire. *Santé publique*. 2020 ; 32 (4) : 389-397
6. Cuillier F, Ben Ghalem S, Haffaf Y. Stérilet appendiculaire : une exceptionnelle complication. *J Gynecol Obstet Biol Reprod*, 2003 ; 32 : 55-57
7. Dassah ET, Odoi AT, Owusu asubonteng G. Prevalence and factors predictive of long-acting reversible contraceptive use in a tertiary hospital in urban Ghana. *Eur J Contracept Reprod Health Care*. 2013 ; 18(4) : 239-299
8. Foumsou L., Ache H., Kheba F., Gabkika B.M., Koide S.R. La contraception de longue durée d'action au Centre Hospitalier Universitaire de la Mère et de l'Enfant de N'Djamena : épidémiologie et effets secondaires. *Journal de la SAGO*, 2021, 22 (1) :1-6

9. Ganatra B, Gerdt C, Rossier C, Johnson Jr B R, Tuncalp Ö, Assifi A., Sedgh G., Singh S., Bankole A., Popinchalk A., Bearak J., Kang Z., Alkema L. Global, regional, and subregional classification of abortions by safety, 2010–14: estimates from a Bayesian hierarchical model. *The Lancet*. 2017 ; 390 (10110) : 2372-2381
10. Hajjar C., Ouchicha I., Janati K, Zaidi K., Bennani H., El.Mounssefe G., Bakhri M., Haloua M., Alaoui Lamrani M.Y., Boubbou M., Maaroufi M., Alami B.. Migration trans-utero-vesicale d'un dispositif intra-uterin avec formation de calcul: à propos de 03 cas. *Uro'Andro*. 2020 ; 2(4) : 147-151
11. Luo Z, Gao L, Anguzu R and Zhao J. Long-acting reversible contraceptive use in the post-abortion period among women seeking abortion in mainland China: intentions and barriers. *Reproductive Health*. 2018 ; 15:85
12. Melka A.S., Tekelab T., Wirtu D. Determinants of long acting and permanent contraceptive methods utilization among married women of reproductive age groups in western Ethiopia: a cross-sectional study. *Pan Afr Med J*. 2015 ; 21: 246
13. Prine L., Shah M.. Long-Acting Reversible Contraception: Difficult Insertions and Removals. *Am Fam Physician*. 2018 ; 98 (5) : 304-309
14. Say L, Chou D, Gemmill A, Tunçalp Ö, Moller AB, Daniels J., Gülmezoglu A.M., Temmerman M., Alkema L. Global causes of maternal death: a WHO systematic analysis. *The Lancet Global Health*. 2014 ; 2(6):e323-e333
15. Shiferaw K, Musa A. Assessment of utilization of long acting reversible contraceptive and associated factors among women of reproductive age in Harar City, Ethiopia. *Pan Afr Med J*. 2017 ; 28 : 222
16. TOGO MICS6 2017 Enquête par grappes à indicateurs multiples. Disponible à URL : <https://washdata.org> › togo-2017-mics-report-v2 ; en ligne. Consulté le 24/12/2023
17. Trussell J. Contraceptive failure in the United States. *Contraception*. 2011; 83:397–404
18. United Nations Population Division. 2022. Disponible à URL : <https://population.un.org/dataportal/home>, en ligne. Consulté le 24/12/2023
19. USAID. Holistic Approach Enhances Family Planning Programs. Respond's Experience with the SEED Programming Model. 2014; 27: 1-8

**Effets de *Faidherbia albida* (Delile) sur des Paramètres de Croissance et de Rendement du Mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) en Milieu Paysan dans la Commune de Tibiri (Niger)**

***Younoussou Rabo***

***Issoufou Balla Mahaman Sadikou***

University of Diffa, Faculty of Agronomic Sciences, Niger

***Ali Mahamane***

University of Diffa, Faculty of Agronomic Sciences, Niger

Abdou Moumouni University of Niamey, Faculty of Science and Technology, Garba Mounkaila Laboratory, Niger

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p86](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p86)

Submitted: 22 November 2023

Accepted: 29 January 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Rabo Y., Sadikou Mahaman I.B. & Mahamane A. (2024). *Effets de Faidherbia albida (Delile) sur des Paramètres de Croissance et de Rendement du Mil (Pennisetum glaucum (L.) R. Br) en Milieu Paysan dans la Commune de Tibiri (Niger)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 86. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p86>

## Résumé

Cette étude a été conduite en milieu paysan dans la commune de Tibiri, où la pratique de la régénération naturelle assistée, RNA est bien ancrée dans les pratiques culturelles des populations. L'objectif générale est d'étudier les effets de *F. albida* sur les paramètres de croissance et de rendement du mil (*Pennisetum glaucum*). Pour ce faire, un dispositif expérimental a été installé sur le site avec des placettes annulaires concentriques centrées sur le tronc d'arbre. Ainsi, trois auréoles R1, R2 et R3, du tronc de l'arbre vers l'extérieur du houppier, ont été définies pour chacun des individus. En vue de comparer les résultats avec une situation de référence, des témoins où le sol est supposé être hors influence de l'arbres ont aussi été installés donnant ainsi quatre traitements. Une analyse en composante principale a été effectuée pour comprendre les liens entre les paramètres étudiés et les différents traitements appliqués. Les résultats ont montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents traitements sauf pour le rendement en biomasse. L'ACP a fait ressortir que la 1ère et la 2ème auréoles sont caractérisées par beaucoup de feuilles, un bon diamètre de la tige principale et un bon diamètre en épis

alors que la 3ème auréole se caractérise par des feuilles larges et un bon rendement en grain. Le témoin se caractérise par un bon rendement en épis et un nombre élevé en épis. Les résultats obtenus témoignent que *F. albida* améliore conséquemment les paramètres de croissance et de rendement du mil.

---

**Mots-clés:** RNA, *F. albida*, Croissance, Rendement, Mil, Tibiri

---

## **Effects of *Faidherbia albida* (Delile) on Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) Growth and Yield Parameters in a Farmer's Environment in the Commune of Tibiri (Niger)**

*Younoussou Rabo*

*Issoufou Balla Mahaman Sadikou*

University of Diffa, Faculty of Agronomic Sciences, Niger

*Ali Mahamane*

University of Diffa, Faculty of Agronomic Sciences, Niger

Abdou Moumouni University of Niamey, Faculty of Science and  
Technology, Garba Mounkaila Laboratory, Niger

---

### **Abstract**

This study was conducted in a peasant environment in the commune of Tibiri, where the practice of assisted natural regeneration, ANR, is well anchored in the cultivation practices of the populations. The aim objective is to investigate the effects of *F. albida* on millet (*Pennisetum glaucum*) growth and yield parameters. To do this, an experimental device was installed on the site with concentric ring plots centred on the tree trunk.

Thus, three halos R1, R2 and R3, from the trunk of the tree to the outside of the crown, were defined for each of the individuals. In order to compare the results with a reference situation, controls where the soil is assumed to be out of the influence of the tree were also installed, thus giving four treatments. A principal component analysis was performed to understand the relationships between the parameters studied and the different treatments applied. The results showed that there was no significant difference between the different treatments except for biomass yield. The ACP showed that the 1st and 2nd halos are characterized by many leaves, a good diameter of the main stem and a good diameter in spikes, while the 3rd halo is characterized by broad leaves and a good grain yield. The control is characterized by a good yield of ears and a high number of ears. The results obtained show that *F. albida* consequently improves millet growth and yield parameters.

---



**Keywords:** RNA, F. albida, Growth, Yield, Millet, Tibiri

## **Introduction**

Le mil est une culture à température chaude, cultivée annuellement comme une culture pluviale dans les régions tropicales arides et semi-arides d'Afrique et le sous-continent indien où aucune autre culture ne peut survivre en raison de sols pauvres et de pluies erratiques et incertaines (Aboubacar et al., 2019). Selon les mêmes auteurs, le mil peut être considéré comme une seule espèce, mais il comprend un certain nombre de variétés cultivées. Il est presque certainement originaire de l'Afrique occidentale tropicale, où se produit le plus grand nombre de formes sauvages et cultivées. Selon Andrews et al. (1993), le mil est une espèce de céréales tropicales à forte capacité de tallage et à pollinisation croisée, qui est obtenue grâce à la protogynie, puisque toutes les fleurs sessiles sont parfaites (c'est-à-dire physiquement fertiles et masculines). Le mil est une culture alimentaire de base dans les régions arides et semi-arides d'Afrique. En Afrique, la culture du mil s'étend sur plus de 21 millions d'hectares, où près de 500 millions de personnes en dépendent pour leur survie. L'Afrique assure 40% de la production mondiale du mil (Saïdou, 2011). Le mil est cultivé sur plus de 12 millions d'hectares en Afrique de l'Ouest et occupe plus de 65% de la superficie emblavée au Niger (Toungiani et al., 2013 ; IRD, 2009).

Ainsi, au cours de la prochaine décennie, la croissance démographique serait la principale cause d'accroissement de la demande alimentaire dans le monde. En effet, le Niger est l'un des pays sahéliens où l'agriculture constitue l'activité principale pour la population. Tous ces problèmes sont dus à la surexploitation des ressources végétales, qui contribuent beaucoup à la fertilité du sol, limitent l'érosion éolienne et hydrique et qui réduisent aussi l'évapotranspiration (Sadikou, 2017).

La commune de Tibiri (Région de Maradi) est située dans la bande Sud du pays et présente une potentialité importante en ressources végétales. Ainsi, les paysans de cette zone à travers l'appui des ONGs, projets et les services techniques ont adopté la régénération naturelle assistée (RNA) comme technique pour stabiliser les ressources végétales et s'adapter aux effets néfastes des variabilités aux changements climatiques, afin d'accroître la productivité agricole (Fanna, 2012). La régénération naturelle assistée contribue non seulement à l'amélioration des conditions de vie des populations mais contribue fortement au reboisement et au reverdissement des zones où elle est pratiquée (Rabo et al., 2021a ; Rabo et al., 2021b ; Fanna, 2012). Le choix de la conservation de ces espèces tient au fait qu'elles amélioreraient aussi les rendements des cultures. En effet, Les producteurs reconnaissent que le niveau de fertilité des sols est plus élevé sous le couvert de certaines espèces d'arbres que sur un sol nu (Rabo et al., 2021a ; Rabo et al., 2021b). Selon une



étude menée l'espèce *F. albida* représente 17% des espèces rencontrées dans les champs à RNA Rabo et al. (2021a). Or, cette espèce occupe le premier rang parmi les espèces garantes de la fertilité des sols (Dan Guimba, 2011 ; Larwanou et al., 2006 ; Dan Guimbo et al., 2010 ; Rabo et al., 2021a). C'est alors que cette étude se fixe pour objectif d'étudier « Effets de *F. albida* sur les paramètres de croissance et de rendement du mil (*Pennisetum glaucum* L.) en milieu paysan dans la commune de Tibiri ».

## Matériel et méthodes

### Présentation du milieu d'étude et choix du site d'expérimentation

Cette étude a été conduite dans le terroir de Waraou, un village situé dans la commune urbaine de Tibiri située entre la latitude 13°30' et 13°34'01" Nord, et la longitude 7°1' et 7°03'07" Est et couvre une superficie d'environ 1200 km<sup>2</sup>. Elle est l'une des cinq (5) communes qui composent le département de Guidan Roundji (région de Maradi), (Figure 1). Dans ce terroir, l'espèce *F. albida* est bien présente compte tenu de la pratique de la régénération naturelle assistée (RNA) qui y a pris de l'ampleur. Aussi, l'importance des pratiques culturelles et la forte exploitation et l'utilisation des ressources naturelles font de ce terroir un site privilégié pour cette étude. Le climat est du type sahélo soudanien avec une pluviométrie annuelle oscillant entre 400 à 500mm/an.

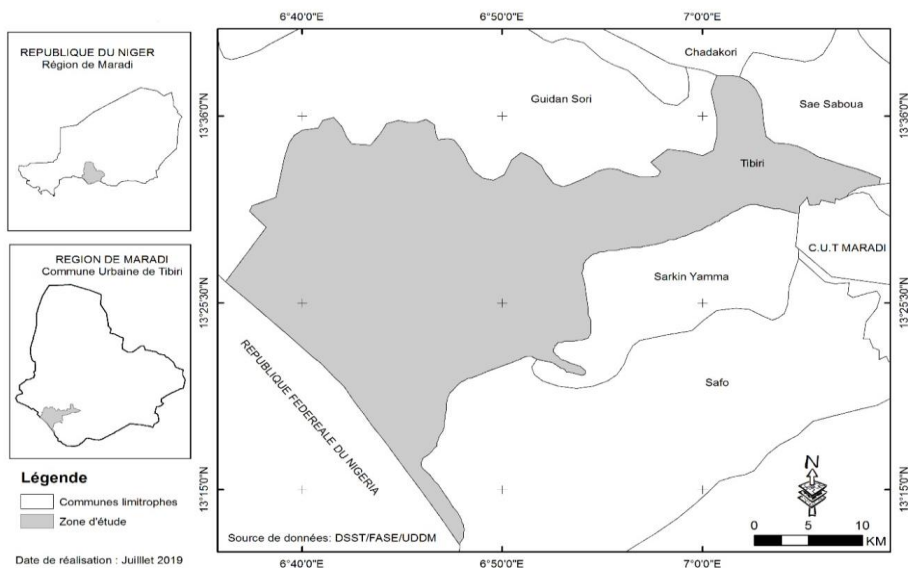


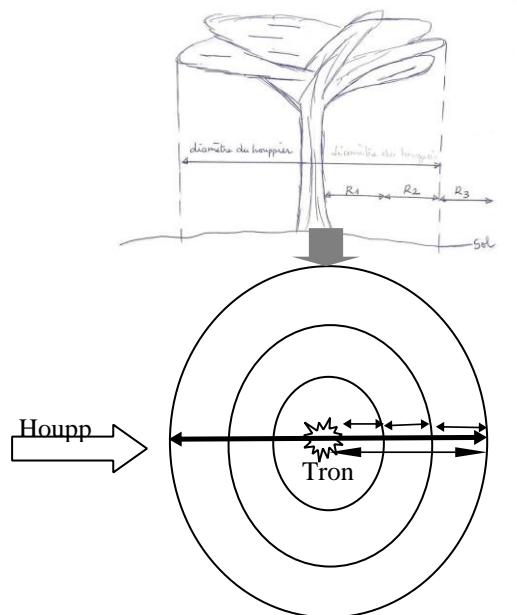
Figure 1. Localisation de la commune urbaine de Tibiri

## Matériel végétal

La variété de mil utilisée dans le cadre de cette étude est le Haini Kiré Précoce (HKP) qui est une variété améliorée et dont les semences sont certifiées. Cette variété peut être classée en groupe à cycle intermédiaire (85 à 95 jours) et groupe à cycle court (80 à 85 jours). Elle est peu sensible à la photopériode et fleurissent aux environs de 60 jours après le semis. Ces semences nous ont été fournies par la ferme semencière de Aïnoma.

## Dispositif expérimental

Pour la bonne réussite de ce travail, il a été décidé d'adopter un dispositif avec placettes annulaires concentriques, centrées sur le tronc de l'arbre : les auréoles (Louppe et al., 1996 ; Gbemavo et al., 2010). Trois placettes annulaires concentriques (centrées) correspondant aux trois (3) auréoles ont été installées au niveau du houppier de chaque arbre échantillonné. Ces placettes sont installées de l'intérieur vers l'extérieur du houppier de la manière suivante (figure 2). L'espèce étudiée est *F. albida*.



**Figure 1.** Dispositif expérimental

Où  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  sont respectivement les rayons de la première, deuxième et troisième auréole autour du tronc et  $R$ , le rayon du Houppier avec  $R = R_1 + R_2 + R_3$  et  $D =$  diamètre du houppier.

Trois (3) classes d'âge ont été définies, à savoir la classe de 0 à 5ans, la classe de 5 à 15ans et la classe de 15ans à plus. Pour chaque classe d'âge,

trois (3) individus ont été retenus donnant ainsi neuf (9) individus. Pour chaque individu, trois auréoles ont été déterminées : la 1ère auréole correspondant à R1, la 2ème auréole correspondant à R2 et la 3ème auréole correspondant à R3. Dans chaque auréole trois (3) poquets ont fait l'objet d'observations. Au total,  $3*3*3= 27$  poquets par auréole. En vue de comparer les résultats avec une situation de référence, des témoins où le sol n'a subi aucune influence de *F. albida* ont été appliqués.

### **Conduite de culture**

Le mil a été semé aux écartements de 0,8m x 0,8m soit une densité de 15625m<sup>2</sup>/ha. Le premier sarclage est intervenu trois semaines soit 21 jours après le semis. Quant au démariage, il a été fait trente un (31) jours après le semis pour tout le dispositif et cinq (5) plants ont été laissés par poquet. Toutes les opérations culturales ont été faites à la demande. La seule variété de mil qui a été cultivée est le Haïni Kiré Précoce (HKP). En vue de bien apprécier l'effet des auréoles sur les paramètres étudiés, ni engrais minéral, ni engrais organique n'ont été utilisés.

### **Paramètres étudiés**

Les paramètres suivants ont été étudiés :

- la hauteur de la tige principale ;
- le diamètre de la tige principale ;
- la longueur des feuilles ;
- la largeur de feuilles ;
- le nombre de feuilles par poquet ;
- la longueur des épis ;
- le diamètre des épis ;
- le nombre d'épis par poquet à la maturité ;
- le rendement en épis par poquet ; le rendement en grains par poquet et ;
- le rendement en biomasse par poquet.

### **Collecte des données**

Une fiche d'observation a été élaborée pour collecter les données relatives à chaque paramètre étudié. Ces fiches ont été renseignées selon les jours d'observation et en fonction des paramètres étudiés. Dans chaque auréole trois (3) poquets ont fait l'objet d'observation. Dans chaque poquet, cinq (5) plants de mil est ont été laissés au démariage et ont subi les observations pour tous les paramètres étudiés.

## **Analyse et traitement des données**

Les données collectées ont été saisies sur le tableur Excel puis soumises à des analyses de variance en utilisant le logiciel Minitab18. Les tests de Shapiro-Wilks et de Levene ont été utilisés pour vérifier respectivement la normalité des données et l'homogénéité des variances. Ensuite, le test paramétrique de Dunnett a été appliqué sur les données pour effectuer l'ANOVA avec un seuil de significativité de 5%. Enfin, une analyse en composante principale (ACP) a été effectuée pour comprendre les liens entre les paramètres étudiés et les différents traitements appliqués.

## **Résultats**

### **Hauteur de la tige principale du mil sous F. albida en fonction des traitements**

Le tableau 1 présente la hauteur moyenne de la tige principale du mil sous houppier de F. albida. Il ressort de l'analyse de ce tableau qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les différents traitements au seuil de 5% ( $p = 0,35$ ). De ce fait, les traitements n'ont pas eu d'effet sur la hauteur de la tige principale du mil ; la hauteur moyenne de la tige principale variant de  $196,56 \pm 12,77$  cm dans la 3ème auréole à  $203,56 \pm 13,01$  cm au niveau du témoin.

### **Diamètre moyen de la tige principale du mil sous F. albida en fonction des traitements**

Le diamètre moyen de la tige principale, en fonction des traitements, est donné par le tableau 1. L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les différents traitements, au seuil de 5% ( $p = 0,18$ ). Les auréoles n'ont pas eu d'effet sur ce paramètre. Le diamètre moyen de la tige principale varie de  $2,27 \pm 0,18$  cm dans la 3ème auréole à  $2,45 \pm 0,37$  dans la 1ère auréole.

### **Nombre moyen de feuilles de mil par poquet sous F. albida en fonction des traitements**

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les différents traitements au seuil de 5% (tableau 1) ( $p = 0,05$ ). Le nombre moyen de feuilles par poquet varie de  $93,59 \pm 10,02$  dans la 3ème auréole à  $99,56 \pm 8,14$  dans la 1ère auréole.

### **Longueur moyenne des feuilles du mil sous F. albida en fonction des traitements**

Le tableau 1 donne la longueur des feuilles du mil sous F. albida. Il ressort de l'analyse de la variance, qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les différents traitements au seuil de 5% ( $p = 0,33$ ). Les

traitements n'ont donc pas eu d'effet significatif sur la longueur des feuilles du mil. La longueur moyenne varie de  $64,17 \pm 5,47$  cm dans le témoin à  $68,67 \pm 10,6$  cm dans la 2ème auréole.

### **Largeur des feuilles du mil sous F. albida en fonction des traitements**

Le tableau 1 donne la largeur moyenne des feuilles du mil sous F. albida. Il ressort de l'analyse de ce tableau qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les différents traitements au seuil de 5% ( $p = 0,5$ ). Ainsi, les auréoles n'ont eu d'effet statistiquement significatif sur la largeur moyenne des feuilles du mil. La largeur moyenne de feuilles varie de  $5,556 \pm 0,52$  cm dans le témoin et la 1ère auréole et  $5,741 \pm 0,54$  dans la 3ème auréole.

### **Longueur des épis du mil sous F. albida en fonction des traitements**

La longueur moyenne des épis de mil est donnée par le tableau 1. Il ressort de l'analyse de ce tableau qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les différents traitements au seuil de 5% ( $p = 0,64$ ). Les auréoles n'ont eu d'effet statistiquement significatif sur la longueur des épis du mil. La longueur moyenne des épis de mil est de 63,4cm.

### **Diamètre des épis du mil sous F. albida en fonction des traitements**

Le diamètre moyen des épis du mil sous F. albida varie de  $2,08 \pm 0,16$  cm dans le témoin à  $2,19 \pm 0,24$  dans la 3ème auréole (tableau 1). L'analyse de la variance, montre qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les différents traitements au seuil de 5% ( $p = 0,52$ ). Les auréoles n'ont eu d'effets significatif sur le diamètre du mil.

### **Nombre moyen d'épis de mil par poquet sous F. albida en fonction des traitements**

Le nombre moyen d'épis de mil par poquet sous F. albida, selon les auréoles, est donné par le tableau 1. Il ressort de l'analyse de ce tableau qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les différents traitements au seuil de 5% ( $p = 0,22$ ).

Le nombre moyen d'épis de mil par poquet varie de  $9,88 \pm 1,60$  dans la 1ère auréole à  $10,88 \pm 2,05$  dans le témoin.

### **Rendement en épis du mil par poquet sous F. albida en fonction des traitements**

Le rendement moyen en épis par poquet varie de  $0,79 \pm 0,19$  kg/poquet dans la 1ère auréole à  $0,89 \pm 0,19$  kg/poquet dans 3ème auréole (tableau 1). L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas de différence statistiquement

significative entre les différents traitements au seuil de 5% ( $p = 0,1$ ). Ainsi, les auréoles n'ont pas eu d'effet significatif sur le rendement en épis de mil.

### **Rendement en grains de mil par poquet sous *F. albida* en fonction des traitements**

Le rendement moyen en grains de mil par poquet est donné par le tableau 1. D'après ce tableau, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les différents traitements au seuil de 5% ( $p = 0,43$ ). Ainsi, les auréoles n'ont eu d'effet significatif sur le rendement en grains de mil par poquet. Le rendement moyen en grains de mil est de 0,45 kg/poquet.

### **Rendement en biomasse de mil par poquet sous *F. albida* en fonction des traitements**

Le tableau 1 donne le rendement en biomasse du mil, par poquet, sous *F. albida*. Il ressort de l'analyse de ce tableau qu'il y a une différence statistiquement significative entre les différents traitements au seuil de 5% ( $p = 0,0001$ ). La 1ère et la 2ème auréole sont celles qui ont eu les meilleurs rendements en biomasse avec respectivement  $1,25 \pm 0,22$  et  $1,25 \pm 0,25$  kg/poquet.

**Tableau 1.** Effets des auréoles sur certains paramètres de croissance et de rendement du mil en fonction des traitements

Traite ment	Hauteur de la tige principale (cm)	Diamè tre de la tige princi pale	Nombre de feuilles/p oquet	Longue ur des feuilles	Largeur des feuilles	Longue ur des épis	Diamè tre des épis	Nombre d'épis/po quet	Rende ment en épis (kg/poq uet)	Render ent en grains (kg/poq uet)	Rendement en biomasse(kg/ poquet)
1 <sup>er</sup> auréole	200,04±1 2,93a	2,45±0 ,37a	99,56±8,1 4a	69,56±1 1,23a	5,5556± 0,61a	63,85±2 ,99a	2,19±0, 24a	9,88±1,6 0a	0,79±0, 19a	0,4456± 0,09a	1,25±0,22a
2 <sup>ème</sup> auréole	200,22±1 2,38a	2,28±0 ,38a	99,11±8,7 6a	68,67±1 0,6a	5,704±0, 50a	63,52±3 ,17a	2,15±0, 24a	10±1,67a	0,80±0, 15a	0,4348± 0,07a	1,25±0,25a
3 <sup>ème</sup> auréole	196,56±1 2,77a	2,27±0 ,18a	93,59±10, 02a	69,3±12, 17a	5,741±0, 54a	62,70±3 ,16a	2,15±0, 25a	10,44±1, 60a	0,89±0, 19a	0,4748± 0,07a	0,56±0,38c
Témoin	203,56±1 3,01a	2,31±0 ,30a	94,78±10, 2a	64,17±5, 47a	5,556±0, 52a	63,44±3 ,93a	2,08±0, 16a	10,88±2, 05a	0,87±0, 15a	0,4456± 0,07a	0,94±0,26b
<i>p-value</i>	<i>0,35</i>	<i>0,18</i>	<i>0,05</i>	<i>0,33</i>	<i>0,5</i>	<i>0,64</i>	<i>0,52</i>	<i>0,22</i>	<i>0,1</i>	<i>0,43</i>	<i>0,0001</i>

### Analyse en composante principale (ACP)

Les deux premiers axes concentrent à eux seuls 89,8% de l'information. Ce qui est suffisant pour interpréter les données. Le tableau 2 donne les coefficients de corrélation des paramètres étudiés avec les axes. Ainsi, les paramètres Longueur des épis (LE), Nombre de feuilles par poquet (NFP), Diamètre de la tige principale (DTP) et Rendement en biomasse par poquet (RBP) sont positivement corrélés à l'axe 1 tout comme les paramètres Longueur des feuilles (LF), Largeur des feuilles (Lf\_1) et le Diamètre des épis sont corrélés négativement l'axe 2. Par contre, les paramètres Nombre d'épis par poquet (NEP), Rendement en épis par poquet (REP) et Rendement en grain (RGP) sont négativement corrélés à cet axe 1 tout comme les paramètres Hauteur de la tige principale (HTP) et le Nombre d'épis par poquet (NEP) sont négativement corrélés à l'axe 2.

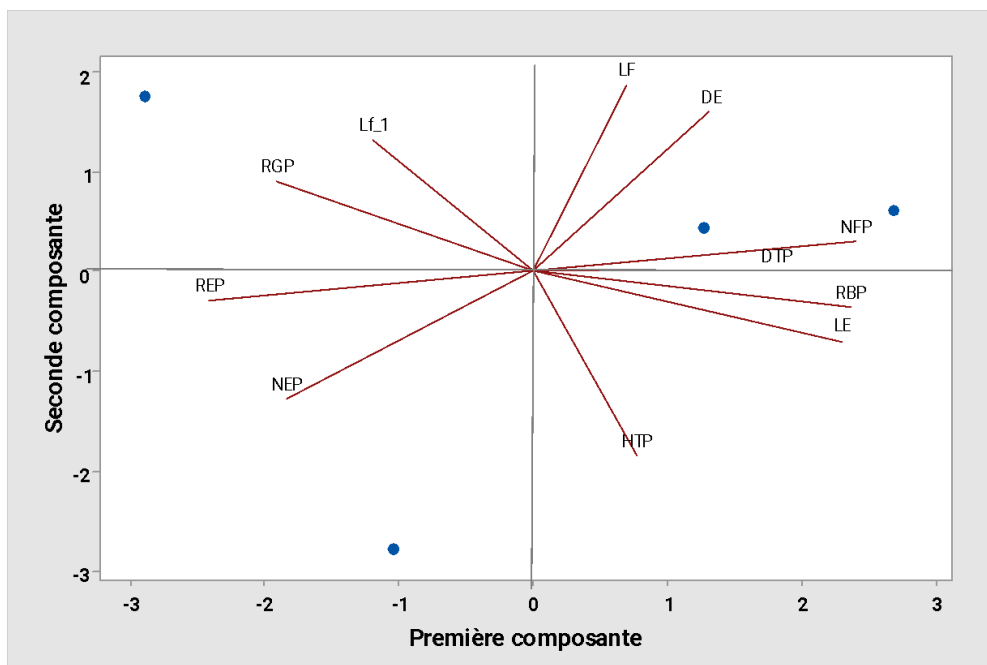
Par ailleurs, l'analyse de la figure 2 fait ressortir que la 1ère et la 2ème auréoles sont positivement corrélées à l'axe 1. Il est donc caractérisé par Longueur des épis (LE), Nombre de feuilles par poquet (NFP), Diamètre de la tige principale (DTP) et Rendement en biomasse par poquet (RBP). La 3ème auréole est, quant à elle, corrélée à l'axe 2, et donc cet axe se caractérise par les paramètres Longueur des feuilles (LF), Largeur des feuilles (Lf\_1) et le Diamètre des épis.

Il ressort de l'analyse du tableau 2 et de la figure 2 que la 1ère et la 2ème auréoles sont caractérisées par beaucoup de feuilles (NFP), un bon diamètre de la tige principale (DTP) et un bon diamètre en épis alors que la 3ème auréole se caractérise par des feuilles larges (Lf\_1) et un bon rendement en grain (RGP). Le témoin se caractérise par un bon rendement en épis (REP) et un nombre élevé en épis (NEP).

**Tableau 2.** Analyse en composantes principales des paramètres étudiés

<b>Variable</b>	<b>PC1</b>	<b>PC2</b>	<b>PC3</b>
<b>HTP</b>	0,127	-0,486	0,06
<b>DTP</b>	0,297	0,002	-0,643
<b>NFP</b>	0,395	0,077	0,166
<b>LF</b>	0,114	0,491	-0,04
<b>Lf_1</b>	-0,196	0,348	0,521
<b>LE</b>	0,378	-0,184	-0,073
<b>DE</b>	0,216	0,42	-0,196
<b>NEP</b>	-0,303	-0,337	-0,089
<b>REP</b>	-0,396	-0,076	-0,147
<b>RGP</b>	-0,314	0,238	-0,407
<b>RBP</b>	0,389	-0,093	0,21





**Figure 2.** Plan factoriel de l'analyse en composante principale (ACP)

Légende : NFP : Nombre moyen de feuilles/poquet ; HTP : Hauteur de la tige principale ; DTP: Diamètre de la tige principale; NTP: Nombre moyen de talles ; NFP: Nombre moyen de feuilles/poquet; LF: Longueur des feuilles; Lf\_1: Largeur des feuilles; LE: Longueur des épis ; DE: Diamètre des épis; NEP: Nombre d'épis par poquet; REP: Rendement en épis poquet; RGP: Rendement en grains par poquet et RBP: Rendement en biomasse par poquet.

## Discussion

Hauteur, diamètre et nombre de feuilles, longueur et largeur des feuilles de la tige principale

Cette étude a permis de cerner les effets de *F. albida* sur les paramètres hauteur et diamètre de la tige principale du mil. Ainsi, la hauteur moyenne de la tige principale varie de  $196,56 \pm 12,77$  cm dans la 3ème auréole à  $203,56 \pm 13,01$  cm au niveau du témoin. Les résultats ont montré qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les traitements sur la hauteur et le diamètre moyens. Des résultats similaires ont été rapporté par Mansour et al. (2020) avec une hauteur moyenne de 226,93 cm du plant de mil. En effet, selon ces auteurs, la hauteur la plus élevée a été enregistrée au niveau du traitement demi-lune (229,46 cm) et la plus faible a été enregistrée au niveau du témoin (151,293 cm). Les résultats auxquels ces auteurs sont parvenus s'expliqueraient par la présence de fumure organique et de résidus de récolte dans les ouvrages de demi-lune. Par ailleurs, les résultats de cette étude pourraient s'expliquer par le fait que le sol est fertile dans cette zone avec plus d'aération, ce qui favoriserait mieux la croissance en hauteur du mil. Ce qui est conforme aux résultats de Dan Lamso et al. (2015) qui stipulent que la

croissance de la hauteur est due aux caractéristiques chimiques des sols qui y sont favorables. Par contre, Hamadou et al. (2017) rapporte qu'au sahel les sols sont très pauvres en phosphore, alors que le phosphore permet d'augmenter la croissance de la tige du mil 53%. La croissance de la tige de mil est aussi favorable à une augmentation du nombre de talles par poquet. Le nombre moyen de talles dans cette étude est de  $6,64 \pm 1,17$  et  $7,05 \pm 0,63$  par poquet respectivement sous F. albida et dans le témoin. En effet, Zounon et al. (2020) ont obtenu en moyenne  $10,04 \pm 3$  talles/poquet dans les zones agro-écologiques du centre sud du Niger, ce qui est contraire aux résultats de cette étude. Par contre, Dutordoir (2006) a obtenu 4,40, 3,97, 4,51, 3,89, 3,74 et 3,29 talles/poquet par strate de fertilité. Cette différence pourrait être liée aux variétés, à la pratique de la RNA et aux conditions pédoclimatiques des zones d'études (Zounon et al., 2020). Aussi, l'un des facteurs qui influenceraient la croissance et le tallage est la densité du mil. En effet, la production de talles augmente avec la faible densité de semis et de lumière (Bamba et al., 20219 ; Whaley et al., 2000 ; Van Oosterom et al., 2001). Pour ces auteurs, cela s'expliquerait par le fait qu'il y a moins de compétition entre les plantes pour les éléments nutritifs du sol et pour la lumière.

Par ailleurs, en termes de paramètre de croissance les traitements sous F. albida donnent un meilleur résultat. Cette différence peut être due au fait que non seulement F. albida fixe l'azote mais aussi et surtout les débris de cette espèce sont beaucoup riches en matière organique et favorise la croissance des différents paramètres du mil. Ainsi, la RNA permet de générer des intrants organiques nécessaires pour stimuler la réponse des sols sableux aux cultures. Cette source d'amendement naturel permet d'éviter la dégradation progressive des sols (Moutari, 2018). Les arbres contribuent à améliorer le taux de matière organique et en éléments minéraux du sol. Ils atténuent l'effet du vent et de l'ensoleillement.

### **Paramètres de rendement du mil (nombre des épis, longueur des épis, diamètre des épis, rendement en épis, rendement en grains et rendement en biomasse par poquet du mil)**

Le nombre moyen d'épis par poquet varie de  $9,88 \pm 1,60$  dans la 1ère auréole à  $10,88 \pm 2,05$  dans le témoin. Ces résultats sont de loin supérieurs à ceux de Dutordoir (2006), qui a obtenu les nombres d'épis par poquet de 3,02 ; 3,08, 2,63 ; 2,72 ; 3,67 et 3,32 sous différents traitements. Le rendement en épis ( $0,89 \pm 0,19$  kg/poquet) le plus élevé est observé au niveau de la 3ème auréole. Par ailleurs, le rendement moyen en grains de mil est de 0,45 kg/poquet soit 7031,25kg/ha. Ce qui est supérieur aux résultats rapportés par Mansour et al. (2020). En effet, selon ces auteurs, la demi-lune a présenté le rendement en grains le plus élevé (1838,89 kg/ha), suivie respectivement de demi-lune + cordon pierreux (1692,84 kg/ha), cordon pierreux (831,69 kg/ha)

et le témoin (597,22 kg/ha). Ces valeurs élevées de rendement du mil peuvent être liées à la disponibilité de l'eau et des éléments nutritifs du sol pour les plants de mil au niveau de ces ouvrages (Mansour et al., 2020). La présence de *F. albida* influence significativement le rendement en mil et ce, indépendamment de la proximité avec le tronc. En effet, pendant la saison des pluies, l'espèce perd ses feuilles. Ce qui permet à la lumière de pénétrer les plants de mil et de limiter la concurrence pour ce paramètre biophysique. Ces résultats sont contraires à ceux obtenus par Dutordoir (2006). En effet, cet auteur a obtenu des rendements de 0,037 ; 0,035 ; 0,032 ; 0,037 ; 0,026 et 0,034kg/poquet selon les différents traitements. Cette différence est due aux plusieurs facteurs pédoclimatiques du milieu.

Une étude menée par Tougiani et al., (2021) a relevé que les populations locales conviennent que les arbres *F. albida* ont des effets positifs significatifs sur la fertilité des sols, le fourrage pour les animaux et les rendements des cultures. Les résultats d'une méta-analyse de (Sileshi, 2016) a montré des améliorations significatives du carbone organique du sol (augmentation de 46%), de l'azote total (augmentation de 50%), du phosphore (augmentation de 21%), du potassium (augmentation de 32%) et des rendements du maïs et du sorgho (150% et 73 %, respectivement) sous couvert forestier par rapport à la zone aride. Au Niger, Kho et al. (2001) ont signalé une amélioration du rendement du mil de 36% sous *F. albida*. Ceci est cohérent avec les perceptions des agriculteurs dans cette étude qui ont observé une baisse de leurs rendements agricoles comprise entre 33% et 55%, selon les cultures, avec la mortalité et la disparition des arbres *F. albida*. En effet selon ces auteurs la présence de *F. albida* contribue significativement à l'amélioration des rendements des cultures, toute chose conforme aux résultats de cette étude car même si aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les traitements, mise à part la biomasse, les rendements sont restés meilleurs. On peut donc conjecturer que l'effet de *F. albida* va au-delà des auréoles et s'étale sur les zones témoins. En fin, pour ce qui est du rendement en biomasse par poquet, les plus élevés ( $1,25 \pm 0,22$  et  $1,25 \pm 0,25$  Kk/poquet) sont obtenus au niveau de la 1ère et de la 2ème auréoles. Les résultats montre que la 1ère et la 2ème auréoles sont caractérisées par beaucoup de feuilles, un bon diamètre de la tige principale et un bon diamètre en épis alors que la 3ème auréole se caractérise par des feuilles larges et un bon rendement en grain. Le témoin se caractérise par un bon rendement en épis et un nombre élevé en épis. Selon plusieurs sources *F. albida* est une excellente espèce agroforestière pour son impact sur l'amélioration du carbone du sol et la fertilité du sol, l'augmentation de l'activité des microorganismes symbiotiques et l'amélioration des rendements et des valeurs nutritionnelles des cultures (Danthu et al., 2002 ; Takimoto et al., 2008 ; Gnankambary et al., 2009 ; Sileshi, 2016). En raison de son système racinaire profond dans les sols

de dunes, la concurrence pour les ressources superficielles en eau et en nutriments entre cette espèce et les cultures environnantes est très limitée (Roupsard et al., 1998).

### **Conclusion**

Cette étude, conduite dans la commune de Tibiri a porté sur les effets de *F. albida* sur certains paramètres de croissance et de rendement du mil. Il ressort des résultats de l'étude qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre tous les traitements au niveau des paramètres étudiés sauf pour le paramètre de rendement en biomasse. Aussi, la 1ère et la 2ème auréoles sont caractérisées par beaucoup de feuilles, un bon diamètre de la tige principale et un bon diamètre en épis alors que la 3ème auréole se caractérise par des feuilles larges et un bon rendement en grain. Le témoin se caractérise par un bon rendement en épis et un nombre élevé en épis. En somme, *F. albida* améliore conséquemment les paramètres de croissance et de rendement du mil pourvu que la densité de cette espèce soit importante. Ce qui permet une gestion agroécologique des terres agricoles dans un contexte de baisse de fertilité des sols et de sécurité alimentaire chronique des populations nigériennes. En termes de perspectives, il serait intéressant d'étudier les effets des espèces retenues dans les champs à RNA sur les paramètres de croissance et de rendement des cultures telles que le ml, le maïs, le sorgho et le niébé.

**Conflit d'intérêt :** Les auteurs de manuscrit déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt de quelque nature de ce soit dans le cadre de la réalisation de cette étude.

**Financement des travaux :** Les auteurs n'ont obtenu aucun financement dans la réalisation de cette étude.

**Disponibilité des données :** Toutes les données sont disponibles dans le contenu de l'article.

### **Références :**

1. Aboubacar, K., Hayyo, H., & Issa K. (2019). Culture du mil (*Pennisetum glaucum*) et ses contraintes à la production : une revue. Département de productions végétales, Faculté d'agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, P504-513
2. Andrews, D. J., Rajewski, J. F., & Kumar, K. A. (1993). New feed grain crop. In *New Crops*, Janick J, Simon J. E. (eds). Wiley : New York ; 198-208.
3. Bamba, B., Gueye, M., Badiane, A., Ngom, D. & Ka S. L. (2019). Effet de la date et de la densité de semis sur la croissance et le rendement en

- grain du mil tardif [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br] dans les zones sud est et sud du Sénégal. *J. Appl. Biosci.* 138: 14106 - 14122
4. Dan Guimbo, I., Mahamane, A., & Ambouta, K. J-M. (2010). Peuplement des parcs à *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance et à *Vitellaria paradoxa* (Gaertn. C.F.) dans le sud-ouest nigérien : Diversité, structure et régénération. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4 (5) : 1706-1720
  5. Dan Guimbo I., (2011). Fonction, dynamique et productivité des parcs à *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. Et à *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance dans le sud-ouest du Niger, thèse de doctorant, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, 158p
  6. Dan Lamso, N., Guero, Y., Tankari, D. A., Rabah, L., Andre, B. B., Patrice, D., Tidjani, A. D., Ado, M. N., & Ambouta J. M. K. (2015). Variations texturales et chimiques autour des touffes d'*Hyphaene thebaica* (mart) des sols dans la région de Maradi (Niger). *Algerian journal of arid environment*, 5 (1), 40-55.
  7. Danthu, P., Hane, B., Sagna, P., & Gassama, Y. K. (2002). Restoration of rooting competence in mature *Faidherbia albida*, a Sahelian leguminous tree, through serial root sucker micrografting. *New Forests*, 24(3), 239–244
  8. Dutordoir, D. C. (2006). Impact de pratiques de gestion de la fertilité sur les rendements en mil dans le Fakara (Niger) ; Mémoire d'ingénieur, Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale ; université catholique de Louvain ; 161P.
  9. Fanna, M. A. M. (2012). Contribution de la régénération naturelle assistée (RNA) dans l'amélioration des moyens de subsistance des populations de Daré et Zédrawa dans la commune urbaine de Matameye (région de Zinder). Mémoire de master. Université de Maradi, Niger, 46p.
  10. Gnankambary, Z., Ilstedt, U., Nyberg, G., Hien, V., & Malmer, A. (2009). Nitrogen and phosphorus limitation of soil microbial respiration in two tropical parkland agroforests in the south-Sudanese zone of Burkina Faso: the effects of tree canopy and fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 350–359
  11. Gbemavo, D. S. J. C., Glèlè Kakai, R., Assogbadjo, A. E., Katary, A. & Gnganglè, P, (2010). Effet de l'ombrage du karité sur le rendement capsulaire du coton dans les agroécosystèmes coton-karité du Nord Bénin. *TROPICULTURA*, 28(4) : 193-199
  12. Hamadou, M., Idrissa, S., Mahamadou, C., Oumarou, S., & Valentin, K. (2017). Potentialités fourragères du mil (*Pennisetum glaucum*(L.) R. Br), *Revue littérature, Journal of Animal & Plant Sciences*, 34P.

13. IRD (Institut de Recherche pour le Développement). (2009). Le mil, aliment du futur au Sahel. Fiche N°325, Juillet 2009; p. 2.
14. Kho, R. M., Yacouba, B., Yaye, M. (2001). Separating the effects of trees on crops: the case of *Faidherbia albida* and millet in Niger, *Agroforestry Systems*, 52(3), 219–238
15. Larwanou, M., Saâdou, M., & Hamadou, S. (2006). Les arbres dans les systèmes agraires en zone sahélienne du Niger : mode de gestion, atouts et contraintes. *Tropicultura*, 24(1),14-18.
16. 18.
17. Louppe D., N'Dour B., & Samba S. A. N'Diaye (1996). Influence de *Faidherbia albida* sur l'arachide et le mil au Sénégal : Méthodologie de mesure et estimations des effets d'arbres émondés avec ou sans parcage d'animaux. P :123-139
18. Manssour, A. M., Moussa, H., Amani, A., Ali, A., Ibrahim, M. A. & Zoubeirou, A. M. (2020). Impact des techniques de récupération des terres dégradées sur la productivité du mil (*Pennisetum Glaucum* (L.) R. Br.) au Niger. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 29(4), 1264-1272
19. Moutari, M. (2018). Evaluation des effets de la combinaison de la Régénération Naturelle Assistée et des engrais sur les rendements du mil dans la commune de Sherkin Haoussa. Mémoire de Master. Université de Diffa, 61P.
20. Rabo, Y., Daouda, D. S., Salamou, M. T., & Ali, M. (2021a). Characteristics, Floristic Diversity and Structures of Stands Resulting from Assisted Natural Regeneration (ANR) in the Agroecozone of Tibiri in Niger, *Asian Journal of Applied Sciences*, 9 (2), 158-166.
21. Rabo, Y., Salamou, M. T., Daouda, D. S. & Ali, M. (2021b). Contribution of assisted natural regeneration (ANR) to improving the living conditions of the populations of the urban municipality of Tibiri. *International Journal of Science Academic Research*. 02(05), 1567-1575
22. Rouspard, O., Joly, H. I., & Dreyer, E. (1998). Variability of initial growth, water-use efficiency and carbon isotope discrimination in seedlings of *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev., a multipurpose tree of semi-arid Africa. Provenance and drought effects,” *Annales des Sciences Forestières*, 55(3), 329–348
23. Sadikou, I. (2017). Etude de la pratique de la régénération naturelle assistée du palmier doum dans le département de Mayahi. Mémoire. Faculté des
24. Sciences Agronomiques (FSA) de l'Université de Tahoua (UTA), P1-4.

25. Saïdou, A. (2011). Etude moléculaire, évolution et caractérisation de gènes impliqués dans l'adaptation du mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] aux changements climatiques. Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro, Montpellier, 236 p.
26. Sileshi, G. W. (2016). The magnitude and spatial extent of influence of *Faidherbia albida* trees on soil properties and primary productivity in drylands," *Journal of Arid Environments*, 132, pp. 1–14.
27. Takimoto, A., Nair, V. D., & Nair, P. K. R. (2008). Contribution of trees to soil carbon sequestration under agroforestry systems in the West African Sahel, *Agroforestry Systems*, 76(1), 11– 25
28. Tougiani, A., Yayé, A., Aboul Habou, Z., Adamou, A. I., & Adam T. (2013). Influence des Parcs agro-forestiers à *Piliostigma reticulatum* sur l'infestation des plants de mil par les insectes floricoles et *Coniesta ignefusalis* (Hmps) (Lépidoptère : Pyralidae) dans la zone d'Aguié au Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 66, 5140–5146.
29. Tougiani, A., Massaoudou, M., Adamou, H., Amadou, L. & John, C. W. (2021). *Faidherbia albida* (Delile), effets du dépérissement des arbres sur la production végétale dans les parcs agroforestiers du sud-ouest du Niger. *International Journal of Forestry Research*, 1-9.
30. Van Oosterom, E. J., Carberry, P. S., Hargreaves, J. N. G. O., & Leary, G. J. (2001). Simulating growth, development, and yield of tillering pearl millet. II. Simulation of canopy development. *Field Crops Research* 72: 67-91.
31. Whaley, J. M., Sparkes, D. L., Foulkes, M. J., Spink J. H., Semere, T., & Scott, R. K. (2000). The physiological response of winter wheat to reductions in plant density. *Annals of Applied Biology*, 137, 165-177
32. Zounon, C. S. F., Abasse, A. T., Massaoudou, M., Habou, R., Bado, V., Didier, T., & Ambouta, K. (2020). Effet De La Combinaison Régénération Naturelle Assistée (RNA) Et Microdose D'engrais Sur La Production Du Mil (*Pennisetum Glaucum* (L.) R.Br) Dans Les Zones Agro-Écologiques Du Centre-Sud Du Niger. *European Scientific Journal*, 16(6), 1857 – 7881



## Enhancing Hygiene and Technical Properties of Ceramic Tiles through Moroccan Phosphate Additives

*Fatima Zahra Boutaleb*

*Nadia Boutaleb*

Hassan 2 University of Casablanca, Laboratory of Biochemistry,  
Environment and Agri-Food, LBEA, Morocco

*Bouchaib Bahlaouan*

Higher Institutes of the Nursing Professions and Techniques of Health  
ISPITS Casablanca, Morocco

*Meryem Hadidi*

*Ghita Radi Benjelloun*

*Fatima Azzahra Louanjli*

*Fatima Ezzahra Doublali*

*Said El Antri*

Hassan 2 University of Casablanca, Laboratory of Biochemistry,  
Environment and Agri-Food, LBEA, Morocco

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p104](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p104)

Submitted: 06 November 2023

Accepted: 08 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Boutaleb F.Z., Boutaleb N., Bahlaouan B., Hadidi M., Benjelloun G.R., Louanjli F.A., Doublali F.E. & El Antri S. (2024). *Enhancing Hygiene and Technical Properties of Ceramic Tiles through Moroccan Phosphate Additives*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 104. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p104>

### Abstract

This study offers a simple solution to manufacture ceramic tiles with good technical and hygienic properties. This solution consists of integrating the phosphate product from Morocco in the industrial formulation of ceramic tiles, to produce materials in compliance with the criterion of the ISO standard. For phosphate products, three grades were studied: HG-high grade, MG-medium grade, and LG-low grade. The results show that for materials containing these additives, there is both an effect of the concentration and type of additive on technical and hygienic properties. The mechanical property is improved when the incorporated component was richer in P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Only the use of HG-high grade and MG-medium grade as an additive at least 15% makes it



possible to satisfy the mechanical requirement. The anti-biofilm effect of natural phosphate (PN) as an additive to manufacture ceramic tiles is confirmed, it may prevent bio adhesion and biofilm formation at almost 75% for the HG-high grade and MG-medium grade. This solution could interest professionals and all users who care about the state of hygiene of their ceramic materials sensible to the formation of biofilm, like orthopaedic implants, swimming pool tile...etc.

---

**Keywords:** Mining; Phosphate; Ceramic tiles; Bacterial bioadhesion; Biofilm; Mechanical properties

## 1. Introduction

Morocco's mining heritage is very rich in phosphates; it has been reported that it contains three quarters of the world's reserves, which allows it to rise among the four main universal producers and exporters (Hakkou et al., 2008; Hakkou et al., 2009; El Berkaoui et al., 2021). Moreover, around ten other minerals (zinc, lead, anthracite, iron, copper, barite, antimony, fluorite, cobalt, silver, and manganese) are regularly produced, and make it possible to enrich this heritage (Mehahad and Bounar, 2020; Zine et al., 2020). In addition, clays from Morocco occupy a predominant place in all sedimentary rocks. Their mineralogical and physicochemical properties arouse particular interest in many applications including water treatment, paint, barrier for pollutants, adsorbents, catalysts, and the manufacture of construction products (Harti et al., 2007). However, Morocco is known to be a major consumer of clay. The reserves of these materials in Morocco are largely sufficient to ensure totally or partially the supply of the ceramic industry (Harti et al., 2007; El Ouahabi et al., 2014). Ceramics products for interior, exterior, and wall coverings, for floors, for bathrooms, public hammams, and for ceramic swimming pools are among the sectors that constitute Morocco's cultural heritage. With development and urbanization, their productions are increasingly in demand and modernized to meet all the requirements, aesthetics, thermal insulation, energy saving, durability, etc. Unfortunately, their productions in the field of ceramics remain most often artisanal and semi-industrial (dominated by family companies and artisans) and many problems remain and encounter daily by ceramists to bring their products into conformity with local and global technical and regulatory requirements. Despite the abundant literature on this subject (Harti et al., 2007, Sadik et al., 2012), the scarcity of specific studies on the raw material used and the used formulation are often responsible for many problems during production, which we can cite breakage, deformations or malformations of finished products. These problems significantly limit yields. Controlling the quality of ceramic tiles requires very broad

knowledge in various scientific fields (geology, mineralogy, geochemistry, formulation, thermodynamics, mechanics, etc.) because of the multitude and diversity of steps in the manufacturing process. In a context of hygiene, given that ceramic coatings have in most cases faced with a humid environment, this makes them conducive to the formation of biofilms (Boutaleb et al., 2008a,b). This work aims to propose a simple solution, which consists in combining local mining resources in Morocco to produce ceramic products of good technical and hygienic quality, in compliance with ISO standards, and thus avoid the enormous economic losses associated with their production in industries that are currently finding it difficult to produce a compliant material made 100% from local clays. The effect antibiofilm of the natural phosphate (PN) as additives has already been proven in previous research work, in particular on the biomaterials of orthopaedic implants based on calcium phosphates and in particular hydroxyapatite (Ferraz et al., 2004; Ramos et al., 2018). This effect will be confirmed also during this research work for ceramic materials by using various grades of phosphate: HG-high grade, MG-medium grade, and LG-low grade incorporated into the base formula used to produce the ceramic tile products.

## 2. Material and method

### 2.1. Materials and characterisation

The phosphates used are from the Cherifien Phosphates Office Group (OCP) – Ouled Abdoun - Beni-Idir (Khouribga in Morocco). Several grades are used: HG-high grade, MG-medium grade, and LG-low grade. Their content in BPL and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> are shown in Table 1.

**Table 1.** Percentage in BPL and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in different products

	BPL* (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
<b>High grade (HG)</b>	> 69.5	31.80
<b>Medium grade (MG)</b>	68<BPL<69.5	31.12<P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <31.80
<b>Low grade (LG)</b>	61<BPL≤68.0	27.91<P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <31.12

\*Phosphate concentration is usually expressed as a percentage of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> or its Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> equivalent, known by the acronyms B.P.L. (Bone Phosphate of Lime): P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = BPL x 0.4576.

The abundant local clay from the region of El Gara (33°16' 42.7"N 7°13' 39.6" W) was used to prepare the studied mixtures. This region is part of the Triassic basin of Mohammedia– Benslimane-El Gara-Berrechid (Afenzar and Essamoud, 2017). Particle size analysis of clays is carried out according to the method described by the United States Department of Agriculture (USDA) (ASTM, 1972). The chemical composition of all geomaterials used was determined by X-ray fluorescence using the WDXRF, S4 Pioneer device supplied by BRUKER S8® (Boutaleb et al.,

2020a,b). The chemical structure was studied by infrared spectroscopy using Affinity-1S SHIMADZU spectrometer, in the range 400–4000  $\text{cm}^{-1}$  at a resolution of 16  $\text{cm}^{-1}$ .

## 2.2. Manufacturing of the ceramic tiles' specimen

For the preparation of the tile specimens, the various mixtures were introduced in a dry state and homogenized in a ball mill jar of 500 g capacity. The mixture is added to distilled water (4%) and Fluicer® deflocculates (1%). Mixing of all the ingredients lasts 30 min. The slurry recovered is dried in an industrial roller dryer at a temperature of up to 110 °C for 30 min. The product obtained is then ground, sieved (particle size <63  $\mu\text{m}$ ) and humidified using a sprayer within limits of 4 to 6% water. Pellets approximately 60 mm in diameter and 7 mm thick were prepared by manual pressing under uniaxial pressure (200 bars) using a hydraulic press of the Sassuolo Lab® type. A final firing step at 1200 °C is applied, which lasts 40 min (Boutaleb et al. 2020a,b,c). The tests from F1 to F11 were organized according to Table 2.

**Table 2.** The different formulas studied Technical and anti-bioadhesive properties

Formulas	Clay	Additive		
		LT	MT	HT
<b>F1 (Control)</b>	<b>100%</b>	0%	0%	0%
<b>F3</b>	95%	<b>5%</b>	0%	0%
<b>F4</b>	85%	<b>15%</b>	0%	0%
<b>F5</b>	70%	<b>30%</b>	0%	0%
<b>F6</b>	95%	0%	<b>5%</b>	0%
<b>F7</b>	85%	0%	<b>15%</b>	0%
<b>F8</b>	70%	0%	<b>30%</b>	0%
<b>F9</b>	95%	0%	0%	<b>5%</b>
<b>F10</b>	85%	0%	0%	<b>15%</b>
<b>F11</b>	70%	0%	0%	<b>30%</b>

F1, which does not contain a phosphate additive, consists of a test control and will make it possible to study the effect of the integration of the phosphate products. For each additive, the three percentages 5, 15, and 30% are tested.

## 2.3. Technical quality control of specimens

Mechanical properties of studied specimens were determined using Shimadzu® single-column machine, EZ LX series according to international standards NM ISO 10545-3 (2017), and NM ISO 10545-4 (2017). The firing shrinkage and the water absorption are determined using method described by Boutaleb *et al.*, (2020a,b,c).

## 2.5. Anti-bioadhesive properties of tiles

Adhesion tests were performed using bacteria indicating hygiene *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC27853) and *Escherichia coli* (ATCC25922). For each bacterium, suspension with an optical density at 405 nm of between 0.7 and 0.8 is prepared according to the protocol described by El Omari *et al.* (2017, 2018). The adhesion test is conducted by immersing the surfaces in the bacterial suspension for 2 hours at 37°C (Boutaleb *et al.*, 2008a,b; El Omari *et al.*, 2017; El Omari *et al.*, 2018). The surfaces are then collected, washed very gently with sterile distilled water held to remove any cells that are not adhered to and that may distort the count. A microscopic observation in Scanning Electron Microscopy (SEM) Philips, Model XL30 was also conducted for the determination of CFU per unit area and to study the anti-bioadhesive properties of tiles (Boutaleb *et al.*, 2008a,b; El Omari *et al.*, 2017; El Omari *et al.*, 2018). Matlab Software was used to convert images of Scanning Electron Microscopy SEM to their digital form and then calculate the percentage of surface occupation by bacteria.

## 3. Results and Interpretation

### 3.1. Chemical and physical characterization of clays

The abundant clay from the El Gara region of Morocco shows a very high percentage of Silica and Aluminum (Table 3), this indicates, the presence of Kaolinite ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) which help to have low fire shrinkage and allows the manufacture of refractory materials (El Yakoubi *et al.*, 2006; Laibi *et al.*, 2017). The Alumina/Silica ratio provides information on the material's moisture permeability, the greater this ratio the greater the permeability (Sadik *et al.*, 2012).

**Table 3.** Chemical compositions by X-ray fluorescence (wt %) and Particle size characterization (%) of used clay

Particle size characterization (%)	
Clay < 2µm	60
Sand 50-2000µm	15
Silt 2-50 µm	25
Chemical Characterization (%)	
SiO <sub>2</sub>	55.700
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.000
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.250
CaO	3.950
MgO	2.700
K <sub>2</sub> O	4.550
Na <sub>2</sub> O	0.400
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.100

<b>SO<sub>3</sub></b>	0.130
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.800
<b>MnO</b>	0.150
<b>BaO</b>	0.055
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub></b>	0.305
<b>Fire loss</b>	7.035

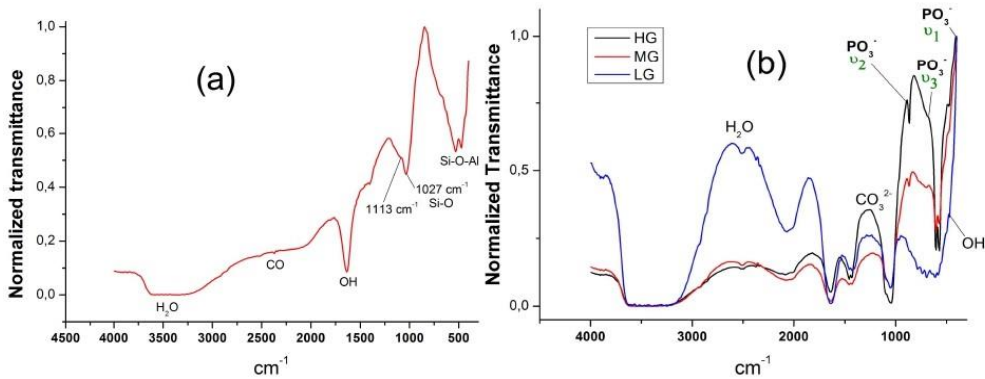
The high amount of calcium (CaO) indicates the richness of the clays in calcite (CaCO<sub>3</sub>) that help in acid-base environment stabilizing and help to generate of refractory monolith essential for thermal resistance. The overall composition of the other oxides (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, and SO<sub>3</sub>) reaches a percentage of 9% according to the results of the chemical composition by X fluorescence (Table 3) which shows that our clay is not pure (El Yakoubi et al., 2006; Harti et al., 2007; Hakkou et al., 2016; Laibi et al., 2017). SO<sub>3</sub> when present improves plasticity (El Yakoubi et al., 2006; Laibi et al., 2017). The particle size analysis in Table 3 shows that the clay used is among the category of fine clays according to the conventional classification of the USDA (ASTM, 1972). This type of soil is characterized by high plasticity when humid or compactness when is dry.

### 3.2. Spectroscopic Data

The vibrations at 532 and 470 cm<sup>-1</sup> shown in Fig. 1a, are attributable to the deformations of the Si-O-Al bonds and respectively where Al is hexacoordinate and Si-O-Si in the kaolinite. The bands at 702 cm<sup>-1</sup> correspond to a vibration of the Si-O-Al bond where Al is tetraordinate in kaolinite. Table 4 shows the wavenumbers with their corresponding functional groups as reported earlier by Sadik *et al.*, (2012). The results of this analysis are in accordance with the chemical analysis by X-ray fluorescence, indicating the presence of Kaolinite in the analysed material. The FTIR spectral data of different grades of natural phosphate (NP) are presented in Fig. 1b.

**Table 4.** Vibrational band for used clay and their attributions as reported by Sadik *et al.*, (2012)

Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Attribution
Vibration at 908	Deformation of the Al-OH bond in kaolinite
Intense band centered around 1027 and the band at 640	Vibrations of elongations of the Si-O-Si bond in kaolinite in clay minerals
Bands at 3688 and 3619	Vibration of the O-H bond of the hydroxyl groups of kaolinite
Band at 1113	Vibration of the Si-O bond of kaolinite
Band at 1628	Deformation vibrations of the OH <sup>-</sup> and H <sub>2</sub> O groups

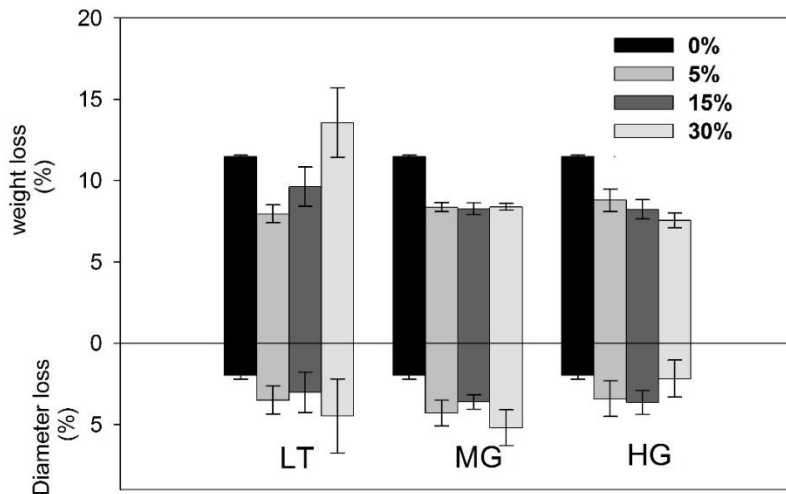


**Figure 1.** Fourier transform infrared spectrum of (a) clay used (b) different grades of natural phosphate (PN)

Different absorption bands were shown, indicating the presence of different functional groups on the NP surface. The intense band at  $1040\text{ cm}^{-1}$  is attributed to the  $\text{PO}_3^{4-}$  group, corresponding to the anti-symmetric valence vibration band domain of the P-O bond. The doublet observed at  $567$  and  $605\text{ cm}^{-1}$ , are attributed to the deformation vibration mode of the P-O bond. The band at  $1095\text{ cm}^{-1}$  indicates the presence of  $\text{HP}_2\text{O}_4$  groups. The absorption bands at  $870$  and  $1450\text{ cm}^{-1}$  indicate the presence of  $\text{CO}_3^{2-}$  ions. The intense mid band around  $1630\text{ cm}^{-1}$  is attributed to  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CO}_2$  groups. The weak band at  $3540\text{ cm}^{-1}$  indicates the presence of hydroxyl groups of the  $\text{Ca}(\text{OH})$  group. A broad absorption band around  $3700\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$  indicates the presence of water molecules and/or hydroxyl groups (Mabroum et al., 2020)

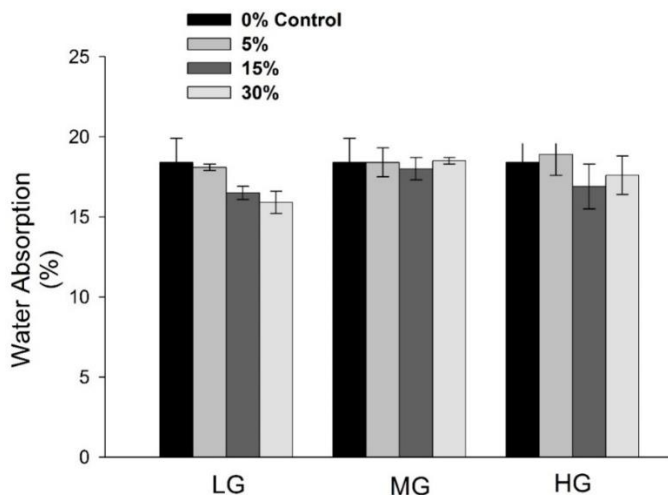
### 3.3. Mechanical and technical properties of the specimens

According to Fig. 2, we observed that the gradual addition of the phosphate-rich additive helps to reduce weight loss with a more or less stable loss in diameter. This is less visible when the additive is LG-low grade probably because of the presence of impurities. The loss of weight often causes the formation of cavities and a reduction in density (Weng et al., 2003).



**Figure 2.** Evaluation of the weight and diameter loss in all the produced materials.

According to the standards applied in this field (NM ISO 10545-3, 2017; NM ISO 10545-4, 2017), Group III are materials characterized by water absorption percentage that exceeds 10%, and they are not necessarily the first grade. Group II are materials characterized by water absorption percentages between 3% and 10%. Group I are materials characterized by water absorption percentage less than 3%. For all these categories a minimum breaking force of 600 N (for a thickness <7.5 mm) is required (Boutaleb et al., 2020a,c).



**Figure 3.** Evaluation of the water absorption in all produced materials.

Fig. 3 shows that for all materials, the integration of phosphate product additive does not significantly influence water absorption. When additive is HG-high grade and MG-medium grade the use of at least 15% of each one is

necessary to satisfy the requirement on the mechanical properties. However, when additive is LG-low grade it is not possible to produce tiles that satisfy the mechanical requirements (Fig. 4).

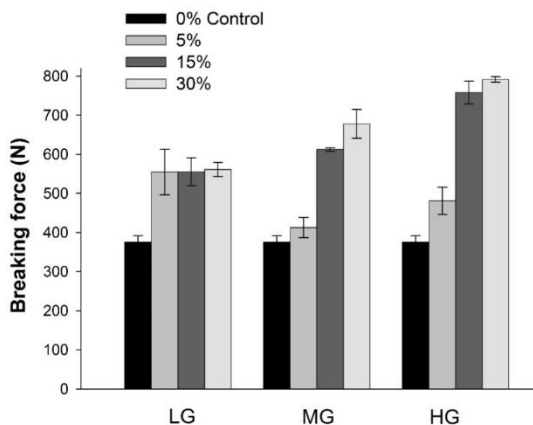


Figure 4. Mechanical properties of the tiles produced.

### 3.4. Studies of Anti bio-adhesion effect

According to Fig. 5 the adhesion score seems to depend both on the nature of the suspension of bacterial strains, the type of grade used, and the percentage integrated into the formulation of each grade. *P. aeruginosa* scores a higher adhesion score than *E. coli* in all the specimens studied. The adhesion score generally respects the following order: LG-low grade>MG- medium grade>HG-high grade and decrease when percentage of each additive is greater it is so positively correlated with the P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> richness. The richer the additive is by this element, the more the percentage of adhesion decreases. *P. aeruginosa* and for *E. coli*, are recorded respectively, a reduction of approximately 61% and 75% for HG-high grade as best results of adhesion inhibition.

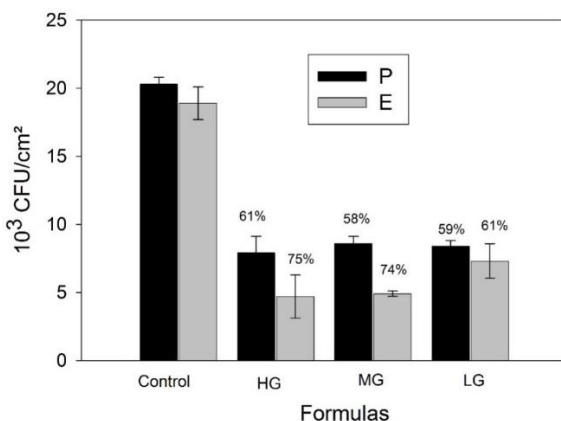
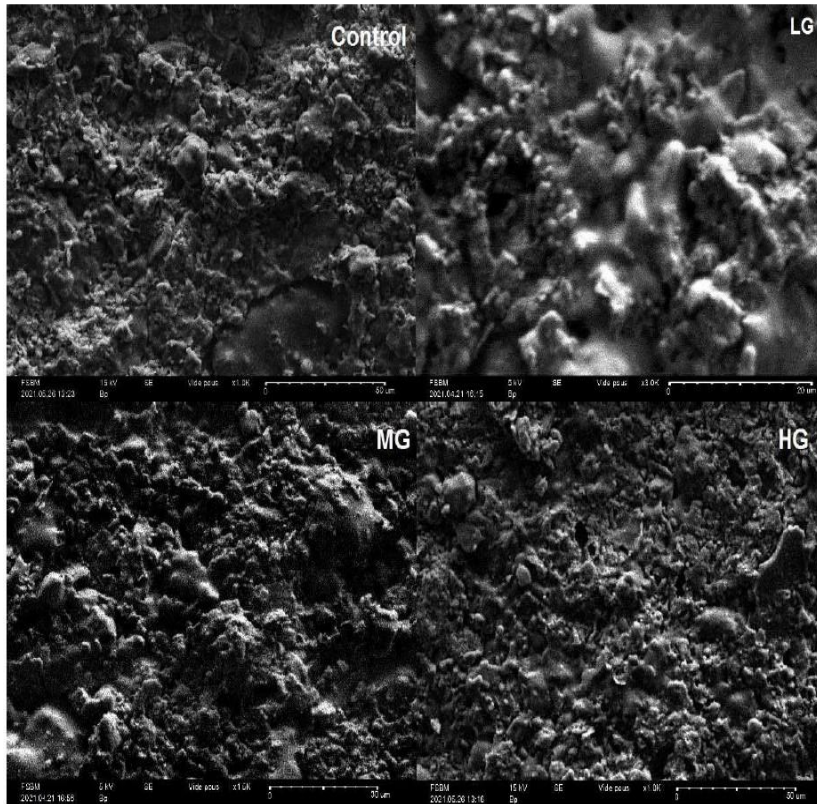


Figure 5. Bacterial count results after adhesion test of *P. aeruginosa* (P) and *E. coli* (E) on the studied specimens.



Fig. 6 show examples of SEM observations. Fig. 6 shows the appearance of the biofilm in the most colonized zones of the surface as a function of bioactive additive richness. It clearly manifested that a more complex and developed structuring of the biofilm is visible for low concentrations of bioactive additives, which appears more covered by probably the exopolymer matrix (slime) (El Omari et al., 2017; El Omari et al., 2018).



**Figure 6.** MEB observations of the adhesion of *E. coli* on the different surfaces of the tested materials

#### 4. Discussion

Improving mechanical and technical quality of ceramic products using specific additives has also been opted for by several authors in the literature. Sawadogo *et al.* (2014) and Amin *et al.* (2019) used talc to improve the technical properties of tiles reducing investment in terms of energy consumption. Yang *et al.* (2017) and Yonghao *et al.* (2017) showed the effect of mining waste rock from phosphate mining activity in China, demonstrating the significant impact on water absorption and technical properties. A similar study by Moukannaa *et al.* (2018), valorizing phosphate sludge produced in large quantities during phosphate ore beneficiation mixed with metakaolin to

produce geopolymers led to reinforced and dense materials with good mechanical properties. The mechanism of the impacts on the recorded shrinkage, absorption and mechanical properties has been mentioned by some researchers (Scrivener *et al.*, 2015; Zheng *et al.*, 2015). More specifically the study conducted by Scrivener *et al.* (2015), and Zheng *et al.* (2015), have shown the feasibility of using residues in Portland cement as a filler and explains the impacts on setting time, resistance, and drying shrinkage mainly by the dilution effect. Dissolution of phosphorus in the material has a slight retarding effect on hydration, dissolved phosphorus prolongs the induction period, reduces the main heat peak by the precipitation mechanism. In this study, the effect of integration of phosphate products of different grades on technical performance depends on the concentration and the nature of the grade of phosphate involved in the formulation. More generally, the phosphate content acts, probably, favorably on the mechanical properties of ceramic tiles with almost no effect on water absorption. The weight shrinkage seems to be reduced with the integration of components rich in  $P_2O_5$ . The integration of phosphate products in the formulation improves the mechanical properties of the tiles. Materials that engage either MG or HG at least 15% meet technical requirements. From an anti-adhesion and biofilm-forming standpoint, phosphate products have been studied by several authors for their interesting effects in improving hygiene and treating pollution. Nie *et al.* (2020) propose an efficient and environmentally friendly process for the reduction of  $SO_2$  (desulfurization) using phosphate tailings as an adsorbent. Weng *et al.* (2003), Huang and Nguyen *et al.* (2015); Hakou *et al.* (2016) have shown the efficiency and capacity of residues and different forms of phosphate in multimetallurgical depollution, adsorption thus in improving hygiene. This study shows that the integration of phosphate products in the formulation improves the hygiene of ceramic tile surfaces and prevents the adhesion and formation of biofilms. Indeed, adhesion tests show a considerable reduction in bacterial growth, which is a function of the  $P_2O_5$  content and may reach up to 75%. Previous research studies have shown that the adhesion of bacteria to surfaces depends on the nature of the material (Ferraz *et al.*, 2004; Boutaleb *et al.*, 2008b; El Omari *et al.*, 2017, El Omari *et al.*, 2018). When the material has no bioactive properties, its physico-chemical properties (e.g. hydrophobicity, acid-base character, electrostatic properties) are the determining factors of surface-bacteria affinity, and bacteria are capable of regulating their surface properties to resist against environmental stress. However, this property, can govern and mask the effect of physico-chemical interactions, also called non-specific when material has bioactive properties (Ferraz *et al.*, 2004; Boutaleb *et al.*, 2008b; El Yakoubi *et al.* 2006; El Omari *et al.* 2018).

## Conclusion

This study proposes a solution to improve the mechanical and hygienic properties of ceramic tile products and prevent bio adhesion and the formation of biofilms by using phosphate products as an additive in the formulation. It has been shown that the effect on both mechanical and hygienic properties is proportional to the content of  $P_2O_5$  in the additive. This study shows that the gradual addition of the phosphate-rich additive helps: (1) reduces weight loss with a more or less stable loss in diameter; (2) does not significantly influence the water absorption; (3) the addition of at least 15% of Medium Grade and 15% of High Grade of phosphate product from Morocco is necessary, to meet ISO requirements and also gives the ceramic material anti-biofilm properties; This proposed alternative is ecological and inexpensive, it makes possible to improve the durability and hygiene of ceramic surfaces by combating the formation of biofilms, without affecting the other required technical properties. However, it is important to validate all the results obtained in the real environment with which the tiling material would be confronted, and also to see how the anti-bioadhesion effect evolves over time.

## Acknowledgements

The authors would like to thank Espano Cerame Company; Cherifien Phosphates Office Group (OCP) Beni-Idir phosphate production and enrichment unit (Khouribga); Research Center of Materials and Energy of the Hassan II University of Casablanca; CNRST for its technical support.

**Conflict of Interest:** All authors declare no conflict of interest.

**Ethical approval:** This study was conducted in full accordance with ethical principles. All experimental protocols were carried out by the relevant guidelines and regulations.

**Competing interests:** The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

**Funding:** The authors would like to thank CNRST for its financial support of PPR2/2016/21 and the Research Center of Materials and Energy of the Hassan 2 University of Casablanca

**Data availability statement:** The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

## References:

1. Afenzar, A., & Essamoud, R. (2017). Early Mesozoic Detrital and Evaporitic Syn-Rift Series of Mohammedia-Benslimane-ElGara-Berrechid Basin (Meseta, Morocco): Sedimentary and Palaeoenvironmental Evolution and Comparison with Neighboring Basins. *International Journal*, 6(1), 596-621. [https:// doi.org/10.23953/cloud.ijaese.330](https://doi.org/10.23953/cloud.ijaese.330)
2. Amin, S. H. K., Elmahgary, M. G., & Abadir, M. F. (2019). Preparation and characterization of dry pressed ceramic tiles incorporating ceramic sludge waste. *Ceram. Silik*, 63, 11-20. [https:// doi.org/10.13168/cs.2018.0041](https://doi.org/10.13168/cs.2018.0041)
3. ASTM, American Society for Testing Material, Standard Method for Particle-size analysis of Soil, D. 422-63 (Reapproved 1972) Annual Book of ASTM Standards. Part, 1974, 19, 70-80.
4. Boutaleb, F., Boutaleb, N., Bahlaouan, B., Deblij, S., El Antri, S. (2020a). Effect of Phosphate Mine Tailings from Morocco on the Mechanical Properties of Ceramic Tiles, *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)* Volume 09, Issue 02 (February 2020). [https:// doi.org/10.17577/IJERTV9IS020092](https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS020092)
5. Boutaleb, F., Boutaleb, N., Bahlaouan, B., Deblij, S., El Antri, S. (2020b). Production of ceramic tiles by combining Moroccan phosphate mine tailings with abundant local clays. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 10(6), 568-576. [https:// doi.org/10.13171/mjc10602006221445nb](https://doi.org/10.13171/mjc10602006221445nb)
6. Boutaleb, F., Boutaleb, N., Bahlaouan, B., El Antri, S. (2020c). Valorization of phosphate mining waste rock in Morocco in the manufacture of ceramic tiles. *Valorisation du stérile d'exploitation des phosphates au Maroc dans la fabrication de carreaux céramiques (Fr)*. *TSM 3* - Page(s) 37-43. [https:// doi.org/10.36904/tsm/202003037](https://doi.org/10.36904/tsm/202003037)
7. Boutaleb, N., Latrache, H., & Sire, O. (2008a). Interactions bactéries-matériaux dans les canalisations d'eau potable. *Techniques Sciences Méthodes*, 11, 73-80. [https:// doi.org/10.1051/tsm/200811073](https://doi.org/10.1051/tsm/200811073)
8. Boutaleb, N., Latrache, H., & Sire, O. (2008b). Bioadhésion bactérienne dans les réseaux d'eau potable: effets des matériaux et des facteurs environnementaux. *Techniques Sciences Méthodes*, (5), 37-43. [https:// doi.org/10.1051/tsm/200805037](https://doi.org/10.1051/tsm/200805037)
9. El Berkaoui, M., El Adnani, M., Hakkou, R., Ouhammou, A., Bendaou, N., & Smouni, A. (2021). Phytostabilization of phosphate mine wastes used as a store-and-release cover to control acid mine drainage in a semiarid climate. *Plants*, 10(5), 900. [https:// doi.org/10.3390/plants10050900](https://doi.org/10.3390/plants10050900)

10. El Omari, H., Boutaleb, N., Bahlaouan, B., Mekouar, M., Jrifi, A., Aitlefqih, S., Cagnon, B., Lazar, S., El Antri, S., (2018). Canalisations d'eau potable: une nouvelle formulation de tubes PVC anti-biofilm. 407, 96-101. Eau, l'Industrie, les Nuisances.  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85041960707&origin=inward&txGid=1c0e0b835112b238011711298013b723>
11. El Omari, H., Boutaleb, N., Bahlaouan, Oualich, S., Jrifi, A., Aitlefqih, S., Lazar, S., El Antri S., (2017). Drinking water pipeline: New PVC formulation anti-biofilm for the Moroccan industry. Journal of Materials and Environmental Science (JMES) Volume 8, Issue 12, Page 4444-4450.ISSN: 2028-2508.  
<https://doi.org/10.26872/jmes.2017.8.12.469> H.
12. El Ouahabi, M., Daoudi, L., & Fagel, N. (2014). Mineralogical and geotechnical characterization of clays from northern Morocco for their potential use in the ceramic industry. Clay Minerals, 49(1), 35-51.  
<https://doi.org/10.1180/claymin.2014.049.1.04>
13. El Yakoubi, N., Aberkan, M'hamed, & Ouadia, M. (2006). Use potentialities of Moroccan clays from the Jbel Kharrou area in the ceramic industry. Comptes Rendus Goescience, 338(10), 693-702.  
<https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.03.017>
14. Ferraz, M. P., Monteiro, F. J., Giao, D., León, B., González, P., Liste, S., Serra, J., Arias, JL. & Pérez Amor, M. (2004). CaO-P2O5 glass-hydroxyapatite thin films obtained by laser ablation: Characterisation and in vitro bioactivity evaluation. Key Engineering Materials, 254, 347-350.<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.254-256.347>
15. Hakkou, R., Benzaazoua, M., & Bussière, B. (2008). Acid mine drainage at the abandoned Kettara mine (Morocco): 1. Environmental characterization. Mine Water and the Environment, 27, 145-159.  
<https://doi.org/10.1007/s10230-008-0036-6>.
16. Hakkou, R., Benzaazoua, M., & Bussiere, B. (2009). Laboratory evaluation of the use of alkaline phosphate wastes for the control of acidic mine drainage. Mine Water and the Environment, 28, 206-218.  
<https://doi.org/10.1007/s10230-009-0081-9>
17. Hakkou, R., Benzaazoua, M., & Bussière, B. (2016). Valorization of phosphate waste rocks and sludge from the Moroccan phosphate mines: challenges and perspectives. Procedia Engineering, 138, 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.068>
18. Harti, S., Cifredo, G., Gatica, J. M., Vidal, H., & Chafik, T. (2007). Physicochemical characterization and adsorptive properties of some



- Moroccan clay minerals extruded as lab-scale monoliths. *Applied clay science*, 36(4), 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.10.004>
19. Huang, L., Li, X., & Nguyen, T. A. (2015). Extremely high phosphate sorption capacity in Cu-Pb-Zn mine tailings. *PLoS One*, 10(8), e0135364. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135364>
  20. Laibi, A. B., Gomina, M., Sorgho, B., Sagbo, E., Blanchart, P., Boutouil, M., & Sohounhloué, D. K. (2017). Caractérisation physico-chimique et géotechnique de deux sites argileux du Bénin en vue de leur valorisation dans l'éco-construction. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1), 499-514. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.40>
  21. Mabroum, S., Aboulayt, A., Taha, Y., Benzaazoua, M., Semlal, N., & Hakkou, R. (2020). Élaboration de géopolymères à base de sous-produits argileux issus des mines de phosphate pour des applications de construction. *Journal de la production plus propre*, 261, 121317. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121317>
  22. Mehahad, M. S., & Bounar, A. (2020). Phosphate mining, corporate social responsibility and community development in the Gantour Basin, Morocco. *The Extractive Industries and Society*, 7(1), 170-180. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2019.11.016>
  23. Moukannaa S., Loutou M., Benzaazoua M., Vitola L., Alami J., Hakkou R., Recycling of phosphate mine tailings for the production of geopolymers, *J. Clean. Prod*, 185, 891–903. (2018)
  24. Nie, Y., Dai, J., Hou, Y., Zhu, Y., Wang, C., He, D. et Mei, Y. (2020). Un processus efficace et respectueux de l'environnement pour la réduction du SO<sub>2</sub> en utilisant les résidus miniers de phosphate comme adsorbant. *Journal des matières dangereuses*, 388, 121748. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121748>
  25. NM ISO 10545-3., Carreaux et dalles céramique - Partie 3: Détermination de l'absorption de l'eau, de la porosité ouverte, de la densité relative et la densité apparente (2017)
  26. NM ISO 10545-4., Carreaux et dalles céramique - Partie 4: Détermination de la résistance à la flexion et module de rupture (2017)
  27. Ramos, J. V. H., Anselme, K., Simon-Masseron, A., & Ploux, L. (2018). Bio-sourced phosphoprotein-based synthesis of silver-doped macroporous zinc phosphates and their antibacterial properties. *RSC advances*, 8(44),25112-25122. <https://doi.org/10.1039/C8RA04438D>.
  28. Sadik, C., El Amrani, I., & Albizane, A. (2012). Influence de la nature chimique et minéralogique des argiles et du processus de fabrication sur la qualité des carreaux céramiques. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 2, p. 01016). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20120201016>

29. Sawadogo, M., Zerbo, L., Seynou, M., Sorgho, B., & Ouedraogo, R. (2014). Technological properties of raw clay based ceramic tiles: Influence of talc/properties technologiques de careaux céramiques à base d'argiles : Influence d'un talc naturel. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 15(3),231.<https://pubs.ub.ro/dwnl.php?id=CSCC6201403V03S01A0004>
30. Scrivener, K. L., Juilland, P., & Monteiro, P. J. (2015). Advances in understanding hydration of Portland cement. *Cement and Concrete Research*, 78, 38-56. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.025>
31. Weng, C. H., Lin, D. F., & Chiang, P. C. (2003). Utilization of sludge as brick materials. *Advances in environmental research*, 7(3), 679-685. [https://doi.org/10.1016/s1093-0191\(02\)00037-0](https://doi.org/10.1016/s1093-0191(02)00037-0)
32. Yang, Y., Wei, Z., Chen, Y. L., Li, Y., & Li, X. (2017). Utilizing phosphate mine tailings to produce ceramisite. *Construction and building materials*, 155, 1081-1090. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.070>
33. Yonghao Y., Wei Z., Chen Y., Li Y., Li X. (2017). Utilizing phosphate mine tailings to produce ceramisite. *Construction and Building Materials*; 155:1081-1090.
34. Zheng, K., Zhou, J., & Gbozee, M. (2015). Influences of phosphate tailings on hydration and properties of Portland cement. *Construction and Building Materials*, 98, 593-601. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.115>
35. Zine, H., Elgadi, S., Hakkou, R., Papazoglou, E. G., Midhat, L., & Ouhammou, A. (2020). Wild plants for the phytostabilization of phosphate mine waste in semi-arid environments: a field experiment. *Minerals*, 11(1),42.<https://doi.org/10.3390/min11010042>

## Étiologies des Etats d'Agitation Reçus aux Urgences d'un Hôpital de Référence au Bénin

***Ireti Nethania Elie Ataigba***

Université de Parakou : Faculté de Médecine & Institut de Formation en Soins Infirmiers et Obstétricaux, Bénin  
Centre Hospitalier Universitaire Départemental du Borgou Alibori : service de psychiatrie, Bénin  
Organisation Non Gouvernementale de Soutien Réhabilitation Insertion et Réinsertion (SouRIR ONG), Bénin

***David Sinet Koivogui***

Université Gamal Abdel Nasser de Conakry: Faculté des Sciences et Techniques de Santé, Guinée

***Perside Sènam N'Sia***

Centre Hospitalier Universitaire Départemental du Borgou Alibori : service de psychiatrie, Bénin

***Djibrilla Moussa***

Université André Salifou de Zinder, Niger  
Hôpital National de Zinder, Niger

***Mémègnon Awohouedji***

Psychiatre libéral, Bénin

***Francis Tognon Tchegnonsi***

Université de Parakou : Faculté de Médecine & Institut de Formation en Soins Infirmiers et Obstétricaux, Bénin  
Centre Hospitalier Universitaire Départemental du Borgou Alibori : service de psychiatrie, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p120](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p120)

---

Submitted: 15 January 2024

Accepted: 28 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Ataigba I.N.E., Koivogui D.S., N'Sia P.S., Moussa D., Awohouedji M. & Tognon Tchegnonsi F. (2024). *Étiologies des Etats d'Agitation Reçus aux Urgences d'un Hôpital de Référence au Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 120.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p120>

---



## Résumé

Introduction : L'agitation, symptôme fréquent en milieu hospitalier est source d'une grande confusion au sein du personnel soignant. Sa prise en charge adéquate dépend non seulement de son intensité mais aussi de son étiologie le plus souvent organique.

Objectif : Étudier les états d'agitation dans les services des urgences et de psychiatrie du CHUD-B/A en 2021.

Méthodes : Il s'agissait d'une étude transversale descriptive menée du 1<sup>er</sup> décembre 2020 au 30 septembre 2021. L'échantillonnage a été exhaustif et a permis d'inclure tous les sujets admis pour un état d'agitation au service des urgences et en psychiatrie.

Résultats : Les états d'agitation ont représenté 4,97% des admissions aux urgences et 10,90% des admissions dans le service de psychiatrie. Le sexe masculin a été le plus représenté (56,47%). L'âge moyen des participants est de 34,48 ans  $\pm$  15,94 ans. Plus de la moitié (53,38%) des patients ont présenté une agitation légère. Ils ont bénéficié d'une sédation (86,47%) au diazépam (93,67%) en urgence. 78,24% des états d'agitation sont d'étiologies non psychiatriques à savoir : sepsis (23,31%), troubles métaboliques (21,80%), urgences neurologiques traumatiques (21,80%) ou non (13,53%) et urgences viscérales (13,50%) imposant des moyens thérapeutiques tels que : réhydratation, antalgiques, antibiotiques, transfusion sanguine, laparotomie. L'évolution a été favorable dans 90% des cas et quatre décès ont été recensés (03,01%).

Conclusion : Les principales étiologies des états d'agitation sont les pathologies non psychiatriques. Tout état d'agitation implique donc une exploration toxique, iatrogène organique en priorité.

---

**Mots-clés:** Agitation, étiologies, traitement, Parakou, 2021

---

## **Etiologies of States of Agitation Received in the Emergency Department of a Referral Hospital in Benin**

***Ireti Nethania Elie Ataigba***

Université de Parakou : Faculté de Médecine & Institut de Formation en  
Soins Infirmiers et Obstétricaux, Bénin  
Centre Hospitalier Universitaire Départemental du Borgou Alibori : service  
de psychiatrie, Bénin  
Organisation Non Gouvernementale de Soutien Réhabilitation Insertion et  
Réinsertion (SouRIR ONG), Bénin

***David Sinet Koivogui***

Université Gamal Abdel Nasser de Conakry: Faculté des Sciences et  
Techniques de Santé, Guinée

***Perside Sènam N'Sia***

Centre Hospitalier Universitaire Départemental du Borgou Alibori : service  
de psychiatrie, Bénin

***Djibrilla Moussa***

Université André Salifou de Zinder, Niger  
Hôpital National de Zinder, Niger

***Mêmègnon Awohouedji***

Psychiatre libéral, Bénin

***Francis Tognon Tchegnonsi***

Université de Parakou : Faculté de Médecine & Institut de Formation en  
Soins Infirmiers et Obstétricaux, Bénin  
Centre Hospitalier Universitaire Départemental du Borgou Alibori : service  
de psychiatrie, Bénin

---

### **Abstract**

**Introduction:** Agitation, a frequent symptom in the hospital environment, is a source of great confusion for nursing staff. Its appropriate management depends not only on its intensity, but also on its etiology, most often organic.

**Objective:** To study states of agitation in the emergency and psychiatric departments of CHUD-B/A in 2021.

**Methods:** This was a descriptive cross-sectional study conducted from December 1, 2020 to September 30, 2021. Sampling was exhaustive and included all subjects admitted for agitation to the emergency department and psychiatry.

**Results:** Agitation accounted for 4.97% of admissions to the emergency department and 10.90% of admissions to the psychiatric ward. Males were

most represented (56.47%). The average age of participants was  $34.48 \pm 15.94$  years. More than half (53.38%) of patients presented with mild agitation. They were sedated (86.47%) with diazepam (93.67%) as an emergency measure. 78.24% of agitation states were of non-psychiatric etiology: sepsis (23.31%), metabolic disorders (21.80%), traumatic (21.80%) or non-traumatic neurological emergencies (13.53%) and visceral emergencies (13.50%) requiring therapeutic means such as rehydration, analgesics, antibiotics, blood transfusion and laparotomy. The outcome was favorable in 90% of cases, with four deaths (03.01%).

Conclusion: The main etiologies of states of agitation are non-psychiatric pathologies. Any state of agitation therefore implies a toxic or iatrogenic organic investigation as a priority.

---

**Keywords:** Agitation, etiologies, treatment, Parakou, 2021

## Introduction

L'agitation est un trouble comportemental marqué par une activité motrice excessive et une incapacité à contrôler les actions, la parole et la pensée. Elle peut inclure des manifestations verbales et comportementales violentes, pouvant être dirigées vers soi-même ou autrui (Moritz et al., 2004). La prise en charge des épisodes d'agitation représente un défi fréquent dans les services d'urgence, engendrant une inquiétude parmi le personnel soignant quant à la sécurité. Les approches médicamenteuses pour traiter ces épisodes d'agitation varient considérablement (Horn et al., 2015). Le Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 5<sup>ème</sup> édition (DSM-5) (Garriga et al., 2016; Zeller & Rhoades, 2010) définit l'agitation comme une activité motrice excessive associée à une sensation de tension intérieure. L'activité est généralement non productive et répétitive et se compose de comportements tels que la stimulation, l'agitation, l'essorage des mains, le tirage des vêtements et l'incapacité à s'asseoir. Même si l'agression et la violence ne sont pas d'essentielles caractéristiques de l'agitation, une progression de la gravité de l'agitation peut conduire à des comportements agressifs et violents.

Des travaux antérieurs ont rapporté une fréquence des états d'agitation comprise entre 1% et 4% (Bourdinaud & Pochard, 2003; Owono, 2017; Thomas et al., 2010; Thys et al., 2011). L'agitation est l'un des états pathologiques graves qui perturbent le plus l'acte médical. La recherche de l'étiologie est essentielle devant une agitation car le pronostic vital peut être en jeu. La prise en charge doit donc être immédiate pour éviter violence et agressivité qui peuvent mettre en danger le patient et le personnel.

Cependant, l'agitation est un concept hétérogène présent dans de multiples domaines diagnostiques en psychiatrie ou non et à l'heure actuelle, il y a un peu ou même pas d'analyses épidémiologiques évaluant la prévalence,

l'impact clinique et les conséquences à court/long terme d'une agitation aiguë en Afrique et plus précisément au Bénin. L'estimation de la prévalence des épisodes d'agitation est difficile en raison du manque d'études standard ou de collecte systématique de données sur ce symptôme pourtant fréquent en clinique quotidienne.

## Méthodes

Il s'est agi d'une étude transversale, descriptive qui s'est déroulée sur une période de douze mois allant du 1er décembre 2020 au 30 novembre 2021. Les participants ont été recrutés dans l'unité des urgences adultes et dans le service de psychiatrie de CHUD-B/A à Parakou. la méthode d'échantillonnage a été non probabiliste par un recensement exhaustif de tous les sujets venus dans ces deux services pour agitation. Un consentement éclairé du patient lui-même a été obtenu lorsque son état clinique le permettait ou, à défaut, celui de la famille était recherché avant le recueil des données. Ils ont été interrogés en vue de recueillir des informations sur les caractéristiques sociodémographiques, les signes évocateurs d'un état d'agitation. Ils ont été examinés (mesures anthropométriques, constantes vitales, recherche de signes associés).

Les personnes n'ayant pas les moyens nécessaires pour honorer le bilan systématique demandé dans le cadre de cette étude et pour qui une assistance sociale n'a pu être obtenue ont été exclues. La taille minimale de l'échantillon a été calculée grâce à la formule de Schwartz avec pour référence une étude réalisée en 2016 par San et al. (San et al., 2016) dont la prévalence des états d'agitations était de 4,6%. La taille minimale ainsi calculée était de 67 sujets. Le "Behavioural Activity Rating Scale" (BARS) a été utilisé pour une mesure de l'activité chez les patients agités.. La variable d'étude était l'état d'agitation avec deux modalités Oui et Non. Le diagnostic de la présence de l'état d'agitation était positif sur la présence de l'un des éléments suivants : *une excitation psychique* caractérisée par une élévation de la voix, une tendance logorrhéique, des cris, une agressivité verbale *et/ou une excitation motrice* se manifestant par une déambulation, des crises clastiques et une incohérence verbale ou comportementale.

Toutes les données recueillies ont été enregistrées dans le logiciel *EpiData entry client v.4.4.3.1*, puis analysées dans le logiciel *EpiData analysis v.2.2.3*.

L'analyse des données a porté sur la description des différents groupes de variables caractérisant les enquêtés. Les paramètres de tendances centrales et de dispersions (Mode, Moyenne, Ecart type) ont été utilisés pour la description des variables quantitatives et les pourcentages ont été calculés pour les variables qualitatives. La comparaison des proportions avec détermination de la p-value a été faite avec le logiciel *OpenEpi version 3.01*.

## Résultats

Au total, 170 sujets ont été inclus. Parmi ceux-ci, 56,47% étaient de sexe masculin, soit un sexe ratio (H/F) égale à 1,30. L'âge moyen de la population enquêtée est de 34,48 ans  $\pm$  15,94 ans avec les extrêmes de 15 et 80 ans. Par contre parmi les 133 sujets ayant présenté un état d'agitation d'étiologie non psychiatrique (EAENP), 74 (55,64%) sont de sexe masculin, soit une sexe ratio égale à 1,25. L'âge moyen dans ce cas est de 36,26 ans  $\pm$  16,67 ans avec les extrêmes de 15 et 80 ans. Au nombre des 34 sujets ayant présenté un état d'agitation d'étiologie psychiatrique (EAEP), 19 (55,88%) sont des hommes avec une sexe ratio égale à 1,26. L'âge moyen ici est donc de 27,94 ans  $\pm$  10,85 ans avec les extrêmes de 15 et 80 ans

Nous avons trouvé que les états d'agitation représentent 4,97% des admissions dans l'unité des urgences et 10,90% des admissions dans le service de psychiatrie du CHUD-B/A. Il y avait 78,24% des sujets agités qui ont présenté un État d'Agitation d'Étiologie Non Psychiatrique (EAENP) et 20,00% de sujets agités qui ont présenté un État d'Agitation d'Étiologie Psychiatrique (EAEP) tandis 1,76% ont présenté un état d'agitation mixte (psychiatrique et non psychiatrique). Parmi les étiologies non psychiatriques retrouvées dans notre étude, les quatre étiologies les plus fréquentes sont : les sepsis (23,31%), les troubles métaboliques (21,80%), les urgences neurologiques traumatiques (21,80%) ou non (13,53%). Les intoxications, quant à elles, représentent 09,02%. Au nombre des étiologies psychiatriques, les quatre les plus fréquemment retrouvées sont : les troubles névrotiques (32,35%), les psychoses aiguës (26,47%), les psychoses chroniques (26,47%) et les troubles de l'humeur (17,65%).

Tous les sujets inclus ont bénéficié d'une mise en condition par rapport à leur état d'agitation. Ceux ayant bénéficié soit d'une anxiolyse (12,03% des sujets ayant présenté un EAENP vs 05,88% des sujets ayant présenté un EAEP) soit d'une sédation (86,46% des sujets ayant présenté un EAENP vs 88,24% des sujets ayant présenté un EAEP) ont reçu une administration de diazépam (96,36% des sujets ayant présenté un EAENP vs 90,91% des sujets ayant présenté un EAEP) pour calmer leur agitation. Sur le plan thérapeutique, différentes classes de molécules ont été utilisées pour traiter l'étiologie de l'état d'agitation. Parmi les sujets ayant présenté un EAENP, les plus représentées sont les solutés et ions (91,60%), les antalgiques (83,21%), les antibiotiques (37,40%) et les antihypertenseurs (19,85%) ; parmi les actes médicaux réalisés, les transfusions sanguines (06,87%) et les sondages vésicaux (02,29%) sont les plus représentés et les actes chirurgicaux les plus réalisés sont la laparotomie (07,63%) ainsi que les appendicectomies (03,05%). Quant au groupe des sujets ayant présenté un EAEP, les médicaments les plus utilisés sont : les antipsychotiques (76,47%), les solutés

et ions (50,00%) les correcteurs d'antipsychotiques (41,17%) et les thymorégulateurs (23,53%).

## Discussion

Dans notre étude, la fréquence des états d'agitation dans l'unité des urgences est de 04,97%. Cette fréquence est similaire à celles rapportées par San et al en Europe (04,6%) (San et al., 2016) et Owono au Cameroun (04,00%) (Owono, 2017). Par contre, les chiffres rapportés par d'autres études sont beaucoup plus faibles : Miner et al dans un comté urbain (02,60%) (Miner et al., 2018), Bourdinaud et al en France (01,22%) (Bourdinaud & Pochard, 2003), Chevalier à Angers (00,69%) (Chevalier, 2006), Moritz et al à Rouen (00,56%) (Moritz et al., 1999). L'analyse de l'observatoire régional réalisée aux Urgences de Midi-Pyrénées a retrouvé en 2001, à partir du codage des dossiers des urgences, 3604 dossiers ayant des manifestations d'agitation, ce qui correspond à 00,80% des admissions. Aux Etats-Unis, une étude à Sacramento en Californie dans le service des urgences a rapporté une incidence de 1,99 patients agités pour 1000 admissions. Cette différence de fréquence pourrait s'expliquer par le fait que dans ces différentes études, la taille de la population étudiée était beaucoup plus importante que la nôtre donc beaucoup plus d'admissions aux urgences. Dans une étude réalisée par Halpern et al au New Jersey, la prévalence des états d'agitation est de 44,60% dans l'ensemble chez des patients atteints de la maladie d'Alzheimer (Halpern et al., 2019). Cette différence très significative par rapport à notre étude pourrait s'expliquer par le fait que la population d'étude n'était pas la même : Halpern et al ont travaillé sur des sujets atteints de la maladie d'Alzheimer/la démence par contre cette étude a été menée sur des sujets ayant présenté un état d'agitation et admis aux urgences ou dans le service de psychiatrie du CHUD-B/A.

Il ressort de notre étude que 78,24% des sujets agités ont présenté un EAENP et 20,00% un EAEP. Cela traduit le fait que les EAENP sont beaucoup plus fréquentes et qu'il faut toujours éliminer les étiologies non psychiatriques avant de retenir une cause psychiatrique. Cependant, Chevalier a fait remarquer qu'à Angers les agitations d'origine psychiatrique sont plus fréquentes que dans les autres études réalisées en France ( Bourdinaud & Pochard, 2003; Moritz et al., 1999) et que parallèlement les agitations liées aux prises de toxiques sont nettement moins nombreuses. Ceci est peut-être lié au fait qu'elle a classé les agitations secondaires à une prise de toxique (alcool, médicament, autres) dans un but suicidaire dans les étiologies psychiatriques. Les causes médicales, en excluant la prise de toxique, représentent 11% des patients agités et les patients âgés ont un risque plus élevé que leur agitation soit le symptôme d'une pathologie organique.

Dans notre étude, tous les patients inclus ont bénéficié d'une mise en condition. Ceux ayant bénéficié soit d'une anxiolyse soit d'une sédation ou encore d'une contention physique accompagnée d'une sédation ont reçu une administration du diazépam en urgence pour calmer l'agitation. Pourtant dans plusieurs autres études, le protocole établi par le consensus d'experts a été respecté : dans l'étude de Bourdinaud et al une sédation a été faite dans 67,70% des cas à l'aide du loxapine en intramuculaire (84%) ; dans l'étude de Owono, les patients ont bénéficié d'une sédation avec une association de diazépam et de phénobarbital (95,80%) en première intention suivi d'un traitement d'entretien à base d'hydroxyzine en per os (70,80%) ; une contention physique (86%) suivie d'une sédation (84%) grâce au loxapine (67%) a été réalisée dans l'étude de Moritz et al. Dans l'étude de Miner et al, une contention physique (84%) suivie d'une sédation (72 %) à l'aide d'une injection en intramusculaire d'olanzapine (39%), de dropéridol ou d'halopéridol (20% chacune), de benzodiazépine (06%) ou encore de kétamine (00,44%). Par contre, le même protocole que celui utilisé par Miner et al a été adopté par Chevalier ; mais avec comme molécules, le loxapine (78,30%), le midazolam (29,40%) l'halopéridol (02,70%) et une association neuroleptique-benzodiazépine dans 13,20% des cas. Cependant, dans l'étude de San et al, seule la contention (75%) mécanique, physique ou l'isolement a été réalisée contrairement aux recommandations internationales qui stipulent qu'une contention physique lorsqu'elle est nécessaire doit s'accompagner d'une contention chimique. Cette diversité remarquée dans la prise en charge immédiate c'est-à-dire la mise en condition pourrait traduire le fait que tous les professionnels de santé n'ont pas connaissance du protocole établi par le consensus d'experts pour la prise en charge symptomatique des états d'agitation.

Concernant la prise en charge étiologique, un traitement a été entrepris dans la quasi-totalité des cas. Les moyens utilisés sont : les solutés et ions, les antalgiques, les antibiotiques, les antihypertenseurs, les antipsychotiques, les correcteurs de neuroleptiques et les thymorégulateurs ; les actes médicaux tels que la transfusion sanguine, le sondage vésical et les actes chirurgicaux principalement une laparotomie et une appendicectomie. Par contre dans l'étude de Owono, le traitement étiologique était dominé par l'administration des antibiotiques, des antalgiques et par des actes médicaux tels que la transfusion sanguine et l'hémodialyse. Ce traitement étiologique utilisé pourrait s'expliquer par le fait que les mêmes groupes étiologiques ont été rapportés par Owono, d'où la similitude dans le traitement étiologique.

### **Forces et limites de l'étude**

Dans le but de mieux comprendre la problématique des états d'agitation, une étude transversale et descriptive a été menée dont la collecte



prospective des données s'est déroulée sur une période de huit (08) mois. Les patients répondants aux critères définis ont été recensés de façon exhaustive afin d'obtenir des résultats probants. Les informations obtenues ont été recueillies directement au cours d'un face à face enquêteur-enquêté ou enquêteur-famille à l'aide d'une fiche d'enquête préalablement élaborée. Conformément aux techniques d'analyse descriptive, les moyennes et les écart-types ont été déterminés pour les variables quantitatives ayant une distribution symétrique. Pour les variables quantitatives qui ont une distribution asymétrique, ce sont la médiane et l'intervalle interquartile qui sont déterminés. Les pourcentages ont été calculés pour les variables qualitatives.

La présente étude apparaît comme étant la première réalisée au Bénin, en particulier à Parakou. De ce fait, elle fournit certes, des données de base pour des études ultérieures mais les résultats obtenus présentent néanmoins quelques limites. Le cadre de l'étude est strictement circonscrit au milieu hospitalier et précisément au CHUD-B/A où tous les cas ne sont certainement pas venus. Certains patients sont probablement décédés avant admission ou bien au moment de l'admission et donc, n'ont pas été enrôlés. Dans ce cas, l'échantillon utilisé n'est pas représentatif de la population. Il s'agit là d'une étude hospitalière et par conséquent, les résultats de l'étude ne pourraient être généralisés à la communauté. Les problèmes d'observance du traitement médicamenteux n'ont pas été pris en compte ; par conséquent, les chiffres concernant l'évolution ont pu être biaisés. Une partie non négligeable des patients n'a pas réalisé tout le bilan paraclinique systématique faute de moyens financiers et d'assistance financière sociale. De même, certains bilans (recherche de toxiques) ne sont pas disponibles à cause de leur inaccessibilité faute de plateau technique adéquat. Tout ceci pourrait générer des biais d'informations par rapport à la recherche étiologique.

## **Conclusion**

Au terme de notre étude portant sur les étiologies et la prise en charge des états d'agitation, nous retiendrons que les états d'agitation posent des problèmes de diagnostic, d'organisation et de prise en charge. La détermination de leur caractère purement psychiatrique ou au contraire principalement non psychiatrique représente l'objectif primordial de l'urgentiste. Si certaines causes non psychiatriques d'agitation sont considérées comme des urgences extrêmes, toute agitation par son aspect désorganisateur représente une urgence manifeste. Il est impératif d'éviter de mettre en danger le patient, le personnel, les autres patients présents, et aussi la société en évitant la fugue. De surcroît, les moyens humains et matériels nécessaires à cette démarche ne sont pas toujours réunis. La variabilité des situations cliniques et des étiologies rend compte de la difficulté d'une



démarche diagnostique standardisée. Il serait alors nécessaire d'organiser des séances de formation pour le personnel soignant portant sur la conduite à tenir devant les états d'agitation.

**Conflit d'intérêts :** Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

**Disponibilité des données :** Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

**Déclaration de financement :** Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

**Études humaines :** La recherche a été approuvée par le comité d'examen de l'Université de Parakou. Les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été respectés.

#### **Références :**

1. Bourdinaud, V., & Pochard, F. (2003). Enquête sur la prise en charge des patients en état d'agitation dans les services d'accueil et d'urgences en France. *L'Encéphale (Paris)*, 29(2), 89-98.
2. Chevalier, C. (2006). *Les patients agités dans le service des urgences au CHU d'Angers : Analyse des pratiques sur une période de six mois* [Université d'ANGERS].  
[https://www.psychanalyse.com/pdf/LES%20PATIENTS%20AGITES%20DANS%20LE%20SERVICE%20DES%20URGENCES%20-%20THESE%202006%20\(81%20pages%20-%20475%20ko\).pdf](https://www.psychanalyse.com/pdf/LES%20PATIENTS%20AGITES%20DANS%20LE%20SERVICE%20DES%20URGENCES%20-%20THESE%202006%20(81%20pages%20-%20475%20ko).pdf)
3. Garriga, M., Pacchiarotti, I., Kasper, S., Zeller, S. L., Allen, M. H., Vázquez, G., Baldaçara, L., San, L., McAllister-Williams, R. H., Fountoulakis, K. N., Courtet, P., Naber, D., Chan, E. W., Fagiolini, A., Möller, H. J., Grunze, H., Llorca, P. M., Jaffe, R. L., Yatham, L. N., ... Vieta, E. (2016). Assessment and management of agitation in psychiatry: Expert consensus. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 17(2), 86-128.  
<https://doi.org/10.3109/15622975.2015.1132007>
4. Halpern, R., Seare, J., Tong, J., Hartry, A., Olaoye, A., & Aigbogun, M. S. (2019). Using electronic health records to estimate the prevalence of agitation in Alzheimer disease/dementia. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 34(3), 420-431.  
<https://doi.org/10.1002/gps.5030>
5. Horn, M., Vaiva, G., & Dumais, A. (2015). Prise en charge médicamenteuse des agitations aux urgences: Recommandations

- théoriques et études des pratiques. *La Presse Médicale*, 44(1), 20-26.  
<https://doi.org/10.1016/j.lpm.2014.04.027>
6. Miner, J. R., Klein, L. R., Cole, J. B., Driver, B. E., Moore, J. C., & Ho, J. D. (2018). The Characteristics and Prevalence of Agitation in an Urban County Emergency Department. *Annals of Emergency Medicine*, 72(4), 361-370.  
<https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2018.06.001>
  7. Moritz, F., Bauer, F., Boyer, A., Lemarchand, P., Kerleau, K., Moiro, E., Navarre, C., & Muller, JM. (1999). Patients in a state of agitation at the admission service of a Rouen hospital emergency department. *Presse Medicale (Paris, France : 1983)*, 28(30), 1630-1634.
  8. Moritz, F., Jenvrin, J., Canivet, S., & Gerault, D. (2004). Conduite à tenir devant une agitation aux urgences. *Réanimation*, 13(8), 500-506.  
<https://doi.org/10.1016/j.reaurg.2004.08.005>
  9. Owono, J. G. (2017). Aspects épidémiologiques, cliniques et thérapeutiques des états d'agitation chez les patients hospitalisés en réanimation. *Health Sciences and Diseases*. <https://www.hsd-fmsb.org/index.php/hsd/thesis/view/585>
  10. San, L., Marksteiner, J., Zwanzger, P., Figuero, M. A., Romero, F. T., Kyropoulos, G., Peixoto, A. B., Chirita, R., & Boldeanu, A. (2016). State of Acute Agitation at Psychiatric Emergencies in Europe : The STAGE Study. *Clinical Practice and Epidemiology in Mental Health: CP & EMH*, 12, 75-86.  
<https://doi.org/10.2174/1745017901612010075>
  11. Thomas, G., Pape, E. L., Py-Leroy, E., & Tourinel, G. (2010). Prendre en charge un état d'agitation. *Médecine Et Armées*, 38(5), 435-441.
  12. Thys, F., Manara, A., & Deschietere, G. (2011). 53e congrès national d'anesthésie et de réanimation (Agitation aux urgences : De l'accueil à la prise en charge dans un service d'urgence). *Les Essentiels*, 9.
  13. Zeller, S. L., & Rhoades, R. W. (2010). Systematic reviews of assessment measures and pharmacologic treatments for agitation. *Clinical Therapeutics*, 32(3), 403-425.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2010.03.006>

## Harmonizing Aesthetics and Psychological Well-being: An In-depth Exploration of the Integrative Impact of Dysport in Cosmetic Procedures

**Mehrasa Nikandish, MSc**

Clinical Pharmacology Student, King's College London

**Mohammad Nikandish, BSc, Researcher**

Biotechnology Student, Kashan University, Iran

**Hedayatpour Behnoud, MD**

Hedayat Research Center, Isfahan, Iran

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p131](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p131)

Submitted: 16 January 2024

Accepted: 16 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

### Cite As:

Nikandish M., Nikandish M. & Behnoud H. (2024). *Harmonizing Aesthetics and Psychological Well-being: An In-depth Exploration of the Integrative Impact of Dysport in Cosmetic Procedures*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 131.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p131>

### Abstract

This research delves into the intricate interplay between aesthetic intelligence, aesthetic sensitivity, and psychological well-being within the framework of positive psychology, with a particular emphasis on the integrative impact of Dysport in cosmetic procedures. By recognizing the significant influence of environmental aesthetics on individual health and well-being, this study seeks to illuminate the relationship between aesthetic intelligence and psychological well-being while considering the role of Dysport in cosmetic procedures. Employing a correlational research design, structural equation modeling was utilized as the methodological approach. The research cohort comprised all students enrolled at Bu-Ali Sina University during the academic year 2018-2019. Employing cluster sampling, 384 students were selected based on the recommended sample size for structural equation modeling. The instruments included the Ryff Well-being Scale, the Aesthetic Intelligence Scale developed by Rashid et al., and Abdulsalami's Aesthetic Sensitivity Scale. Findings revealed significant direct impacts of both aesthetic intelligence and aesthetic sensitivity on psychological well-being. Moreover, aesthetic intelligence demonstrated a direct and significant

effect on aesthetic sensitivity. Exploration of indirect relationships indicated that aesthetic intelligence, mediated by aesthetic sensitivity, significantly influenced psychological well-being. These findings underscore the importance of individuals' awareness and appreciation of environmental beauty, including the role of Dysport in cosmetic procedures, in positively contributing to psychological well-being.

---

**Keywords:** Aesthetic intelligence, aesthetic sensitivity, psychological well-being, positive psychology, environmental aesthetics, structural equation modeling, mental health

### **Introduction:**

Psychological well-being, as conceptualized by Carol Ryff, encompasses various dimensions, including autonomy, environmental mastery, personal growth, positive relations with others, purpose in life, and self-acceptance. Machotka asserts that understanding and enjoying the beauties of the living environment significantly contribute to well-being. Aesthetic intelligence provides a platform for expressing emotions non-verbally and fosters creativity and innovation, thereby enhancing psychological well-being. This study aims to explore the relationship between aesthetic intelligence and psychological well-being, with a focus on the role of aesthetic sensitivity as a mediator.

### **Purpose:**

This descriptive correlational research employs a structural equation model to investigate the relationship between aesthetic intelligence and psychological well-being, considering the potential role of aesthetic sensitivity. The study aims to ascertain whether aesthetic sensitivity mediates the relationship between aesthetic intelligence and psychological well-being.

### **Methodology:**

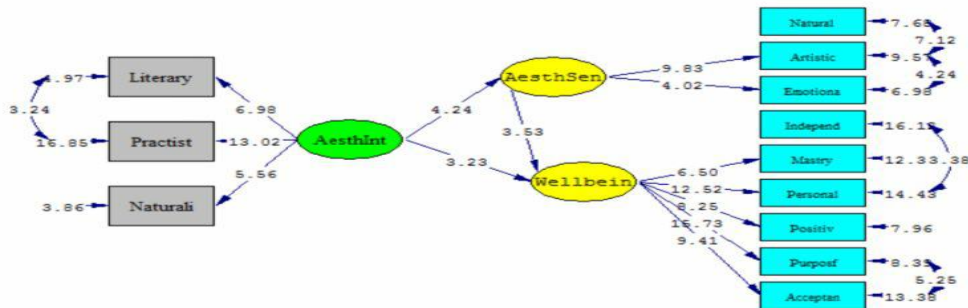
The research was conducted with undergraduate students at Bu Ali Sina University during the academic year 2019-2020. A total of 384 students were selected through random cluster sampling. Instruments included the Ryff Well-being Scale, Aesthetic Intelligence Scale, and Aesthetic Sensitivity Scale. The appropriateness of model indices was evaluated using various criteria, as summarized in Table 1.

### **Findings**

To evaluate the appropriateness of model indices, various criteria were used, the results of which are shown in Table 1.

Rmsea	Nfi	Cfi	Gfi	X2/df
0.042	0.96	0.95	0.91	2.28

**Table 1.** Goodness Fits of the Fitted Model between Aesthetic Intelligence and Psychological well - being with Mediation of Aesthetic Sensitivity



**Figure 1.** Aesthetic Intelligence, Aesthetic Sensitivity, and Psychological Well-being Relationship Model

The main hypothesis of the conceptual model of the relationship between aesthetic intelligence and psychological well-being with the mediation of aesthetic sensitivity is a good fit.

The main hypothesis posits that there exists a conceptual model outlining the interplay between aesthetic intelligence, psychological well-being, and aesthetic sensitivity. This model suggests that aesthetic sensitivity acts as a mediator between aesthetic intelligence and psychological well-being. In other words, it proposes that individuals with higher levels of aesthetic intelligence are likely to exhibit greater psychological well-being, and that this relationship is mediated by their level of aesthetic sensitivity. Aesthetic intelligence refers to an individual's ability to appreciate and understand aesthetics, such as art, beauty, and design, while aesthetic sensitivity pertains to the depth of an individual's responsiveness to aesthetic stimuli. Psychological well-being encompasses various aspects of mental health, including positive emotions, life satisfaction, and resilience.

The hypothesis suggests that individuals with a heightened awareness and understanding of aesthetics (aesthetic intelligence) are more likely to experience greater psychological well-being. This relationship is believed to be influenced by the degree to which individuals are attuned to aesthetic stimuli (aesthetic sensitivity), with higher levels of sensitivity potentially enhancing the impact of aesthetic intelligence on psychological well-being.

In summary, the hypothesis proposes that the relationship between aesthetic intelligence and psychological well-being is not direct, but rather mediated by an individual's level of aesthetic sensitivity, implying a complex

interplay between these factors in contributing to overall mental health and well-being.

### **Discussion:**

The findings show that aesthetic intelligence has a significant relationship with psychological well-being through the mediation of aesthetic sensitivity. To explain this finding, it can be said that according to Dufi (1979, 28), sensitivity to beauty is one of the main and fundamental components of understanding art and enjoying it. There is a relationship between sensitivity to beauty and creative thinking abilities, tactile vision, creativity, and choosing complex forms, which indicates the existence of a connection between intelligence and aesthetic sensitivity in people. On the other hand, based on the perspective of extroversion, beauty is considered an attribute that is determined by the quality of objects, and for this reason, it is independent of the function of various receptors. In contrast to the approach of introversion, it assumes that beauty lies in the mirror of the observer's eyes, and according to this view, aesthetics is considered a subjective experience that depends on various psychological functions and factors. Aesthetic sensitivity is a distinct human characteristic and probably has a biological function that connects it to sensuous psychology and behaviorism. Sensitivity to aesthetics is related to human preoccupations (Lindoyer, 1973, 462) and increases the amount of attention and reception of beautiful stimuli. In this way Changing a person's approach to a positive thinking approach helps to improve the mental well-being of a person who is smart in terms of aesthetics. Among the types of intelligence in Gardner's theory, musical intelligence in terms of being auditory and naturalistic intelligence in terms of being visual can be classified as aesthetic intelligence. According to the Kurdish classification, people with aesthetic intelligence are more emotional people, they have a high level of visual and auditory awareness and sensitivity, and they pay more attention to their surroundings. They are more influenced by environmental stimuli, especially the aesthetic stimuli of the surrounding environment.

### **Results:**

The clarity of the results is paramount for facilitating understanding and interpretation. However, the current presentation may benefit from enhancements to improve clarity and comprehension. To evaluate the appropriateness of model indices, various criteria were employed. However, the description provided lacks specificity, rendering it unclear. It is essential to provide detailed information regarding the indices used and the hypotheses tested to facilitate a comprehensive understanding of the findings. The indices examined include the Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA), Normed Fit Index (NFI), Comparative Fit Index (CFI), Goodness of Fit Index

(GFI), and Chi-square to degrees of freedom ratio ( $\chi^2/df$ ). Furthermore, the colorful scheme utilized lacks a clear title and adequate explanation, contributing to readability issues. It is imperative to provide a descriptive title for the scheme and offer a concise explanation to aid comprehension. To enhance clarity and comprehension, detailed descriptions of the model indices and hypotheses tested will be provided. Additionally, visual aids, such as schemes, will be appropriately titled and explained for better readability.

## **Conclusion**

Findings show that aesthetic intelligence has a significant relationship with psychological well-being mediated by aesthetic sensitivity. To explain it further, it can be said that according to Duffy (1979, 28), sensitivity to beauty is one of the main components of understanding art and enjoying it. There is a relationship between aesthetic sensitivity on the one hand and creative thinking, visual, tactile, and creative ability, ties, and the choice of complex shapes on the other, which indicates the relationship between intelligence and aesthetic sensitivity in individuals. In this way, people with high aesthetic intelligence have higher psychological well-being, and aesthetic sensitivity can also play a role in increasing or decreasing the relationship between aesthetic intelligence and psychological well-being. People with aesthetic intelligence who are involved in their work, are fully aware, intelligent, and emotional (Mucha, 2008), and sensitivity to beauty is also one of the main components of understanding and enjoying art (Machotka, 1966, 879). Therefore, One of the goals of aesthetic education is to create social emotions and feelings that can lead to psychological well-being in the long run. According to (Fancourt, Garnett, Spiro, West, & Müllensiefen, 2019), higher aesthetic intelligent people show higher creativity in the production of works of art, and creative artistic activities lead to an improvement in the psychological well-being of individuals. On the other hand, aesthetic sensitivity in individuals is associated with increased creativity and perception in works of art (Ivon & Kuscevic, 2013, 36); Therefore, it can be expected that aesthetic sensitivity can play a mediating role in the relationship between aesthetic intelligence and psychological well-being and provide a basis for improving the level of psychological well-being in individuals.

## **Ethical Considerations:**

This study, involving human participants, rigorously adhered to ethical principles. All participants were presented with written consent forms, outlining the purpose and procedures of the study, and provided their explicit written consent before engaging in any research activities. Additionally, participants received comprehensive verbal instructions elucidating the proper



utilization of questionnaires, and a platform for addressing queries and concerns was established.

Furthermore, it is imperative to underscore that the confidentiality and anonymity of participants were meticulously safeguarded throughout the duration of the study. This commitment was upheld to maintain the integrity of the research and to assure participants that their identities would remain undisclosed.

#### **Funding Acknowledgment:**

Financial support for this research was graciously provided by [ports complex Nour, charity center in Isfahan, Iran]. It is important to note that the funding entities played no role in shaping the study design, data collection, analysis, interpretation, or the decision-making process leading to the manuscript's submission for publication.

#### **Declaration of Conflicts of Interest:**

The authors assert a complete absence of conflicts of interest. No author maintains any affiliations or financial engagements with organizations or entities that may be construed as influencing the research or creating potential conflicts of interest.

#### **Data Availability and Secrecy:**

The dataset generated or analyzed during this study is available upon request. Interested parties are encouraged to contact [mehrasha nikandish] at [nikandish.mehrasha@gmail.com] for access to the data. In adherence to ethical considerations, the data, in SPSS format, will be deposited in a recognized and suitable data repository. It is paramount to emphasize that the identity of participants will remain confidential, ensuring the sustained privacy of those involved.

#### **References:**

1. Adler, M. G., & Fagley, N. S. (2018). Appreciation: individual differences in finding value and meaning as a unique predictor of subjective well-being. *Journal of Personality*, 73(1), 79-114. doi: 0.1111/j.1467-6494.2004.00305.x
2. Burns N, & Grove S. K. (2019). *Understanding nursing research: Building an evidence-based practice* (5th ed.). MO: Elsevier Health Sciences.
3. Chatterjee, A. (2012). Neuroaesthetics: Growing pains of a new discipline. In A. P. Shimamura & S. E. Palmer (Eds.), *Aesthetic Science: Connecting Minds, Brains, and Experience* (pp. 299-317). Oxford University Press.



4. Duffy, R. A. (2018). An analysis of aesthetic sensitivity and creativity with other variables in grades four, six, eight, and ten. *The Journal of Educational Research*, 73(1), 26-30. doi: 10.1080/00220671.1979.10885199
5. Fancourt, D., Garnett, C., Spiro, N., West, R., & Müllensiefen, D. (2019). How do artistic creative activities regulate our emotions? Validation of the Emotion Regulation Strategies for Artistic Creative Activities Scale (ERS-ACA). *PLoS One*, 14(2), e0211362.
6. Ferguson, C. J., Coulson, M., & Barnett, J. (2020). A meta-analysis of pathological gaming prevalence and comorbidity with mental health, academic and social problems. *Journal of Psychiatric Research*, 45(12), 1573-1578. doi: 10.1016/j.jpsychires.2011.09.005
7. Gardner, H. (2018). Effects of stimulus rearrangement on the development of sensitivity to painting styles. In G. Terry Suzanne, *Proceedings of the Annual Convention of the American Psychological Association* (Vol. 5, pp. 495-496), Washington, APA.
8. Greene, T., Gross, R., Amsel, L., & Hoven, C.W. (2018). The mental health of children and adolescents exposed to 9/11: Lessons learned and still to be learned. In A. M. Szema, *World Trade Center pulmonary diseases and multi-organ system manifestations* (pp. 121-136). Springer, Cham.
9. Ivon, H., & Kuscevic, D. (2019). School and the cultural-heritage environment: pedagogical, creative and artistic aspects. *CEPS Journal*, 3(2), 29-50.
10. Jacobsen, T. (2019). Bridging the arts and sciences: a framework for the psychology of aesthetics. *Leonardo*, 39, 155-156. doi: 10.1162/leon.2006.39.2.155
11. Leder, H., Belke, B., Oeberst, A., & Augustin, D. (2018). A model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments. *British Journal of Psychology*, 95(4), 489-508. doi: 10.1348/0007126042369811
12. Lindauer, M. S. (2019). Toward a liberalization of experimental aesthetics. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 31(4), 459-465.
13. Lucas, R. E., & Diener, E. (2019). Subjective well-being. In M. Lewis, J. M. Haviland-Jones, & L. F. Barrett (Eds.), *Handbook of Emotions* (pp. 471-484). The Guilford Press.
14. Machotka, P. (2018). Aesthetic criteria in childhood: Justifications of preference. *Child Development*, 37(4), 877-885. doi: 10.2307/1126610
15. Mucha, R. T. (2019). Aesthetic intelligence cultivates an artistic mindset. *Organization Development Journal*, 26(3), 41-54.

16. Myers, D. G., & Diener, E. (2019). Who is happy? *Psychological Science*, 6(1), 10-19.
17. Ryff, C. D. (2021). Happiness is everything, or is it? Explorations on the meaning of psychological well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57(6), 1069-1081. doi: 10.1037/0022-3514.57.6.1069
18. Ryff, C. D. (2020). Psychological well-being revisited: Advances in the science and practice of eudaimonia. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 83(1), 10-28. doi: 10.1159/000353263
19. Van Cappellen, P., Toth-Gauthier, M., Saroglou, V., & Fredrickson, B. L. (2021). Religion and well-being: The mediating role of positive emotions. *Journal of Happiness Studies*, 17(2), 485-505. doi: 10.1007/s10902-014-9605-5
20. Walsh-Piper, K. (2018). Museum education and the aesthetic experience. *Journal of Aesthetic Education*, 28(3), 105-115, doi: 10.2307/3333404
21. Wyatt T J. Oswalt, S B, Ochoa, Y. (2017). Mental health and academic performance of first-year college students. *International Journal of Higher Education*, 6(3), 178-187.

## Temporal Variability of Rainfall and Trend Analysis of Melloulou Watershed in Morocco

*Bertal Yassine, PhD*  
*Ben Brahim Youssef*

Professor in Higher Education, Department of Geography, Research team  
“Natural Environments, Management and Socio-spatial Dynamics, FLSH  
Sais Fez, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p139](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p139)

Submitted: 20 October 2023

Accepted: 13 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Yassine B. & Youssef B.B. (2024). *Temporal Variability of Rainfall and Trend Analysis of Melloulou Watershed in Morocco*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 139.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p139>

### Abstract

This paper focuses on analyzing the temporal variability of rainfall and rainfall trends using a statistical analysis of rainfall data in the Melloulou watershed for a half-century chronicle (1970-2020). The objective of this study is to extract all the rainfall characteristics and the rainfall variability during this period to determine the rainfall trends. The working method is based on a statistical approach to detect the climatic characteristics of the Melloulou basin. The study of the standardized precipitation index (SPI) and the rainfall deficit index (RDI) showed the alternation of very long dry periods with wet periods. The Mann-Kendall test under the RStudio also showed a decreasing rainfall trend.

**Keywords:** Climate variability, trend, SPI, RDI, Melloulou Basin

### Introduction

Climate variability is a global climate phenomenon that affects many countries in the world according to the work of the Intergovernmental Panel on Climate Change. The increase in the frequency of the occurrence of weather extremes has been identified as a major global environmental concern. The significant societal, ecological, and economic consequences of climate extremes, such as dry spells, are everywhere in the world (Kaur, 2022).

Since the early 1980s, the southern shore of the Mediterranean has experienced a series of dry years (Zamrane, 2016). However, Morocco is currently experiencing the longest dry period in its modern history, which is characterized by a decrease in precipitation and a clear upward trend in temperatures (Driouech et al., 2010). During the last decades, the extension of dry episodes has become structural in the Mediterranean, including Morocco (Sebbar et al., 2013). The climate of the latter is predominantly semi-arid hot, dry summers, occasional droughts, and mild, relatively wet winters (Critchfield, 1983).

The Melloulou watershed is part of this Mediterranean area, which is located in the northern Middle Atlas and in the southwestern part of the Guercif plain. It occupies an area of 2589 km<sup>2</sup>. The climate of this area is marked by seasonal thermal contrasts and very clear irregularities in rainfall. As a result, it experiences frequent periods of drought that have directly impacted the forest and soil formations. Also, precipitation is a fundamental component of the climate, and changes in its patterns can have large implications to human health, ecosystems, plants, and animals in general and in particular (Chakraborty, 2022).

In this variable and rainy climatic context, the present study is focused on using a complete and homogeneous meteorological series to analyze the rainfall trend on an annual, seasonal, and monthly scale in the Melloulou watershed. For this purpose, a statistical approach was adopted to promote a chronological analysis of this climatic phenomenon.

Consequently, a correct climatic analysis requires the use of a complete and homogeneous weather series (Fратиanni *et al.*, 2010). This analysis allows us to identify the rainfall trend at the scale of the Melloulou watershed.

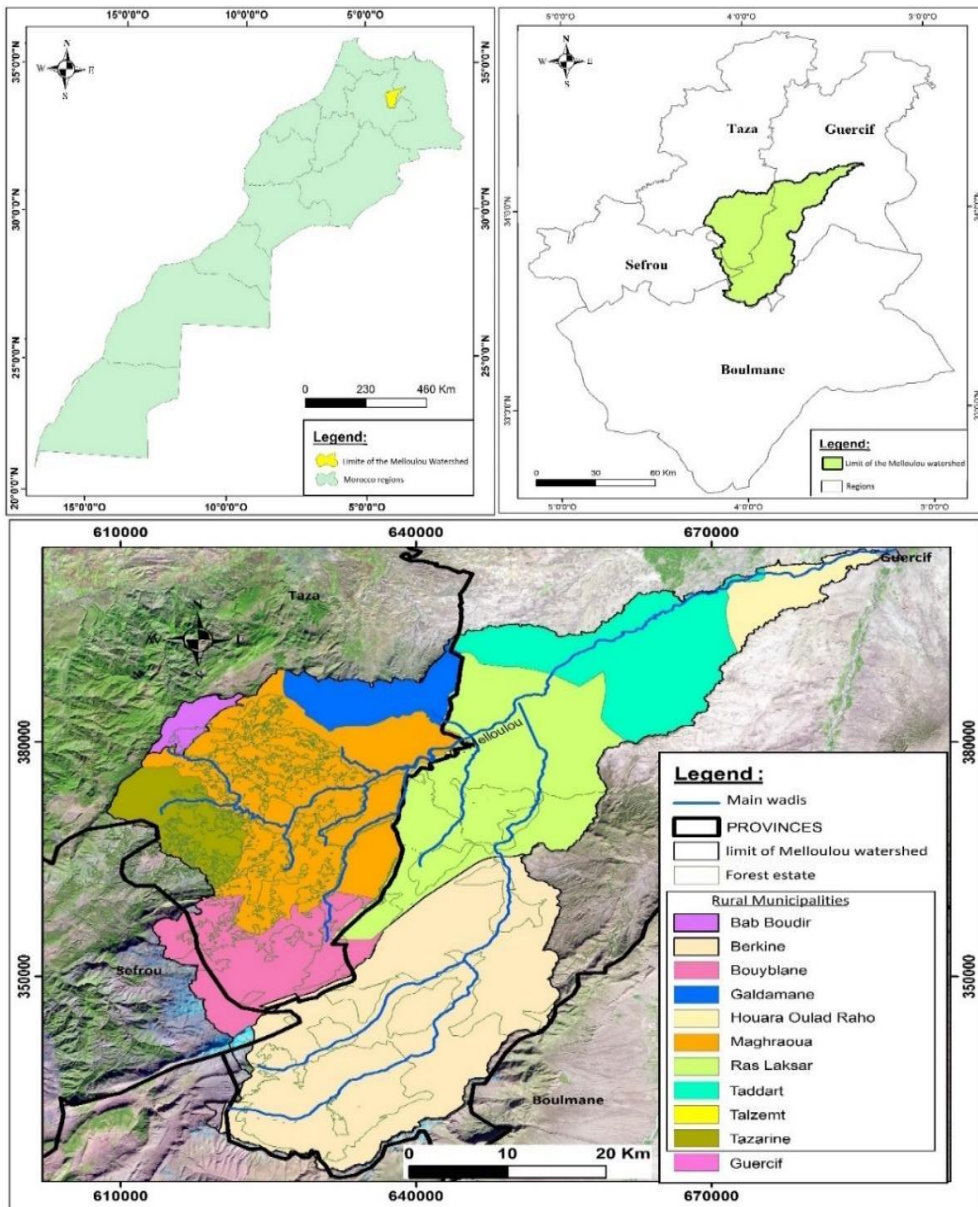
## **1. Materials and Methods**

### **1.1 Location of the Study Area**

Our study area is drained by the Oued Melloulou, which represents one of the main tributaries of the left bank of the Moulouya whose confluence with the latter is located near the city of Guercif. The watershed of Oued Melloulou is located in the Eastern Middle Atlas, and it covers an area of 2589 km<sup>2</sup>. Oued Melloulou covers a distance of about 100 km from its source, located on Lake Tameda, to its confluence with the Moulouya in Guercif (Mabrouki et al., 2017). The Melloulou watershed extends, in a triangular shape, from SW to NE bounded by latitudes 33°32'N, 34°13'N and longitudes 3°22'W, 4°15'W, and opens onto the northern part of eastern Morocco. It is bounded to the north and northwest by the Inaouène watershed (tributary of Oued Sebou), to the west by the basin of the upper Sebou, and to the southeast by the basin of the middle Moulouya. It is characterized by a highly variable topography ranging

from the plains of the Northeast (plain of Guercif) to the high peaks of the northern Middle Atlas. Administratively, the Oued Melloulou watershed is shared by the territorial division between the provinces of Guercif (157595.41 ha), Taza (94281.50 ha), Sefrou (6548.46 ha) and Boulemane (659.05 ha) with the total area of 60.82%, 36.39%, 2.52% and 0.25% of the basin respectively (DPEF GUERCIF).

**Figure 1.** The geographical location of the Melloulou watershed



## 1.2 Data

The study of climate and its variability is based on the annual rainfall series recorded at three stations located in the Melloulou basin (Table 1). The data was gotten from the Moulouya Water Basin Agency (ABHM) and the Provincial Directorate of Water and Forests in Guercif (DPEF). They are of variable quality. Among the stations located in the study area, three stations were selected whose coordinates and characteristics are shown in Table 1 below:

**Table 1.** The coordinates of the stations retained in the Melloulou watershed

Stations and Coordinates	Duration of Observations	Longitude	Latitude	Altitude (m)
Belfarah	1970- 2020	657000	391200	600
Berkine	1970- 2020	647900	354900	1000
Guercif	1970- 2020	689000	404400	332

## 1.3 Methodology

The study of the temporal variability of rainfall and the measurement of its trend requires the acquisition of a long series of reliable rainfall data. The reference period is from 1970 to 2020. To define the statistical characteristics of the chronicle studied (1970 - 2020) of the stations of Berkine, Belfarah and Guercif, a series of statistical tests have been applied to identify the different variations of rainfall and to extract information on the climatic characteristics that the study area has experienced. Our choice of stations was based on two criteria: complete observation series and a relatively homogeneous spatial distribution of stations. To carry out this study on the rainfall recorded at the three stations at the annual, seasonal and monthly scales, we applied the following approach:

- Firstly, we made a purely statistical study of rainfall to determine the characteristics of the variation in rainfall amounts and to analyze the frequencies of annual rainfall.
- Secondly, we calculated the Standardized Precipitation Index, which is called in English 'Standardized Precipitation Index' (SPI) created by McKee to determine wet and dry periods. However, this standardized rainfall index (SPI) reflects either the rainfall surplus or deficit for the year under consideration in comparison with the average rainfall of the study period (Abdou et al., 2008). It is expressed by the following formula:

$$SPI = \frac{(Xi - Xm)}{Si}$$

Where:

Xi is the cumulative rainfall for a year i;

Xm is the average rainfall observed for a given series;



$S_i$  is the standard deviation of annual rainfall for a given series.

➤ Thirdly, the use of rainfall deficit index (RDI) allows us to identify and calculate the percentage of the number of deficit years. The positive value indicates a wet year, while the negative value indicates a dry year. It is expressed by the following formula:

$$RDI (\%) = ((P_i - P_m) / P_m) * 100$$

Where:

RDI: Rainfall Deficit Index (in percent);

$P_i$ : Annual precipitation (in mm);

$P_m$ : Average precipitation (in mm).

➤ The final phase of this approach was reserved for the analysis and verification of rainfall trends, by applying the Mann-Kendall test using the RSTUDIO software. This test is commonly used to detect monotonic trends in a series of environmental, climatic, and hydrological data (Pohlert, 2018). The Mann-Kendall test is defined as follows:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sig}(X_j - X_i),$$

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_i) < 0, \end{cases}$$

Consequently, a positive value of  $S$  indicates that there is an increasing trend and vice versa (Yadav, 2014). The  $S$  statistic is approximately a normal distribution when  $n > 0$ . The mean of  $S$  is zero and the variance can be calculated as follows:

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right]$$

Where ‘ $n$ ’ is the number of data in the series under study, ‘ $m$ ’ is the number of related groups, and ‘ $t_i$ ’ is the number of data in the group of order ‘ $i$ ’ (Sintayehu et al., 2021).

The presence of a significant trend is assessed by applying the following formula:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S < 0. \end{cases}$$

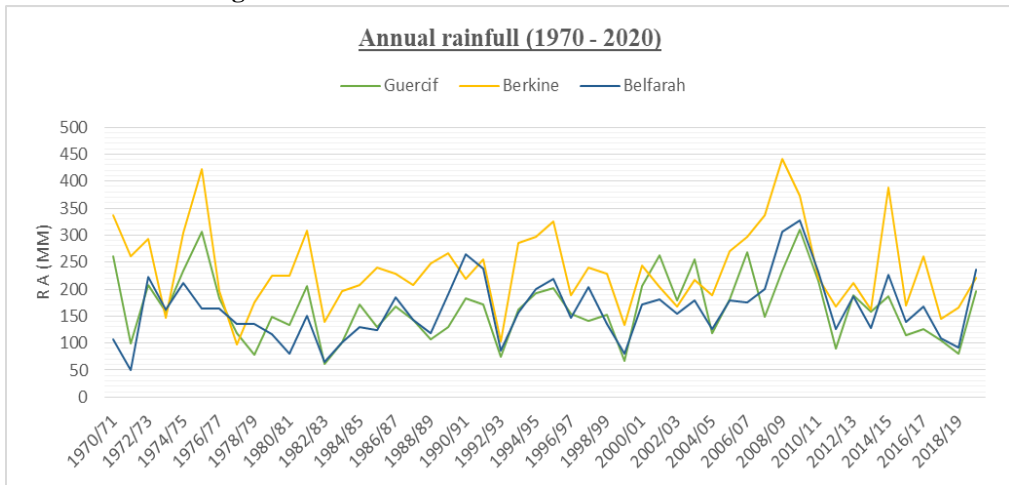
Zero values of Z indicate no trend, positive values of Z indicate increasing trends, and negative values of Z indicate decreasing trends.

## 2. Results

### 2.1 Analysis of Annual Rainfall

The annual rainfall in the Melloulou watershed is low in terms of quantities. They are between 50.20 mm recorded in 1971 in Belfarah and 442 mm recorded in 2009 in Berkine (Figure 2). They have experienced a variability of about 300 mm.

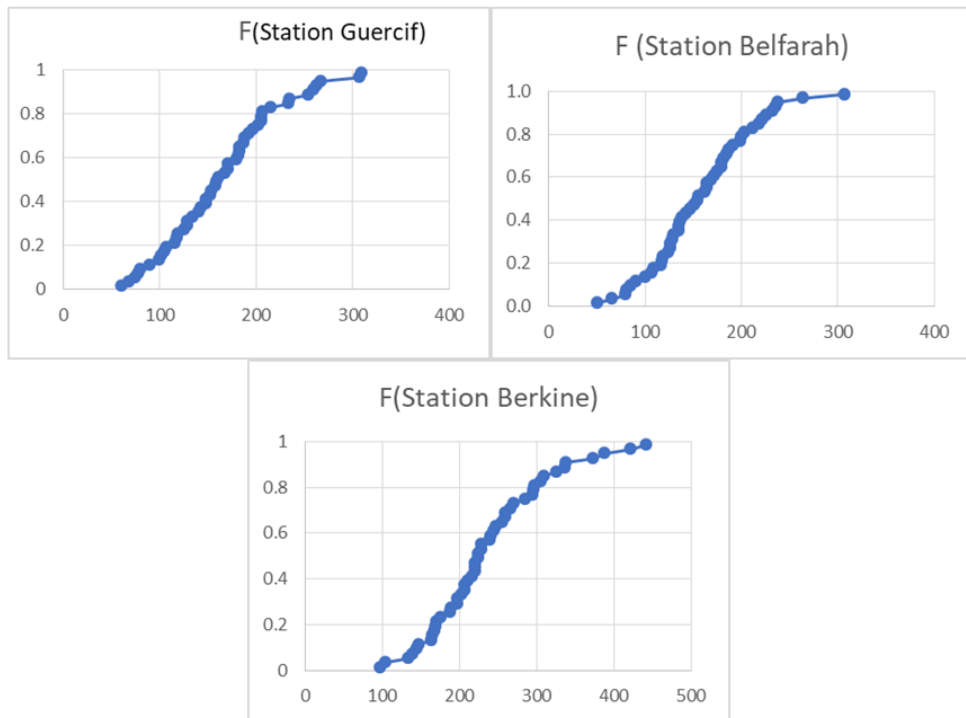
**Figure 2.** Annual Rainfall in the Melloulou Watershed



### 2.2 Frequency Analysis of Precipitation

The frequency analysis is a statistical method that allows us to designate different climatic states (dry, wet ...) during the studied chronicle. The frequency analysis of the annual rainfall, which amounts for the period 1970-2020, allows us to determine the distribution of these amounts during the indicated chronicle (Figure 3).





**Figure 3.** Frequency Analysis of Precipitation

The analysis of rainfall amounts allows us to divide the years into four classes:

- ✓ Years with a frequency of less than 0.25 are considered dry years
- ✓ Years with a limited frequency between 0.25-0.75 are moderate years
- ✓ Frequency years between 0.75-0.90 represent wet years
- ✓ Years with frequency greater than 0.90 are obviously very wet years

From the results obtained (Table 2), we can see that there is a great homogeneity between the measuring stations and a perfect equality of dry, moderate, wet, and very wet periods in the Melloulou basin. Therefore, this means that these three stations are subject to the same climatic factors.

Classes	Frequency	Station Guercif (Number of Years)	Station Belfarah (Number of Years)	Station Berkine (Number of Years)
Dry year	$F < 0.25$	13	13	13
Moderate year	$0.25 < F < 0.75$	25	25	25
Wet year	$0.75 < F < 0.90$	7	7	7
Very wet year	$F > 0.90$	5	5	5

**Table 2.** Frequency Analysis of Annual Precipitation (1970-2020)

### 2.3 Analysis of Monthly Rainfall

The purpose of the study of the monthly rainfall regime is to understand the distribution of rainfall during the year in the Melloulou watershed.

We based our study on the 50-year averages observed in the stations of Guercif, Belfarah, and Berkine. From Figure 4, we can say that the average monthly precipitation decreases from upstream to downstream. The wet period begins in September in the station of Berkine and in October in the station of Guercif and Belfarah, and it lasted until May. The months of February, March, and April recorded the maximum values with monthly averages of about 71 mm, 68 mm and 87 mm, respectively. Also, the minimum monthly averages were recorded in July: 1.5 mm in Guercif and Belfarah and 7.29 mm in Berkine. The summer months receive significant rainfall, which corresponds to stormy rains during the summer period.

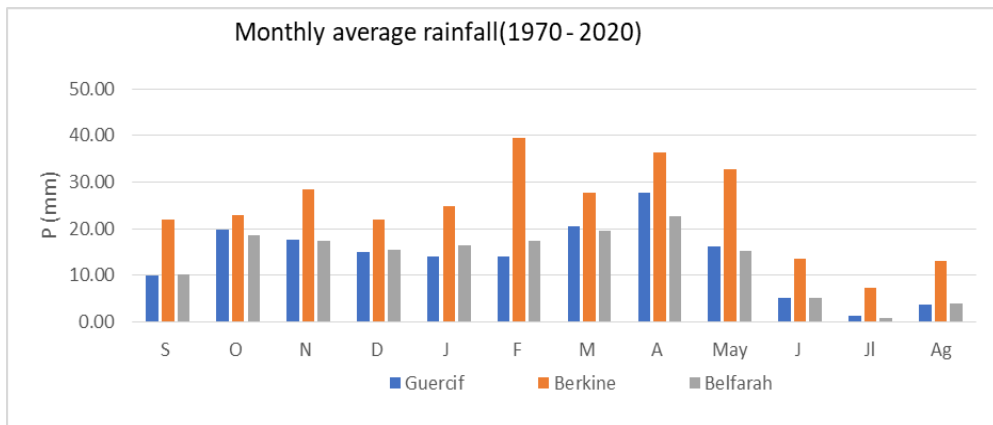
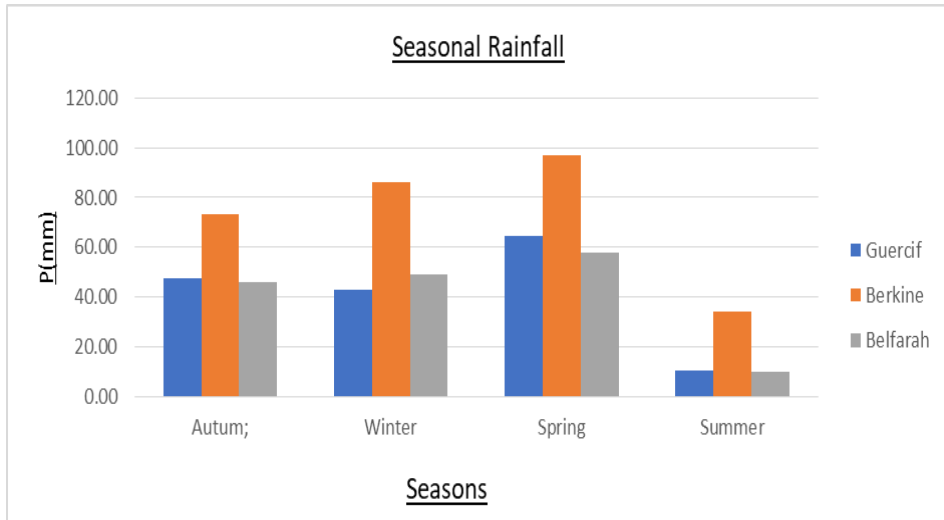


Figure 4. Average Monthly Rainfall

### 2.4 Seasonal Rainfall

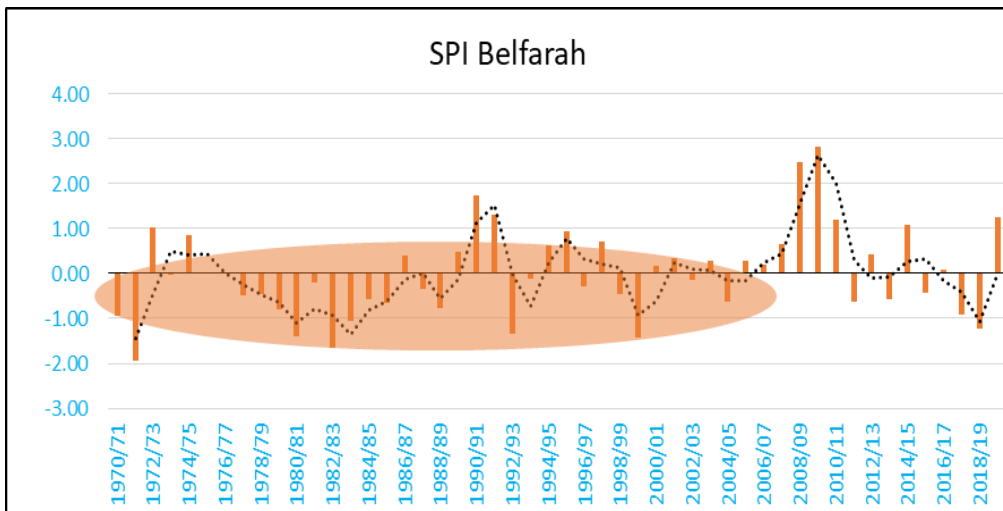
Seasonally, rainfall is concentrated in spring (March, April and May) with an average of 64.48 mm in Guercif, 97.07 mm in Berkine, and 57.63 mm in Belfarah during the period from 1970 to 2020. Winter and autumn are more or less wet, with a slight difference in seasonal averages. Also, summer is relatively dry (Figure 5).

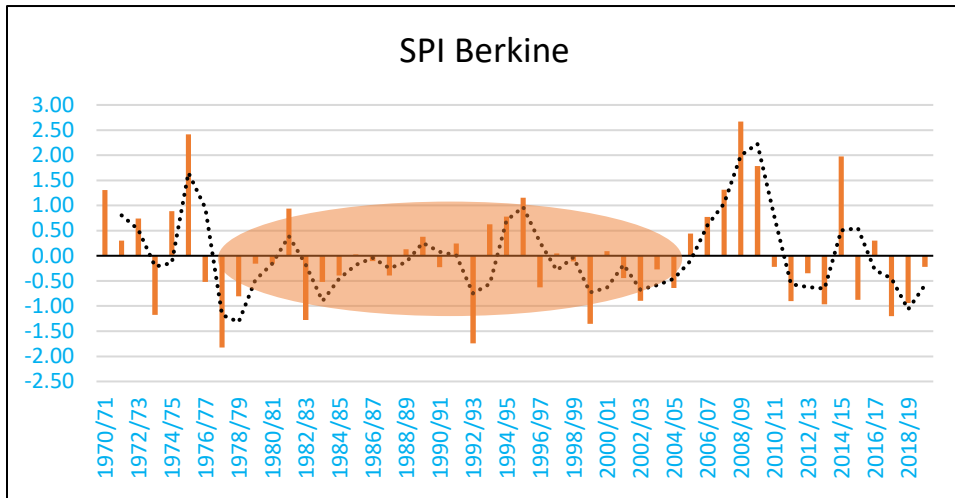


**Figure 5.** Average seasonal rainfall from 1970 to 2020

## 2.5 Standardized Precipitation Index (SPI)

The advantage of the SPI index is its adaptation to different periods of time, and it allows for early detection of drought situations (Bouly et al., 2020). The statistical analysis and the calculation of the SPI were carried out on the cumulative rainfall of the agricultural year. This index defines the severity of the drought. Negative annual values indicate drought compared to the reference period, while positive values indicate wet conditions. The results obtained from the calculation of the standardized rainfall index in the Melloulou watershed are shown below:





**Figure 6.** SPI results in the watershed Melloulou

According to the results of graph No. 6, we observe a general downward trend in rainfall from the year 1970 to the year 2007 in the station of Belfarah, from the year 1976 to 2007 in the station of Berkine, and from the year 1976 to 2001 in the station of Guercif.

From Figure 6 and Table 3, we can conclude that the moderate and ordinary period are the most frequented in the watershed of Melloulou, with a rate of 71%. Thus, the wet period experience a decrease in the number with a rate of about 15%, while the dry period is almost the same order with a rate of 14%. The application of the method of moving averages for the trend of the SPI reveals oscillations of the SPI whose magnitude and duration are very variable.

**Table 3.** The Frequency of the Periods in the BV of Melloulou

Period	Station		
	Berkine	Belfarah	Guercif
Extreme humidity	2	2	2
High humidity	5	6	6
Moderate humidity	15	17	16
Ordinary drought	22	18	18
Severe drought	6	7	8
Very severe drought	0	0	0

## 2.6 Rainfall Deficit Index

The rainfall deficit index was used to estimate the variation in rainfall in relation to the average. The average of the highest rainfall deficit of the 1970-2020 series studied was recorded at the station of Belfarah with an estimated value of -69.13%. Thereafter, this was followed with the station of

Guercif with a deficit of -63.11% and the station of Berkine which recorded a deficit of -59.07%. The station of Belfarah has experienced the longest duration of rainfall deficit from 1977/1978 to 1985/1986 with a maximum rate of -59.48%. The rainfall deficit of the station of Berkine was recorded within a period of five years only with a maximum rate of -59.07%. At the station of Guercif, this time, the rainfall deficit is spread over four years only. Furthermore, the rainfall abundance for the series 1970-2020 was observed in the station of Belfarah with a rate that exceeds 100% for the year 2009/2010. At the second level, the station of Guercif shows a rate of 87.34%. Finally, the station of Berkine with rainfall abundance has a value of about 86.36%.

### 2.7. Trend Analysis

The Mann Kendall Test for the series, extending from 1970 to 2020, shows that the Guercif and Berkine station records a downward trend, while the station of Belfarah records a negative trend. The results obtained via the Mann-Kendall test are presented in the table below:

**Table 4.** Results of the Mann-Kendall Test

Station	Period	Average (mm)	Mann Kendall Test	
			S value	Z value
Guercif	1970-2020	165	0.0	-0,56
Belfarah	1970-2020	163	1.1	1.77
Berkine	1970-2020	237	-0.42	-0,61

### 3. Discussion

Annual precipitation in the Middle Atlas Mountains region is characterized by high variability (Sebbar et al., 2020). The study of this climatic variability and trend are based on the history of rainfall. In Melloulou watershed, rainfall is highly variable in space and time (Obda Kh et al., 2009). The climatic conditions of the Melloulou watershed are characterized by rainfall concentrated on the spring season. Fluctuations in rainfall amounts are severe. Some years are very deficient in rainfall, while others are surplus. This fluctuation is linked to the elevation and exposure of the slopes (Taous et al., 2009).

The use of certain indices has shown a trend of decreasing rainfall during the period 1970-2020. The impacts of this decrease in rainfall have been materialized by the decrease in the flow of water sources, as well as the flow of wadis. Additionally, the cereal production recorded a drop during the last years and the regression of the forest surfaces is at the level of quantity and quality. This downward trend in rainfall can be linked to the decrease in the frequency of disturbances in the north and west.

The frequency analysis of rainfall and the standardized rainfall index (SPI) and the rainfall deficit index (RDI) revealed that the Melloulou watershed has experienced rainfall deficits in different years in the three stations (Guercif, Belfarah, and Bekine). While the decline in rainfall has intensified in various regions, particularly in the Tamgilt area, leading to a reduction in water sources and grain production, an increase in rainfall has been observed in other areas, even in different years.

The results derived from the indices applied to the Melloulou basin show that it alternates between dry and wet periods lasting from 4 to 5 years. In addition, the evolution of SPI and PDI values of the different stations show that the climatic domain of the Melloulou basin is a domain of nuance.

According to the Mann-Kendall test, a negative trend in precipitation will result in a decrease in the number of rainy days and an increase in the duration of dry periods.

## **Conclusion**

In conclusion, this study aims to provide a summary of climate variability and its trend over the last five decades (1970 – 2020). The indices were calculated based on monthly, seasonal, and annual rainfall data.

The climatic study of the Melloulou watershed, through indices (SPI and RDI) and the Mann-Kendall test, has allowed us to show the differences in duration between the years characterized by a water deficit and those characterized by a water excess.

The Melloulou basin thus experiences alternating wet and dry phases. The Mann-Kendall test confirms an upward trend in the station of Belfarah and downward in both stations (Berkine and Guercif). The latter is evidenced by a reduction in the amount of rainfall, and a slowdown of natural resources and human activities.

**Conflict of Interest:** The authors reported no conflict of interest.

**Data Availability:** All of the data are included in the content of the paper.

**Funding Statement:** The authors did not obtain any funding for this research.

## **References:**

1. Abdou, A., Thierry, L., & Abou, A. (2008). Meaning and use of the rainfall index in the Sahel. *Drought* 2008. 19(4). 227-35.
2. ABHM: Agency of the Moulouya hydraulic basin.
3. Bouly, S., Cisse, A., Faye, C., & Sane, T. (2020). Use of the standardized precipitation and evapotranspiration index (SPEI) from 1950 to 2018 to characterize the drought trend over the Lower

- Casamance. *Journal Geographic Space and Moroccan Society* n°32, February 2020. 27p.
4. Chakraborty, D., Ajaykumar, K., Baby, V.S., Singh, N., Singh, H.D., Singh, H.J., & Sethy, B.K (2022). Trends in monsoon rainfall extremes over Andhra Pradesh and Telangana. *Journal of agrometeorology*.24:295-298.  
<https://doi.org/10.54386/jam.v24i3.1665>.
  5. Critchfield, H.J. (1983). General climatology, 4th edn. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 453 pp.
  6. DPEF: Provincial Directorate of Water and Forests in Guercif.
  7. DREFLCD-Nord-Est: Regional Directorate of Water and Forests and the Fight against Desertification in the North-East.
  8. Driouech, F. (2010). Winter precipitation distribution over Morocco under climate change: downscaling and uncertainties. Doctoral thesis at the National Polytechnic Institute of Toulouse (INP Toulouse). 164 p.
  9. Kaur, B., Kaur, N., Kumar Kataria, S., & Singh, S. (2022). Assessing the variability in temperature and rainfall extremes using RClimdex in Jalandhar district of Punjab. *J. Agrometeorology.*, 24: 437-439.
  10. Mabrouki, Y., Taybi, F.A., & Berrahou, A. (2017). Spatiotemporal evolution of the quality of running waters of Oued Melloulou (Morocco). *Journal of water sciences*. Volume 30. Number 3, 2017. 14p.
  11. Obda, Kh., Taous, A., Sabaoui, A., & Amyay, M. (2009). Hydrography and Hydrology of upper waters of Melloulou. *Geomaghreb*. N°5, pp 89-102.
  12. Pohlert, T. (2018). Trend non-parametric trend tests and change-point detection, R package version 0.0.1. This work is licensed Under a Creative Commons License (CC BY -ND 4.0). 8 p.
  13. Sebbar, A., Hsaine, M., Fougrach, H., & Badri, W. (2020). Impact of climate change on the Middle Atlas Mountains in Morocco. *Proceedings of the AIC Rennes 2020 conference*. 6p.
  14. Sebbar, A., Hsaine, M., Fougrach, H., & Badri, W. (2013). Map of annual rainfall in Morocco (1935/2006). 26 th colloquium of the international association of climatology, Cotonou 2013. 8 p.
  15. Sintayehu AD et al. (2021). Precipitation and temperature trend analysis by Mann Kendall test: The case of Addis Ababa methodological station, Addis Ababa, Ethiopia.
  16. Taous, A., Tribak, A., Obda, Kh., Baena, R., Lopez, E.L., & Bonnila, J.M. (2009). Karst and resources in water in the north-oriental Medium Atlas. *Geomaghreb*. N°5, pp 41-59.

17. Yadav, R., Tripathi, S.K., & Dubey, S.K. (2014). Trend analysis by Mann-Kendall test for precipitation and temperature for thirteen districts of Uttarakhand. *Journal of agrometeorology*.16. 164-171.
18. Zamrane, Z. (2016). Search for climate variability index in hydroclimatic series in Morocco: Identification, temporal positioning, trends and links with climate fluctuations: The case of the large basins of Moulouya, Sebou and Tensift. PhD thesis. Earth and Water Sciences. University of Montpellier. 197 p.



## Assessing the Relationship between Short Birth-to-Pregnancy Interval and the Maternal and Perinatal Outcomes among Multiparous Women in Northern Ghana

*Gilbert G. Agulu, BSc.PH, MPH, PhD (candidate)*

*Emmanuel K. Dzotsi, MD, MPH, MGCPs, FGCP*

Ghana Health Service, Regional Health Directorate

Private Mail Bag Bolgatanga, Upper East Region (UER), Ghana

*Kofi Issah, MD, MPH*

Family Health Division, Headquarters

Ghana Health Service, Greater Accra, Ghana

*Josephat A. Nyuzaghl, MGCPs, MPH, MD, BSc*

*Alemna D. Adogboba, BSc. MPH*

*Vincent A. Adongo, RN, BSc., MSc*

Ghana Health Service, Regional Health Directorate

Private Mail Bag Bolgatanga, UER, Ghana

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p153](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p153)

Submitted: 28 December 2023

Accepted: 30 January 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

### *Cite As:*

Agulu G.G., Dzotsi E.K., Issah K., Nyuzaghl J.A., Adogboba A.D. & Adongo V.A. (2024). *Assessing the Relationship between Short Birth-to-Pregnancy Interval and the Maternal and Perinatal Outcomes among Multiparous Women in Northern Ghana*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 153. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p153>

### **Abstract**

**Introduction:** The World Health Organization (WHO) recommends an optimal Birth-to-Pregnancy Interval (BPI) of 24-59 months, or a 33-month interval between two successive births, to reduce the risk of untoward maternal and newborn outcomes. Short Birth to Pregnancy Interval (SBPI) and unmet need for Family Planning (FP) are the major contributors to rapid population growth and increased maternal and newborn mortalities. The purpose of this study was to assess the adverse perinatal and maternal outcomes associated with SBPI among multiparous women in three municipalities of the Upper East Region (UER) of Ghana.

**Materials and Methods:** We employed a cross-sectional design conducted among 904 women aged 15-49 attending Antenatal Care (ANC) clinics in

three municipalities in the UER who had at least two successive live births prior to data collection. A multistage cluster sampling technique was employed to recruit respondents for this study. This was conducted in four steps. Out of the 46 health facilities, we randomly selected 25 respondents using the systematic random selection method. Data was collected using a structured questionnaire, incorporated into the electronic data collection tool (Kobo collect), and administered by trained research assistants. Birth interval was categorized according to the WHO's classification: <24 months as SBPI, 24-≥59 months as Optimal Birth to Pregnancy Interval (OBPI), and >59 months as Long Birth to Pregnancy Interval (LBPI).

Results: Of the 904 respondents, the majority (56.2%) had an OBPI, while 36.9% had a SBPI. Factors that influenced SBPI were parity, mode of delivery, and the educational status of woman's partner. Participants with a higher parity (≥5 children) had 0.67 times the potential of spacing their births (AOR 0.67; 95% CI 0.46-0.98; p = 0.040). Women who experienced a Caesarean Section (CS) delivery were 3.28 times more likely to have LBPI (AOR 3.28; 95% CI 1.02-10.62; p=0.047). Respondents whose partners had secondary education had a 1.87 chance (AOR 2.07; 95% CI 1.09-3.96; p=0.027) of spacing their births. The birth complications reported were retained products of conception (41.9%), pregnancy-induced hypertension (27.9%), postpartum hemorrhage (11.6%), obstructed labor (10.5%), sepsis (38.1%), neonatal jaundice (23.8%), low birth weight (19%), and preterm birth (14.3%).

Conclusion: A significant proportion of the participants in this study reported having a short duration between the birth of one child and the conception of the next. This was associated with various adverse maternal and perinatal outcomes, such as birth complications and mortalities. The study emphasizes the need for health professionals to address challenges in contraceptive uptake, especially among multiparous women, and promote optimal birth spacing to improve maternal and perinatal outcomes.

---

**Keywords:** Birth-to-pregnancy interval; hemorrhage; maternal; multiparous; perinatal; postpartum; puerperal

## **1.0 Introduction**

### ***1.1 Background of the Study***

Birth-to-Pregnancy Interval (BPI), which is also known as the interbirth interval, refers to the interval between the date of a live birth and the start of the subsequent pregnancy (Merdad & Ali, 2018). This is the period within which women recuperate from their pregnancy and childbirth experiences. It serves as a "fallow period" for physical, physiological, and psychological restoration after birth.

The World Health Organization (WHO) recommends an optimal BPI of 24–59 months, or a 33-month interval between two successive births, to reduce the danger of maternal, newborn, and perinatal deaths (Nausheen et al., 2021). This recommendation came after preceding surveys highlighting the inapt effects of both short and long BPIs, such as low birth weight, preterm birth, small-for-gestational-age birth, and a high admission rate at the neonatal intensive care unit (Bauserman et al., 2020; Merdad & Ali, 2018). Women with SBPIs are exposed to negative health consequences, especially when they have less time to physically convalesce from their previous pregnancies (Hailu & Gulte, 2016). Again, too-closed pregnancies increase the depletion of maternal nutrition, leading to maternal malnutrition (Mehra et al., 2019). A BPI of less than six months increases the probability of maternal mortality by 150% (95% CI 22% to 438%) and is linked with premature rupture of membrane, third trimester bleeding, postpartum endometriosis, and anemia (Nausheen et al., 2021). Recent study findings forecast that SBPI has the potential to cause autism in second-born children, particularly for pregnancies spaced less than 12 months apart (Conde-Agudelo et al., 2016). Another glaring consequence of SBI is that, pregnant women are less likely to access antenatal care (ANC) services due to the demand for care for younger infants. For instance, babies are likely to be deprived of or compete for basic needs such as food, breastmilk, and parental attention (Molitoris, 2018). LBPIs, on the other hand, have been associated with an increased risk of pre-eclampsia (Nausheen et al., 2021).

In sub-Saharan Africa (SSA), a survey in eight selected countries disclosed that most mothers ideally space their births. Nonetheless, SBPIs were reported in Chad (30.2%) and the Democratic Republic of the Congo (27.1%), while LBPIs were dominant in southern and eastern Africa, with Zimbabwe recording the highest percentage (Ajayi & Somefun, 2020). A recent study (Alhassan et al., 2022) revealed that Ghana has a SBPI prevalence of 49.7%, a low contraceptive prevalence rate, and high unmet needs for FP.

Several factors determine BPI; however, key among them include socio-demographic, biological, and sociological factors (Molitoris, 2018). Socio-demographic determinants like age, parity, type of residence, wealth index, education, and religion influence BPI (Tesema et al., 2021). Studies show that prolonged postpartum amenorrhea is a primary biological factor in the long birth interval. According to Ajayi et al., contraceptive usage, length of breastfeeding, the death of the previous child, gender of the newborn, infrequent sexual intimacy, and the husband's occupation are strong sociological predictors of BPI. These determinants were also common in other studies (Molitoris, 2018; Dehesh et al., 2020; Ayane et al., 2019).

Globally, SBPI and the unmet need for FP are the major contributors to rapid population growth. Data from the United Nations (UN) states that the

world is currently battling with a population of 7.6 billion people, which is projected to increase to 8.6 billion in 2030, 9.8 billion, and 11.2 billion in 2050 and 2100, respectively. Persistently elevated fertility rates due to SBPI pose health hazards for women and children, destroy human capital investment, decline economic growth, and deplete environmental resources. Close to 4.7 million mothers, newborns, and children die annually in SSA, with a projected 265,000 mothers dying due to complications of pregnancy and childbirth (Tessema et al., 2020). Similarly, the population of Ghana is presently growing at a rate of 2.15% annually, though it has gradually declined from a growth rate of 2.95% in 1985. The major indicators of growth are deeply rooted in the high fertility rate of 3.89 births per woman and the country's mandates to reduce birth mortalities. Ghana has a high unmet need (30%) in FP (Ghana Maternal Health Survey, 2017). Ghana's maternal mortality ratio (MMR) is still unacceptably high (308 per 100,000 live births) as of 2017. In 2019, the neonatal mortality and infant mortality rates were 23.1 deaths per 1,000 live births and 33.9 deaths per 1,000 live births, respectively. The Upper East Region (UER), for the past three years, has consistently recorded increasing MMRs. The region recorded 32 deaths (80.8/100,000 LBs), 36 deaths (91.8/100,000 LBs), and 43 deaths (98.1/100,000 LBs) in 2019, 2020, and 2021 respectively (Annual Report GHS, 2022). The situation is likely to further exacerbate if rapid, targeted maternal interventions are not put in place. A reduction in the unmet need for FP will minimize the high levels of unintended pregnancies, unsafe abortions, and maternal and neonatal mortality in the country (Guure et al., 2019). Again, by ensuring that women have access to comprehensive sexual and reproductive health services, including contraceptive usage, they will avoid becoming pregnant too early, too late, or too frequently and reduce avoidable pregnancy and childbirth-related deaths globally (Stover & Winfrey, 2017).

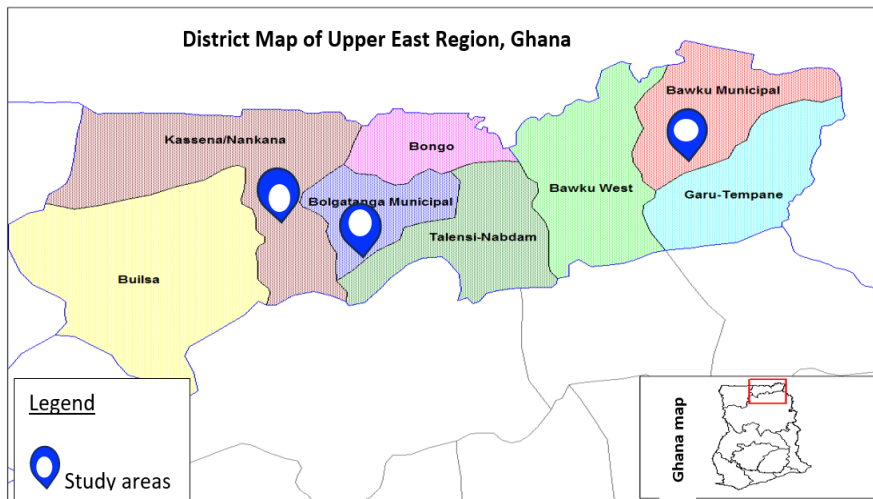
Despite the benefits associated with optimal birth spacing, such as reduced maternal and fetal complications and mortalities, improved socioeconomic status of families, and poverty alleviation, the maternal and fetal outcomes in the study settings as well as in northern Ghana have not been explored. Again, the current BPI prevalence in the study sites remains unknown. Therefore, this study seeks to address these gaps by assessing the adverse perinatal and maternal outcomes associated with SBPI among multiparous women in three municipalities of the UER of Ghana.

## **2.0 Materials and Methods**

### **2.1 Study Settings**

The UER is one of the poorest regions of Ghana in terms of health and socioeconomic resources. The region is located in the northeastern part of the country, with an estimated population of 1,318,523 people, with females

constituting 48.4% of the population (Ghana Maternal Health Survey, 2017; GSS, 2017). The region shares borders with the Republic of Burkina Faso to the north, Togo to the east, the North-East Region of Ghana to the south, and the Upper West Region of Ghana to the west. Administratively, it is made up of 15 districts and municipalities and 101 sub-districts with health infrastructure such as a regional hospital, eight municipal and district hospitals, a few maternity homes, and private faith-based facilities, health centers, and multiple Community Health Planning and Services (CHPS) facilities. The study was conducted in three major municipalities in the region, namely Kassena-Nankana Municipal (KNM), Bolgatanga Municipal (BoM), and Bawku Municipal (BaM). (Figure 1)



**Figure 1.** Map of Ghana showing the Upper East Region and Districts, including the study areas Kassena-Nankana Municipal, Bolgatanga Municipal, and Bawku Municipal. Source: Ghana Statistical Service

## 2.2. Study Design

The study employed a cross-sectional design was conducted among 904 multiparous women in three major municipalities in the UER of northern Ghana within the period of October–December 2022.

## 2.3 Study Population

All multiparous women who experienced at least two successive deliveries within the last five years preceding data collection.

## 2.4 Inclusion Criteria

1. All multiparous women in the age range of 15–49 years who had two successive live births within the last five years.
2. All the above-described women who stayed in the study area for six months before the data collection.

## 2.5 Exclusion Criteria

1. All nulliparous and uniparous women. Any woman below 15 years of age or above 49 years of age.
2. Women whose children were severely sick and needed urgent treatment.

## 2.6 Data collection methods and instruments

Data was collected using a structured questionnaire that was adopted and modified from different literature (Bauserman et al., 2020). Data collection was carried out by trained research assistants (four nurses and three midwives) and supervised by the investigators. The enumerators visited each selected health facility to interview eligible mothers during ANC clinic days. The data collection was carried out from October to December 2022.

## 2.7 Sample size determination

The sample size was calculated based on the average skilled deliveries (4,489) in the three municipalities in the last five years (2018–2022). The Cochran formula was used to determine sample size:  $n = \frac{z^2 \times p(1-p)}{d^2}$ , where  $n$  = required sample size,  $z$  = reliability coefficient (z-score) of 1.96 at 95% confidence level,  $p$  = estimated proportion of skilled delivery (50%), and  $d$  = margin of error of 5% (0.05). Since the prevalence of SBI was unknown in the region, we assumed 50%; this gives a sample of 384 respondents for each municipality.

## 2.8 Sampling Strategy

A multistage cluster sampling method was employed to recruit respondents for this study. It was conducted in four steps. Step 1: The study population was divided into clusters, of which the three municipalities serve as naturally occurring clusters. Within each cluster are the sub-municipalities. All sub-municipalities were considered for the sampling. Step 2: We randomly selected within each sub-municipality's health facilities providing ANC service, of which there were a total of 67 health facilities (sample frame) in the three municipalities. Step 3: Out of the sample frame (67), we purposefully selected 46 health facilities. This included all health centers, hospitals, and CHPs facilities. Step 4: Of the 46 health facilities, 25 respondents were randomly selected using the systematic random selection method. In selecting the respondents, a proportionate quota was assigned to each facility depending on the population of ANC registrants. A total of 1,152 respondents were selected from the three municipalities for data collection.



## **2.9 Study Variables**

The main exposure variable of interest was SBPI. A SBPI was defined in this study as an interval below 24 months occurring between the index and the current pregnancy. The major control variables included the age of the woman at first birth, sex of the index child, death of the index child, maternal and partner educational levels, place of residence, contraceptive usage, history of maternal infertility, etc. The main outcome variables were risks of maternal severe morbidity or a maternal near miss (e.g., mechanical ventilation, blood transfusion >2 units, admission into an intensive care unit, organ failure, etc.) and fetal outcomes such as stillbirth, severe illness following delivery, delivery <28 weeks, and spontaneous and indicated preterm delivery (Schummers et al., 2018).

## **2.10 Statistical Analysis**

Data analysis was done using descriptive statistics and Chi-square tests. In the descriptive analysis, frequency distribution and percentages were conducted to describe the demographic, socio-economic, obstetric, and childcare factors. In the Chi-square test, bivariate analysis was performed to identify factors associated with BPI. A multivariable logistic regression analysis was done to verify the variables linked with maternal and perinatal outcomes. The results of the regression analysis were presented using the Crude Odds Ratio (COR) and Adjusted Odds Ratio (AOR) with their corresponding Confidence Interval (CIs) and p-values. A p-value of <0.05 was considered statistically significant, showing the level of precision.

## **2.11 Ethical Approval/Informed Consent**

Ethical approval was given by the Navrongo Health Research Centre Institutional Review Board of Ghana with the ethical approval identification number (NHRCIRB448) and the Ghana Health Service through the Upper East Regional Health Directorate. Written permission to carry out the study was sought from the municipal health authorities. Informed consent was written and explained to interviewees in their preferred languages. Participation was voluntary, and all participants had the right to withdraw from the study at any time. The identities of respondents were anonymized, and their records were made available to only the researchers. Participants' records were kept safely in a cabinet and locked. Literate participants were made to sign a copy of the consent form, while non-literate participants thumbed it. Consent was sought from legal guardians for participants who were under the age of 18.

### 3.0 Results

The study had a 21.5% dropout rate due to enumerators being unable to interview some respondents at the BaM study site as a result of an outbreak of conflict during the data collection period. Hence, out of the 1,152 respondents targeted, 904 were interviewed.

#### 3.1 Sociodemographic Characteristics

In terms of educational attainment, 21.4% (193/904) of the respondents did not achieve any formal education, 56.6% (512/904) had primary and junior level education, and 22% (199/904) had secondary and tertiary education. More than a quarter (26.6%, 240/904) of the women partners did not have any formal education, while 31% (280/904) of them had secondary and tertiary education. For age categorization, only 16 (1.8%) of the respondents were teenagers, while 63.2% (571/904) were in the age group of 25–34 years. Nearly 98% (883/904) of the women were married, with more than half of them (56%, 502/904) marrying at the age of 15–19 years, and 35% (314/904) marrying within the age brackets of 20-24 years. The majority, 92% (830/904) of the couples stay together. With regards to religion, 78.8% (712/904) of the women were Christians, and 18% (163/904) were Muslims. On ethnicity, about 42% (376/904) of the women were Frafras, and 22% (198/904) were Kassenas. As shown in Table 1 below,

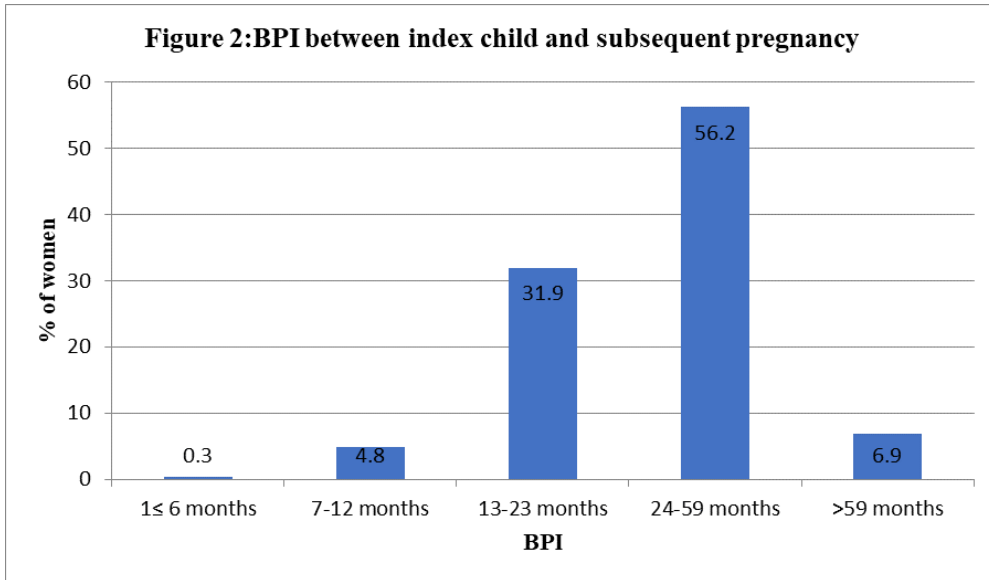
**Table 1.** Demographic characteristics of respondents

Variables and category	Frequency	Percentage (%)
<b>Municipal(n=904)</b>		
BaM	135	14.9
BoM	384	42.5
KNM	385	42.6
<b>Educational level of woman(n=904)</b>		
No education	193	21.4
Primary	294	32.5
JHS	218	24.1
Secondary	126	13.9
Higher	73	8.1
<b>Educational level of woman's partner (n=904)</b>		
No education	189	20.9
Primary	195	21.5
JHS	162	17.9
Secondary	118	13.1
Higher		
<b>Age of woman (n=904)</b>		
15–19	16	1.8
20–24	122	13.5
25–29	281	31.1
30–34	290	32.1
34–39	129	14.2



40–44	59	6.5
45–49	7	0.8
Mean $\pm$ SD: 30.3 $\pm$ 5.6		
<b>Marital status(n=904)</b>		
Married	883	97.7
Single	8	0.9
Separated	8	0.9
Divorced	1	0.1
Widow	4	0.4
<b>Age of woman at marriage, n=896</b>		
<15years	7	0.8
15–19years	502	56.1
20–24years	314	35.0
25–29years	61	6.8
30–34years	11	1.2
40–44years	1	0.1
<b>Number of people in a household (n=904)</b>		
<5 people	89	9.9
5–6 people	304	33.6
7 people and above	511	56.5
<b>Religious affiliation (n=904)</b>		
Christian	712	78.8
Islam	163	18.0
Traditionalist	18	2.0
No religion	11	1.2
<b>Ethnic background (n=904)</b>		
Frafra	376	41.6
Kassena	198	21.9
Nankana	154	17.0
Kusaasi	80	8.9
Builsa	26	2.9
Moshie	25	2.8
Bisa	13	1.4
Akan	10	1.1
Others <sup>1</sup>	22	2.4
<b>Couple staying together? (n=904)</b>		
No	74	8.2
Yes	830	91.8

<sup>1</sup> Hausa =4, Zambarama =3, Sissaala =3, Busanga =3, Fulami =3, Kantosis =2, Dagomba =2, Gonja =1, Guan =1



From **Figure 2**, it is shown that 63.1% of the women for between 24 to 59 months to have another pregnancy after their index (first born) child whilst 36.9% used 1-23 months to have their subsequent pregnancy after their index child.

### 3.2 Association between delivery, and newborn care, and BPI

As indicated in Table 2 below, the reason for the preferred sex of the child was found to have a strong association with interbirth spacing ( $\chi^2=15.1948$ ,  $p=0.010$ ). Also, the mode of delivery of the last child was a determinant of interbirth spacing ( $\chi^2=12.9219$ ,  $p=0.005$ ). We observed that women who delivered through CS spaced their births longer within 24–59 months. Again, parity ( $\chi^2=5.1544$ ,  $p=0.023$ ) was associated with BPI, as women with fewer than 1-3 children had SBPI compared to those with 4–7 children (64.3% versus 54.7%). Furthermore, the number of children a woman wishes to have ( $\chi^2=14.1677$ ,  $p<0.001$ ) and gravida ( $\chi^2=15.4730$ ,  $p<0.001$ ) are strongly linked with BPI. The period of commencement of sexual intercourse after delivery ( $\chi^2=42.8910$ ,  $p<0.001$ ) and those who received a postpartum FP method ( $\chi^2=10.4212$ ,  $p<0.001$ ) were strong predictors of BPI. The study found that women who breastfed their previous children ( $\chi^2=5.8653$ ,  $p=0.015$ ), practiced exclusive breastfeeding ( $\chi^2=31.0284$ ,  $p<0.001$ ), and the duration of exclusive breastfeeding ( $\chi^2=45.3461$ ,  $p<0.001$ ) were all strongly associated with BPI. Women who ever had a problem conceiving ( $\chi^2=10.8256$ ,  $p<0.001$ ) and the frequency of couples' sexual intercourse ( $\chi^2=26.5771$ ,  $p<0.001$ ) were found to be strong determinants of BPI.

**Table 2.** Association between delivery, and newborn care and BPI

Variable	BPI			$\chi^2$ (p-value)
	1-23 months n (%)	24-≥59 months n (%)	Total n (%)	
<b>Place of birth of the last baby</b>				6.8880 (0.229)
CHPS Compound	76 (31.1)	168 (68.9)	244	
Health Centre	67 (36.0)	119 (64.0)	(100.0)	
Clinic	25 (40.3)	37 (59.7)	186	
Hospital	161 (40.0)	242 (60.0)	(100.0)	
Home/TBA	2 (50.0)	2 (50.0)	62	
Aborted	3 (60.0)	2 (40.0)	(100.0)	
			403	
			(100.0)	
			4 (100.0)	
			5 (100.0)	
<b>Sex of the index child</b>				0.4322 (0.511)
Boy	195 (37.9)	320 (62.1)	515	
Girl	139 (35.7)	250 (64.3)	(100.0)	
			389	
			(100.0)	
<b>Reasons for preferred sex of the child</b>				15.1948 ( <b>0.010</b> ) *
I have no preferred sex	268 (36.8)	461 (63.2)	729	
Already had a girl (s)	7 (29.2)	17 (70.8)	(100.0)	
Already had a boy (s)	7 (35.0)	13 (65.0)	24	
My husband's preferred choice	19 (54.3)	16 (45.7)	(100.0)	
Woman's preferred sex	33 (41.3)	47 (58.7)	20	
Help in household activities	0 (0.0)	16 (100.0)	(100.0)	
			35	
			(100.0)	
			80	
			(100.0)	
			16	
			(100.0)	
<b>Mode of delivery of the last child</b>				12.9219 ( <b>0.005</b> ) *
Spontaneous Vagina	321 (38.5)	512 (61.5)	833	
delivery (SVD)	7 (14.3)	42 (85.7)	(100.0)	
Caesarean section (CS)	0 (0.0)	1 (100.0)	49	
Vacuum extraction	6 (28.6)	15 (71.4)	(100.0)	
Forceps delivery			1 (100.0)	
			21	
			(100.0)	
<b>Ever experienced birth complications during delivery (woman)?</b>				1.8627 (0.394)
Yes	27 (31.4)	59 (68.6)	86	
No	307 (37.6)	510 (62.4)	(100.0)	
Do not remember	0 (0.0)	1 (100.0)	817	
			(100.0)	
			1 (100.0)	

<b>Parity</b> 1-3 4-7	234 (35.7) 73 (45.3)	422 (64.3) 88 (54.7)	656 (100.0) 161 (100.0)	5.1544 ( <b>0.023</b> )*
<b>Ever lost a child?</b> Yes No	49 (39.8) 285 (36.5)	74 (60.2) 496 (63.5)	123 (100.0) 781 (100.0)	0.5106 (0.475)
<b>Number of children ever lost</b> 1 2 3	40 (39.6) 6 (37.5) 2 (50.0)	61 (60.4) 10 (62.5) 2 (50.0)	101 (100.0) 16 (100.0) (100.0)	0.210 (0.900)
<b>Total number of children wanted</b> 1-4 5+	82 (32.4) 244 (38.4)	171 (67.6) 392 (61.6)	253 (100.0) 636 (100.0)	14.1677 ( <b>&lt;0.001</b> )*
<b>Gravida (number of pregnancies)</b> 1-4 5-9	236 (33.6) 98 (48.8)	467 (66.4) 103 (51.2)	703 (100.0) 201 (100.0)	15.4730 ( <b>&lt;0.001</b> )*
<b>Age of current pregnancy(n=511)</b> 1 month 2 months 3 months 4 months 5 months 6 months 7 months 8 months 9 months Post Date	3 (37.5) 17 (47.2) 21 (38.9) 37 (52.1) 34 (40.0) 18 (29.5) 25 (30.5) 22 (29.3) 10 (32.3) 3 (37.5)	5 (62.5) 19 (52.8) 33 (61.1) 34 (47.9) 51 (60.0) 43 (70.5) 57 (69.5) 53 (70.7) 21 (67.7) 5 (62.5)	8 (100.0) 36 (100.0) 54 (100.0) 71 (100.0) 85 (100.0) 81 (100.0) 61 (100.0) 82 (100.0) 75 (100.0) 31 (100.0) 8 (100.0)	14.0982 (0.119)
<b>Ever had a childbirth complication(baby) (n=904)</b> Yes No	6 (28.6) 328 (37.1)	15 (71.4) 555 (62.9)	21 (100.0)	0.6474 (0.421)

			883 (100.0)	
<b>Start of sexual intercourse after delivery (n=904)</b>				42.8910 ( <b>&lt;0.001</b> )*
1–3 weeks after delivery	3 (33.3)	6 (66.7)	9 (100.0)	
1–3 months after delivery	192 (48.0)	208 (52.0)	400	
4–6 months after delivery	62 (27.2)	166 (72.8)	(100.0)	
7–12 months after delivery	69 (32.1)	146 (67.9)	228	
>12 months	8 (15.4)	44 (84.6)	(100.0)	
			215 (100.0)	
			52 (100.0)	
<b>Ever been counseled on FP? (n=904)</b>				0.0444 (0.833)
Yes	243 (37.2)	411 (62.8)	654	
No	91 (36.4)	159 (63.6)	(100.0)	
			250 (100.0)	
<b>Ever used FP methods? (n=904)</b>				0.444 (0.833)
Yes	243 (37.2)	411 (62.8)	654	
No	91 (36.4)	159 (63.6)	(100.0)	
			250 (100.0)	
<b>Ever used an FP method after delivery?</b>				10.4212( <b>0.001</b> )*
Yes	225 (41.1)	322 (58.9)	547	
No	109 (30.5)	248 (69.5)	(100.0)	
			357 (100.0)	
<b>Breastfed previous child? (n=904)</b>				5.8653 ( <b>0.015</b> )*
Yes	319 (36.3)	560 (63.7)	879	
No	15 (60.0)	10 (40.0)	(100.0)	
			25 (100.0)	
<b>Ever practiced exclusive breastfeeding? (n=904)</b>				31.0284 ( <b>&lt;0.001</b> )*
Yes	230 (32.3)	482 (67.7)	712	
No	104 (54.2)	88 (45.8)	(100.0)	
			192 (100.0)	
<b>Duration of breastfeeding (n=712)</b>				45.3461 ( <b>&lt;0.001</b> )*
less than 6 months	3 (7.3)	38 (92.7)	41	
6 months to one year	135 (45.5)	162 (54.5)	(100.0)	
Above one year	92 (24.6)	282 (75.4)	297	
			(100.0)	
			374 (100.0)	
<b>Ever experienced infertility issues? (n=904)</b>				10.8256( <b>0.001</b> )*
	3 (9.4)	29 (90.6)		

Yes	331 (38.0)	541 (62.0)	32 (100.0)	
No			872 (100.0)	
<b>Frequency of couples' sexual intercourse (n=904)</b>				26.5771 ( <b>&lt;0.001</b> )*
Once a week	56 (29.2)	136 (70.8)	192 (100.0)	
More than once in a week	163 (42.9)	217 (57.1)	380 (100.0)	
Once a month	15 (20.5)	58 (79.5)	73 (100.0)	
More than once in a month	93 (41.5)	131 (58.5)	224 (100.0)	
Once a year	6 (26.1)	17 (73.9)	12 (100.0)	
More than once in a year	1 (8.3)	11 (91.7)	23 (100.0)	

### 3.3 Logistic regression analysis of the relationship between independent variables and BPI

Table 3 beneath shows the relationship between the independent variables and interbirth spacing. The binary logistic regression (BLR) analysis was carried out. In the BLR analysis, the factors that were significantly associated with interbirth spacing and those from the literature were sent to the multivariable logistic regression level for further analysis. After adjusting for confounders, women whose partners had higher educational attainment were twice as likely to space their births with no education as the reference (AOR 2.07; 95%CI1.09-3.96; p=0.027). Also, women whose partners had secondary education were 1.87 times more likely to have longer birth intervals concerning women whose partners had no education (AOR 1.87; 95%CI1.1-3.17; p=0.021). We found that women who went through CS delivery were 3.28 times more likely to space their children compared to those who had SVD (AOR 3.28; 95% CI 1.02-10.62; p=0.047). It was further observed that multiparous women (five or more children) were 0.67 times more likely to have a longer BPI compared to women with less than five children (AOR 0.67; 95%CI 0.46-0.98; p=0.040). Finally, after the adjustment, it was found that the frequency of the couple's sexual intercourse was linked with BPI. The more frequent the sexual contacts, the shorter the interbirth interval.

	Interbirth interval between index child and subsequent pregnancy			
	1-23 months, n (%)		24-≥59 months, n (%)	
Independent variables	Unadjusted Odds Ratio (95% CI)	p-value	Adjusted Odds Ratio (95% CI)	p-value
<b>Location/municipal</b>				
BaM	<b>Reference</b>		<b>Reference</b>	
BoM	0.39 (0.2472-0.6068)	(<0.001)*	1.09 (0.267-0.4474)	0.902
KNM	0.55 (0.3472-0.8578)	<b>0.009</b>	1.57 (0.310-7.947)	0.586
<b>Educational level of woman's partner</b>				
No education	<b>Reference</b>		<b>Reference</b>	
Primary	0.85 (0.573-1.258)	0.414	1.39 (0.858-2.242)	0.182
JHS	0.71 (0.481-1.042)	0.080	0.99 (0.619-1.598)	0.983
Secondary	1.09 (0.715-1.651)	0.698	1.87 (1.099-3.168)	<b>0.021*</b>
Higher	1.50 (0.925-2.435)	0.100	2.07 (1.085-3.959)	<b>0.027*</b>
<b>Religious affiliation</b>				
Christian	<b>Reference</b>		<b>Reference</b>	
Islam	1.85 (1.26-2.704)	<b>0.002*</b>	1.15 (0.547-2.424)	0.710
Traditionalist	0.41 (0.156-1.064)	0.067	0.69 (0.242-1.978)	0.492
No religion	1.71 (0.449-6.494)	0.432	1.03 (0.210-5.012)	0.973
<b>Ethnic background</b>				
Frafra	<b>Reference</b>		<b>Reference</b>	
Kassena	1.20 (0.846-1.709)	0.305	0.83 (0.245-2.842)	0.771
Nankana	1.35 (0.915-1.986)	0.131	0.53 (0.149-1.891)	0.329
Kusaasi	3.24 (1.785-5.898)	< <b>0.001*</b>	1.51 (0.299-7.609)	0.618
Builsa	5.74 (1.694-19.453)	<b>0.005*</b>	3.38 (0.559-20.446)	0.185
Moshie	3.93 (1.324-11.677)	<b>0.014*</b>	2.97 (0.456-19.426)	0.255
Bisa	1.68 (0.510-5.568)	0.392	2.97 (0.456-19.426)	0.704
Akan	1.12 (0.312-4.046)	0.859	0.66 (0.075-5.746)	0.523
Others	0.62 (0.263-1.480)	0.285	0.59 (0.120-2.945)	0.086
			0.27 (0.060-1.205)	
<b>Distance to Health Facility (HF)</b>				
0-5km.	<b>Reference</b>		<b>Reference</b>	
6-10km	1.62 (1.201-2.188)	<b>0.002*</b>	0.86 (0.506-1.446)	0.559
11-14km	2.05 (1.328-3.150)	<b>0.001*</b>	0.97 (0.467-2.016)	0.936
<b>Travel time to HF</b>				
1-5min	<b>Reference</b>		<b>Reference</b>	
6-15min	0.94 (0.469-1.865)	0.850	0.75 (0.339-1.650)	0.472
16-29min	1.32 (0.648-2.706)	0.442	1.03 (0.450-2.367)	0.941
30min-1hrs	2.10 (0.996-4.409)	0.051*	1.35 (0.527-3.478)	0.529
1hr-2hrs	1.96 (0.690-5.590)	0.206	1.21 (0.310-4.762)	0.781
2hrs and above	1 (empty)		1 (empty)	
<b>Means of transport to HF</b>				
Bicycle	<b>Reference</b>		<b>Reference</b>	
Car	0.72 (0.258-2.024)	0.536	0.53 (0.151-1.833)	0.314
Foot	0.61 (0.384-0.959)	<b>0.032*</b>	0.60 (0.328-1.092)	0.094
Motorbike	0.81 (0.505-1.289)	0.370	0.66 (0.358-1.234)	0.196
Tricycle	1.32 (0.746-2.339)	0.340	0.88 (0.430-1.703)	0.724
<b>Reasons for preferred sex of the child</b>				

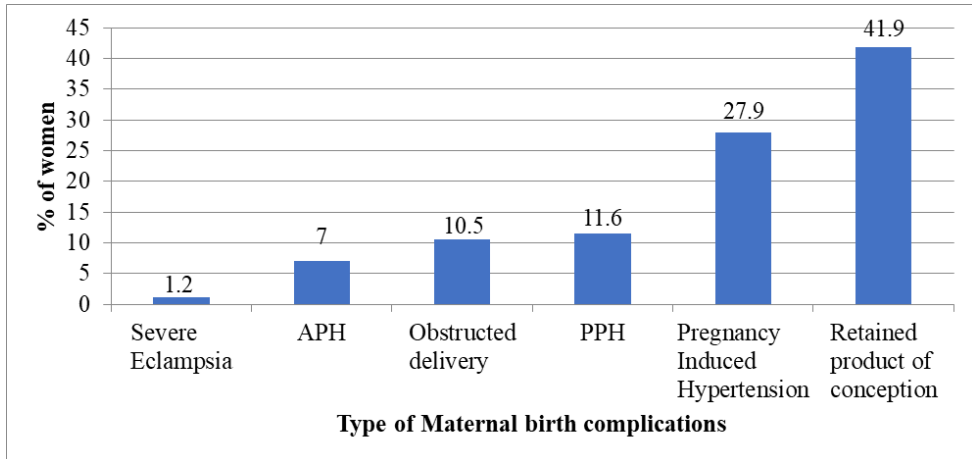
I have no preferred sex	<b>Reference</b> 1.41 (0.578-3.448)	0.449	<b>Reference</b> 0.76 (0.232-2.478)	0.647
Already had a girl (s)	1.08 (0.426-2.739)	0.872	0.64 (0.194-2.129)	0.470
Already had a boy (s)	0.49 (0.248-0.968)	<b>0.040*</b>	0.45 (0.194-1.029)	0.058
Husband's preference	0.83 (0.518-1.325)	0.431	0.86 (0.423-1.703)	0.662
Women's preferred sex.	1 (empty)		1 (empty)	
Help in household chores				
<b>Mode of delivery of the last child</b>				
SVD	<b>Reference</b> 3.76 (1.670-8.475)	<b>0.001*</b>	<b>Reference</b> 3.28 (1.015-10.616)	<b>0.047*</b>
CS	1 (empty)		1	
Vacuum extraction	1.57 (1.387-1.834)	0.357	1.18 (0.327-4.272)	0.798
Forceps delivery				
<b>Parity</b>				
1-3	<b>Reference</b> 0.67 (0.472-0.948)	<b>0.024*</b>	<b>Reference</b> 0.66 (0.433-1.009)	0.055
4-7				
<b>Total number of children wanted</b>				
1-4	<b>Reference</b> 0.57 (0.421-0.763)	<b>&lt;0.001*</b>	<b>Reference</b> 0.67 (0.462-0.982)	<b>0.040*</b>
5+				
<b>Start of sexual intercourse after delivery</b>				
1-3 weeks after delivery	<b>Reference</b> 0.54 (0.134-0.2.196)	0.391	<b>Reference</b> 0.43 (0.077-2.385)	0.334
1-3 months after delivery	1.34 (0.325-5.518)	0.686	1.02 (0.181-5.782)	0.979
4-6 months after delivery	1.06 (0.257-4.356)	0.938	1.85 (0.316-10.868)	0.494
7-12 months after delivery	2.75 (0.568-10.13.317)	0.206	2.25 (0.330-15.375)	0.407
>12 months				
<b>Frequency of couples' sexual intercourse</b>				
Once a week	<b>Reference</b> 0.55 (0.378-0.0.795)	<b>0.002*</b>	<b>Reference</b> 0.67 (0.422-1.091)	0.109
More than once in a week	1.59 (0.833-0.3.042)	0.159	0.96 (0.438-2.095)	0.914
Once a month	0.58 (0.385-0.873)	<b>0.009*</b>	0.35 (0.186-0.641)	<b>0.001*</b>
More than once in a month	1.17 (0.437-0.3.113)	0.758	0.61 (0.191-1.915)	0.393
Once a year	4.53 (0.571-035.918)	0.153	2.59 (0.270-24.885)	0.409
More than once in a year				

**Table 3.** Logistic regression analysis of the relationship between independent variables and BPI

### Figure 3: BPI between index child and subsequent pregnancy and maternal complications

As depicted in **Figure 3**, approximately, 9.5% (86/904) of the women reported experiencing complications during childbirth with the retained product of conception (41.9%), pregnancy- induced hypertension (27.9%), and bleeding after delivery (11.6%) being the most commonly reported complications.

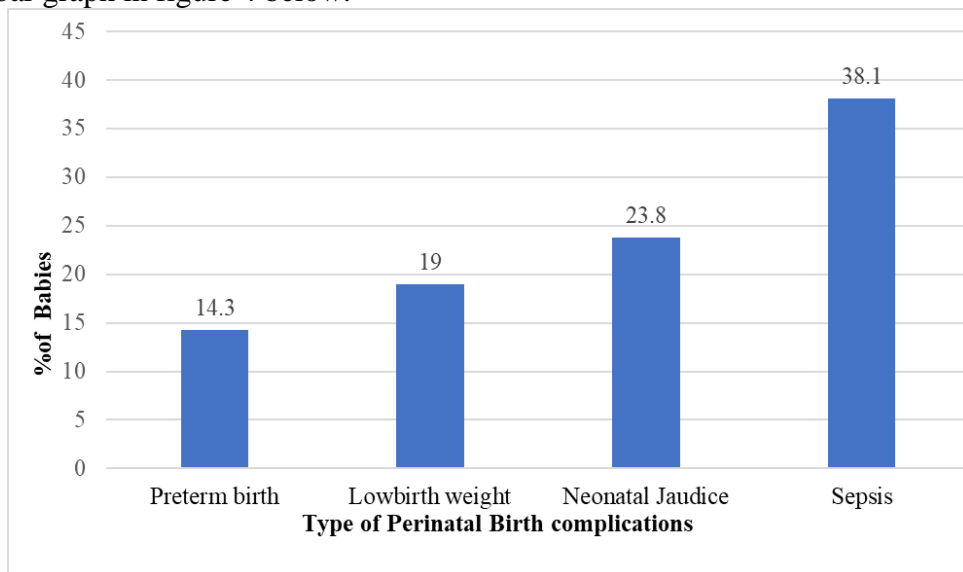




**Figure 3.** Maternal birth complications during childbirth

**Figure 4: BPI between index child and subsequent pregnancy and perinatal complications**

In terms of perinatal birth complications, 2.3% (21/904) of the respondents reported ever experiencing a complication including, neonatal sepsis (38.1%) and neonatal jaundice (23.8%); the rest are represented on the bar graph in figure 4 below.



**Figure 4.** Perinatal birth complications

**4.0 Discussion**

This study investigated the association between SBPI and perinatal and maternal outcomes among 904 women in three municipalities in the UER of Ghana. The prevalence of the SBPI (<24 months) was 36.9% among the

respondents in this study. This proportion is quite lower than a study that was conducted in Ghana (Alhassan et al., 2022), which showed a SBPI of 49.7%. The disparities could be due to variations in sample size between the two studies. Again, this finding is in line with recent studies that reveal similar but higher SBPI prevalence in Sudan (60.6%)(Damtie et al., 2021), Ethiopia (58.74%) (Belachew et al., 2023), and Uganda (52.4%) (Aleni et al., 2020). A much lower prevalence was found in studies conducted in Iran (28.8%) and rural Bangladesh (24.6%).

The results also revealed that BPI was significantly associated with some adverse maternal and perinatal consequences. However, there was not much difference in terms of complications experienced between women with an SBPI (<24 months) and the optimal interval (24–59 months). Eight percent (8.1%) of the women who had an SBPI (<24 months) reportedly experienced birth complications, while 10.4% of them within 24–59 months reported birth complications. The major birth complications encountered by women during childbirth were retained products of conception (41.9%), pregnancy-induced hypertension (27.9%), postpartum hemorrhage (11.6%), and obstructed labor (10.5%). Similarly, sepsis (38.1%), neonatal jaundice (23.8%), low birth weight (19%), preterm birth (14.3%), and early neonatal death were the reported perinatal complications in this study. Previous studies have shown resembling maternal and perinatal complications. For instance, a systematic review study (Hutcheon et al., 2019) in 2019 indicated that inadequately spaced births result in birth complications. A recent meta-analysis research revealed that women with SBPI had nearly 1.5 times the odds of developing either a preterm or low-birthweight infant (David et al., 2017). A United States study (Byamukama et al., 2022) showed that SBPI was associated with premature rupture of membranes. Another systematic review study in China (Xu et al., 2022) found that short birth spacing was associated with an increased risk of uterine rupture, placenta previa, and placental abruption. A prior study (Rao et al., 2022) conducted in 2022 indicated low birth weight (OR 3.5, 95% CI:1.2–10.3,  $P < 0.05$ ), preterm birth (OR 5.5, 95% CI:1.5–21.3,  $P < 0.05$ ), and postpartum hemorrhage (OR 19.6, 95% CI:4.4–90.9,  $P < 0.05$ ), were significantly higher in respondents with SBPI than in those with an OBPI (24–59 months).

The educational level of respondents' partner (AOR 2.07; 95%CI1.09-3.96;  $p=0.027$ ), mode of delivery of the last child (AOR 3.28; 95% CI 1.02-10.62;  $p=0.047$ ), parity of five or more children (AOR 0.67; 95% CI 0.46-0.98;  $p=0.040$ ) and frequency of sexual intimacy were strongly associated with BPI after adjusting for confounders. Women whose partners had secondary education were 1.87 times more likely to space their births compared to those with partners without education. This result confirms studies that were conducted in Ethiopia (Hailu & Gulte, 2016), and Korea (Pimentel et al.,

2020). However, unlike our study, these two studies and many more found associations between women's education with BPI instead. A survey among college students postulated that couples with lower or no education had a lesser chance of spacing their births than educated ones (Shen, 2019). This could be because educated females are exposed to available health information and are more likely to utilize birth control methods to lengthen their birth intervals. Similarly, a recent study opined that mothers with low education levels are at increased risk of SBPI (Pimentel et al., 2020).

We found that women who went through CS during delivery were 3.28 times more likely to space their children compared to those who had SVD. This finding conforms with a study (Byamukama et al., 2022), which stated that long birth intervals were significantly associated with CS (0.69; 0.56–0.82), which have a greater risk of premature rupture of membranes (PROM) (1.57; 1.20–2.06) and low birth weight (1.46; 1.03–2.06). This revelation could be linked to the fact that when women undergo an operation during childbirth, they need more time to recover before initiating the next pregnancy, especially in the case of birth complications (Huber et al., 2020).

In terms of parity, this study found a significant positive impact on the risk of having a subsequent birth. Akin to these findings, a study in Manipur and Babol, Northern Iran, indicated that birth interval increases with increasing parity (Nausheen et al., 2021). This sought to explain that women with fewer children tend to have short intervals while those with more children have longer intervals. The association between the number of children and women whose children die immediately after birth has shorter intervals. For example, a study in Poland by Merklinger-Gruchala et al. revealed that the mother of a deceased baby will again try to become pregnant more quickly, hence her BPI becomes very short.

It was further discovered in this study that couples who had more frequent sexual contact had a high probability of having a shorter interbirth spacing compared to couples who with less frequent intimacy. It is assumed that when couples engage in frequent sexual intimacy, could easily result in pregnancy, hence a shorter BPI. This is valid for couples who live together in the same household. The majority of respondents in this study live in the same households with their partners. This further explains that couples using modern contraceptives have a higher percentage of widening their birth interval than those who are not practicing any form of FP. In this study, contraceptive usage was high. The majority of respondents (72.3%) ever used a modern contraceptive to prevent pregnancy. This finding is in line with a study (Yussuf et al., 2020; Zimmerman et al., 2019) in Tanzania and Ethiopia respectively.

The study result should be interpreted carefully since it is still unclear whether the link between SBPI and adverse health outcomes is causal or confounded by differences in health characteristics. Further research is therefore needed to determine if the association between SBPI and adverse health outcomes is due to a direct cause-and-effect relationship or if it is influenced by other factors such as lifestyle choices or access to healthcare. Understanding these potential confounding variables will provide a more comprehensive understanding of the relationship between SBPI and adverse health outcomes.

#### ***4.1 Strengths and Limitations of the Study***

The sample size was large enough for this study hence the results are more accurate and representative of the population. Again, quality control measures were adhered to such as adequate training for research enumerators before data collection, and the use of electronic data collection tools to ensure accurate data capture and to avoid data entry errors. The study had some limitations. There was a dropout rate of respondents from the BaM study site, due to an outbreak of a tribal conflict during the period of data collection in the area. This prevented the enumerator from gaining access to the study area. However, the dropout rate was marginal and did not affect the sample size since there was a predetermined 10% dropout rate added to the sample prior to data collection. Furthermore, the study did not conform strictly to the inclusion criteria (women with two successive live births before data collection), as a few uniparous women were unintentionally interviewed in the study.

#### **Conclusion**

The study found an association between SBPI and the perinatal and maternal health outcomes in the study area. Of the 904 respondents, approximately 36.9% had an SBPI which was associated with poor maternal and perinatal outcomes, viz; retained products of conception, pregnancy-induced hypertension, postpartum hemorrhage, obstructed labor, sepsis, neonatal jaundice, low birth weight, preterm birth, and early neonatal death. Parity, educational status, mode of delivery, and frequency of sexual intimacy were associated with SBPI in this survey. The contraceptive prevalence rate among respondents was high, about, 72.3% of the respondents verbalized having ever used an FP method to avoid pregnancy, while 60.5% of the respondents reported having utilized a modern contraceptive method shortly after delivery. Despite the improved contraceptive utilization among respondents, the number with short interbirth intervals was high.

The evidence of this study prongs to critical periods at which women should avoid getting pregnant to preempt poor prenatal and maternal outcomes

associated with inappropriate birth intervals. The study recommends health professionals, especially those in direct contact with family, maternal, reproductive, and child health, identify the challenges facing contraceptive uptake, particularly among multiparous women, and intensify birth spacing campaigns to improve optimal birth spacing and to support women's decision-making.

Maternal and newborn mortalities in Ghana and SSA remain radically high, while contraceptive uptake has dwindled. Hence, this study's findings provide empirical evidence for policy interventions to foster optimal birth spacing to ensure a reduction in the high fertility, maternal, and child mortality rates.

**Conflict of Interest:** The authors declare no conflict of interest in the conduct of this study.

**Data Availability:** All the data is incorporated within the paper's content. No data has been excluded.

**Funding Statement:** The authors of this study did not receive any source of funding for this research.

**Declaration for Human Participants:** This study has been approved by: the Navrongo Health Research Centre Institutional Review Board in Ghana with the ethical identification number NHRCIRB448, and the principles of the Helsinki Declaration were followed.

## References:

1. Ajayi, A. I., & Somefun, O. D. (2020). Patterns and determinants of short and long birth intervals among women in selected sub-Saharan African countries. *Medicine*, *99*(19), e20118. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000020118>
2. Alhassan, A. R., Anyinzaam-Adolipore, J. N., & Abdulai, K. (2022). Short birth interval in Ghana: Maternal socioeconomic predictors and child survival. *Population Medicine*, *4*(January), 1–8. <https://doi.org/10.18332/POPMED/145914>
3. Ayane, G. B., Desta, K. W., Demissie, B. W., Assefa, N. A., & Woldemariam, E. B. (2019). Suboptimal child spacing practice and its associated factors among women of child bearing age in Serbo town, JIMMA zone, Southwest Ethiopia. *Contraception and Reproductive Medicine*, *4*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40834-019-0085-1>
4. Bauserman, M., Nowak, K., Nolen, T. L., Patterson, J., Lokangaka, A., Tshetu, A., Patel, A. B., Hibberd, P. L., Garces, A. L., Figueroa, L.,

- Krebs, N. F., Esamai, F., Liechty, E. A., Carlo, W. A., Chomba, E., Mwenechanya, M., Goudar, S. S., Ramadurg, U., Derman, R. J., ... Bose, C. (2020). The relationship between birth intervals and adverse maternal and neonatal outcomes in six low and lower-middle income countries. *Reproductive Health, 17*(Suppl 2), 1–10.  
<https://doi.org/10.1186/s12978-020-01008-4>
5. Belachew, T. B., Asmamaw, D. B., & Negash, W. D. (2023). Short birth interval and its predictors among reproductive age women in high fertility countries in sub-Saharan Africa: a multilevel analysis of recent Demographic and Health Surveys. *BMC Pregnancy and Childbirth, 23*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12884-023-05403-0>
  6. Byamukama, O., Migisha, R., Kalyebara, P. K., Tibaijuka, L., Lugobe, H. M., Ngonzi, J., Ahabwe, O. M., Garcia, K. R. M., Mugenyi, G. R., Boatin, A. A., Muhumuza, J., Ssalongo, W. G. M., Kayondo, M., & Kanyesigye, H. (2022). Short interbirth interval and associated factors among women with antecedent cesarean deliveries at a tertiary hospital, Southwestern Uganda. *BMC Pregnancy and Childbirth, 22*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12884-022-04611-4>
  7. Conde-Agudelo, A., Rosas-Bermudez, A., & Norton, M. H. (2016). Birth spacing and risk of autism and other neurodevelopmental disabilities: A systematic review. *Pediatrics, 137*(5).  
<https://doi.org/10.1542/peds.2015-3482>
  8. Damtie, Y., Kefale, B., Yalew, M., Arefaynie, M., & Adane, B. (2021). Short birth spacing and its association with maternal educational status, contraceptive use, and duration of breastfeeding in Ethiopia. A systematic review and metaanalysis. *PLoS ONE, 16*(2 February), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246348>
  9. David, H. C., Amani, M. N.-J., & Nancy, E. A. (2017). 乳鼠心肌提取 HHS Public Access. *Physiology & Behavior, 176*(3), 139–148.  
<https://doi.org/10.1038/s41372-019-0402-1>.Short
  10. Dehesh, T., Salarpour, E., Malekmohammadi, N., & Kermani, S. A. (2020). Associated factors of pregnancy spacing among women of reproductive age Group in South of Iran: Cross-sectional study. *BMC Pregnancy and Childbirth, 20*(1), 1–7.  
<https://doi.org/10.1186/s12884-020-03250-x>
  11. Guure, C., Maya, E. T., Dery, S., Da-Costa Vrom, B., Alotaibi, R. M., Rezk, H. R., & Yawson, A. (2019). Factors influencing unmet need for family planning among Ghanaian married/union women: A multinomial mixed effects logistic regression modelling approach. *Archives of Public Health, 77*(1), 1–12.  
<https://doi.org/10.1186/s13690-019-0340-6>
  12. Hailu, D., & Gulte, T. (2016). Determinants of Short Interbirth Interval

- among Reproductive Age Mothers in Arba Minch District, Ethiopia. *International Journal of Reproductive Medicine*, 2016, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2016/6072437>
13. Huber, L. R. B., Smith, K., Sha, W., & Vick, T. (2020). *Interbirth Interval and Pregnancy Complications and Outcomes : Findings from the Pregnancy Risk Assessment Monitoring System*. 1–10. <https://doi.org/10.1111/jmwh.12745>
  14. Hutcheon, J. A., Nelson, H. D., Stidd, R., Moskosky, S., & Ahrens, K. A. (2019). Short interpregnancy intervals and adverse maternal outcomes in high-resource settings: An updated systematic review. *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, 33(1), O48–O59. <https://doi.org/10.1111/ppe.12518>
  15. Mehra, R., Keene, D. E., Kershaw, T. S., Ickovics, J. R., & Warren, J. L. (2019). Racial and ethnic disparities in adverse birth outcomes: Differences by racial residential segregation. *SSM - Population Health*, 8(January), 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2019.100417>
  16. Merdad, L., & Ali, M. M. (2018). *Timing of maternal death : Levels , trends , and ecological correlates using sibling data from 34 sub-Saharan African countries*. 5, 1–13.
  17. Merklinger-Gruchala, A., Jasienska, G., & Kapiszewska, M. (2015). Short interpregnancy interval and low birth weight: A role of parity. *American Journal of Human Biology*, 27(5), 660–666. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22708>
  18. Molitoris, J. (2018). Heterogeneous Effects of Birth Spacing on Neonatal Mortality Risks in Bangladesh. *Studies in Family Planning*, 49(1), 3–21. <https://doi.org/10.1111/sifp.12048>
  19. Nausheen, S., Bhura, M., Hackett, K., Hussain, I., Shaikh, Z., Rizvi, A., Ansari, U., Canning, D., Shah, I., & Soofi, S. (2021). Determinants of short birth intervals among married women: A cross-sectional study in Karachi, Pakistan. *BMJ Open*, 11(4), 1–10. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-043786>
  20. Pimentel, J., Ansari, U., Omer, K., Gidado, Y., Baba, M. C., Andersson, N., & Cockcroft, A. (2020). Factors associated with short birth interval in low- And middle-income countries: A systematic review. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 20(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12884-020-2852-z>
  21. Rao, J., Fan, D., Ma, H., Lin, D., Zhang, H., Zhou, Z., Li, P., Chen, G., Lu, D., Liu, Y., Wu, Z., He, J., Liu, X., Peng, B. J., Guo, X., & Liu, Z. (2022). Is there an optimal inter-delivery interval in women who underwent trial of labor after cesarean delivery (TOLAC)? *Reproductive Health*, 19(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12978-021-01319-0>



22. Schummers, L., Hutcheon, J. A., Hernandez-Diaz, S., Williams, P. L., Hacker, M. R., Vanderweele, T. J., & Norman, W. V. (2018). Association of Short Interpregnancy Interval with Pregnancy Outcomes According to Maternal Age. *JAMA Internal Medicine*, *178*(12), 1661–1670.  
<https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2018.4696>
23. Shen, D. (2019). *Munich Personal RePEc Archive Better Educated , Fewer Divorces : The Impact of College Education Quality on Marriage Outcomes Better Educated , Fewer Divorces : The Impact of College Education Quality on Marriage Outcomes. 94198.*
24. Stover, J., & Winfrey, W. (2017). The effects of family planning and other factors on fertility, abortion, miscarriage, and stillbirths in the Spectrum model. *BMC Public Health*, *17*(Suppl 4).  
<https://doi.org/10.1186/s12889-017-4740-7>
25. Survey, M. H., & Indicators, K. (2012). Key Indicators. *Timing Solutions for Swing Traders*, 91–111.  
<https://doi.org/10.1002/9781119199045.ch6>
26. Tesema, G. A., Worku, M. G., & Teshale, A. B. (2021). Duration of birth interval and its predictors among reproductive-age women in Ethiopia: Gompertz gamma shared frailty modeling. *PLoS ONE*, *16*(2 February 2021), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247091>
27. Tessema, Z. T., Yazachew, L., Tesema, G. A., & Teshale, A. B. (2020). Determinants of postnatal care utilization in sub-Saharan Africa: a meta and multilevel analysis of data from 36 sub-Saharan countries. *Italian Journal of Pediatrics*, *46*(1), 1–11.  
<https://doi.org/10.1186/s13052-020-00944-y>
28. Xu, T., Miao, H., Chen, Y., Luo, L., Guo, P., & Zhu, Y. (2022). Association of Interpregnancy Interval With Adverse Birth Outcomes. *JAMA Network Open*, *5*(6), E2216658.  
<https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.16658>
29. Yussuf, M. H., Elewonibi, B. R., Rwabilimbo, M. M., Mboya, I. B., & Mahande, M. J. (2020). Trends and predictors of changes in modern contraceptive use among women aged 15–49 years in Tanzania from 2004–2016: Evidence from Tanzania Demographic and Health Surveys. *PLoS ONE*, *15*(6 June), 1–14.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234980>
30. Zimmerman, L. A., Yi, Y., Yihdego, M., Abrha, S., Shiferaw, S., Seme, A., & Ahmed, S. (2019). Effect of integrating maternal health services and family planning services on postpartum family planning behavior in Ethiopia: Results from a longitudinal survey. *BMC Public Health*, *19*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7703-3>



## Caractérisation de la Dynamique des Peuplements Ligneux du Centre Nationale de Recherches Agronomiques de Bambey (Diourbel/Sénégal)

***Issa Diakite***

Ingénieur des Travaux des Eaux et Forêts  
Direction des Eaux et Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols/Sénégal

***Pape Ibrahima Djighaly***

Post-doc, PhD, Microbiologie/Agrophysiologie  
Université Assane Seck de Ziguinchor/Sénégal

***Amsatou Thiam***

Enseignant chercheur, PhD, Foresterie  
Université Alioune Diop de Bambey/ISFAR/Sénégal

***Dioumacor Fall***

Maitre de recherches, PhD, Microbiologie/ physiologie des plantes  
Institut Sénégalais de Recherches Agricoles/Sénégal

***Nathalie Diagne***

Maitre de recherches, PhD, Microbiologie  
Institut Sénégalais de Recherches Agricoles/Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p177](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p177)

Submitted: 10 January 2024  
Accepted: 23 February 2024  
Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)  
Under Creative Commons CC-BY 4.0  
OPEN ACCESS

*Cite As:*

Diakite I., Djighaly P.I., Thiam A., Fall D. & Diagne N. (2024). *Caractérisation de la Dynamique des Peuplements Ligneux du Centre Nationale de Recherches Agronomiques de Bambey (Diourbel/Sénégal)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 177.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p177>

### Résumé

Le Sénégal, à l'instar des autres pays sahéliens, est confronté à la dégradation de ses espaces forestiers due à un ensemble de facteurs tels que : les défrichements agricoles, les feux tardifs, l'exploitation anarchique, etc. Ce phénomène est plus accentué dans la région de Diourbel où l'un des très rares poumons verts se trouve dans le site du Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey (CNRA). Cette étude avait comme objectifs de caractériser et d'estimer le potentiel des ligneux dans cette formation forestière dans le but de donner formuler des recommandations. Un inventaire

systematique sur 103 placettes de 50 X 50 m a été réalisé en 2018. Les paramètres recherchés ont été : la richesse spécifique, la densité du peuplement, la surface terrière, le volume de bois, le couvert aérien, la régénération, la structure horizontale et verticale, les observations sur l'émondage, le vieillissement, etc. Ainsi, 28 espèces appartenants à 13 familles ont été recensées. Les familles des Mimosaceae (28,57%) et des Combretaceae (17,86%) dominent la végétation. Pour les individus adultes, la densité est de 98 individus/ha, dominée par *Acacia seyal*, tandis que la régénération s'élève à 581 plantules/ha, dominée par *Combretum aculeatum*. La surface terrière du peuplement est estimée à 2,12 m<sup>2</sup>/ha, le couvert aérien (3223,08 m<sup>2</sup>/ha) et le volume (13,83 m<sup>3</sup>/ha). La distribution du peuplement par classe de diamètre et de hauteur révèle la prédominance de la strate arbustive. Les observations ont montré la présence de pratiques anthropiques qui pourraient contribuer à la régression de la dynamique du peuplement par la diminution du couvert végétal et la disparition de certaines espèces (*Deterium microcarpum*, *Pterocarpus erinaceus* et *Sterculia setigera*) constatée dans cette formation. Ces résultats montrent l'urgence de mettre en place une stratégie de gestion en étroite collaboration avec les communautés pour la conservation et la restauration du couvert végétale de cette formation boisée de 149 ha.

---

**Mots-clés :** Peuplement, ligneux, flore, distribution, Formation boisée, Sénégal

---

## **Characterisation of the Dynamics of Woody Stands at the Bambey National Centre for Agronomic Research (Diourbel/Senegal)**

*Issa Diakite*

Ingénieur des Travaux des Eaux et Forêts  
Direction des Eaux et Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols/Sénégal

*Pape Ibrahima Djighaly*

Post-doc, PhD, Microbiologie/Agrophysiologie  
Université Assane Seck de Ziguinchor/Sénégal

*Amsatou Thiam*

Enseignant chercheur, PhD, Foresterie  
Université Alioune Diop de Bambey/ISFAR/Sénégal

*Dioumacor Fall*

Maitre de recherches, PhD, Microbiologie/ physiologie des plantes  
Institut Sénégalais de Recherches Agricoles/Sénégal

*Nathalie Diagne*

Maitre de recherches, PhD, Microbiologie  
Institut Sénégalais de Recherches Agricoles/Sénégal

---

### **Abstract**

Senegal, like other Sahelian countries, is faced with the degradation of its forest areas due to a combination of factors such as agricultural clearing, late fires, uncontrolled logging, etc. This phenomenon is more pronounced in the Diourbel region, where one of the very few green lungs is located on the site of the Centre National de Recherches Agronomiques Bambey (CNRA). This phenomenon is more pronounced in the Diourbel region, where one of the very few green lungs can be found on the site of the “Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey” (CNRA). The objectives of this study were to characterize and estimate the potential of woody species in this forest formation, to formulate recommendations. A systematic inventory of 103 50 x 50 m plots was carried out in 2018. The parameters investigated were: species richness, stand density, basal area, wood volume, aerial cover, regeneration, horizontal and vertical structure, observations on pruning, aging, etc. A total of 28 species belonging to 13 families were inventoried. Among these families, Mimosaceae (28,57%) and Combretaceae (17,86%) dominate the vegetation. The density of adult trees is 98 individuals/ha, dominated by *Acacia seyal*, while regeneration amounts to 581 seedlings/ha, dominated by *Combretum aculeatum*. The basal area of the stand is estimated at 2.12 m<sup>2</sup>/ha, the aerial cover (3223.08 m<sup>2</sup>/ha), and the volume (13.83 m<sup>3</sup>/ha). The

distribution of the stand-by diameter and height class reveals the predominance of the shrub layer. Observations revealed the presence of human practices that could be contributing to the decline in stand dynamics through the reduction in plant cover and the disappearance of certain species (*Deterium microcarpum*, *Pterocarpus erinaceus*, and *Sterculia setigera*) observed in this formation. These results show the urgent need to implement a management strategy in close collaboration with the communities to conserve and restore the plant cover of this 149 ha woodland formation.

---

**Keywords:** Stand, ligneous, flora, distribution, woodland, Senegal

### Introduction

Les forêts jouent un rôle multiforme considérable dans la survie des populations et la dynamique des paysages (Solly *et al.*, 2020). Elles contribuent, en effet, au maintien des processus écologiques et constituent une source substantielle de ressources alimentaires, énergétiques et pharmacologiques pour de nombreuses populations (FAO, 2018). Sous l'effet du changement global (Cordonnier *et al.*, 2023) et des activités humaines, la plupart des paysages de par le monde sont modifiés ou transformés pour répondre aux besoins socio-économiques des populations (Mballo *et al.*, 2021). Ce phénomène conduit à la fragmentation et à la perte d'habitats de la faune et de la flore.

L'état des forêts de notre planète devient de plus en plus inquiétant selon les résultats des évaluations mondiales réalisées par diverses institutions telles que : l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), le Programme International Géosphère-Biosphère (PIGB), le Centre conjoint de Recherche de la Commission Européenne (JRC) et le Centre Mondial de Surveillance de la Conservation (WCMC) entre 1990 et 2015. Ces évaluations ont montré que la superficie des forêts est passée de 4,128 milliards d'hectares à 3,999 milliards d'hectares entre 1990 et 2015 ; et ceci sous les effets combinés de la dégradation, la fragmentation, le déboisement, l'empiétement des populations, entre autres.

La situation est beaucoup plus alarmante dans les pays en développement (Amérique Latine, Afrique et Asie) et notamment en Afrique où 2,8 millions d'hectares de forêts ont disparu en cinq ans (2010 à 2015), sous les effets néfastes de la déforestation (FAO, 2015). Pourtant, pour lutter contre la disparition de leurs forêts et assurer une bonne gestion, la majorité des états africains avait placé leurs ressources forestières sous juridiction, depuis plusieurs décennies (FAO, 2015).

Ainsi la déforestation rapide dans la Sous-région constitue un problème préoccupant par l'ampleur de la dégradation amorcée depuis les années 1970. Dans la région du Sahel, le bois et le charbon de bois constituent

les principales causes de la déforestation (CEDEAO, 2009). Ces derniers couvrent respectivement environ 60,93 et 96% des besoins en énergie au Sénégal, au Mali et au Burkina-Faso.

Au Sénégal, les forêts couvrent une superficie de 8 068 160 ha (DEFCCS, 2022). Elles subissent plusieurs agressions d'ordre physiques et anthropiques entraînant une perte moyenne annuelle de 40 000 ha entre 2010 et 2015 (FAO, 2015). Plusieurs facteurs expliquent la persistance de ces phénomènes de dégradation continue des formations forestières malgré les efforts consentis en termes de reboisement et de protection des forêts. Il s'agit entre autres, des effets adverses des changements climatiques, de la pression exercée par l'exploitation forestière pour l'approvisionnement en bois-énergie des agglomérations urbaines, y compris l'exploitation clandestine et la persistance de certaines pratiques néfastes (élagage, coupe abusive, feux de brousse, etc.).

Le recours aux ressources forestières se traduit par une forte pression qui les expose à des risques de dégradations irréversibles. La destruction rapide des forêts (Kassoum, 2018) est d'autant plus dramatique que leur importance n'est pas reflétée par les indicateurs macro-économiques.

La diminution du potentiel ligneux est quant à elle, estimée à 18 millions de m<sup>3</sup> entre 1980 et 1990 soit une moyenne annuelle de 1,8 millions de m<sup>3</sup>/an (CSE, 2005). Selon les indications de l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherche Agricole), le rythme de déboisement annuel pour l'utilisation du bois combustible est deux fois plus élevé que celui de la reforestation même dans les régions de Tambacounda, Kolda et Ziguinchor (MEDD, 2017). Et ce, malgré les efforts de reboisement qui se font au niveau national mais avec des taux de succès souvent très faible.

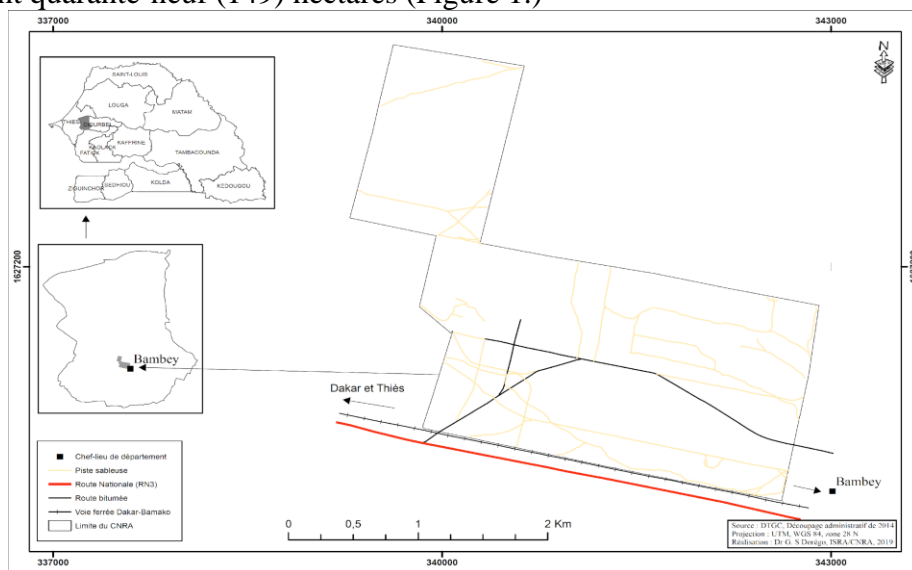
La formation boisée du CNRA de Bambey fait partie des rares poumons verts de la région de Diourbel. Cependant, ce bois n'échappe pas à cette dégradation. En effet, cette dégradation du potentiel ligneux a complètement transformé le faciès de ce bois. Ainsi, il s'avère nécessaire de connaître l'état actuel du peuplement et de formuler des recommandations en termes de lutte contre le phénomène d'anthropisation et aussi en termes de repeuplement. C'est dans ce contexte que notre étude s'intègre avec comme objectif général, de contribuer à une meilleure connaissance des peuplements forestiers du Sénégal, elle vise à estimer l'état actuel du potentiel ligneux.

## **Matériel et Méthodes**

### **Présentation du site d'étude**

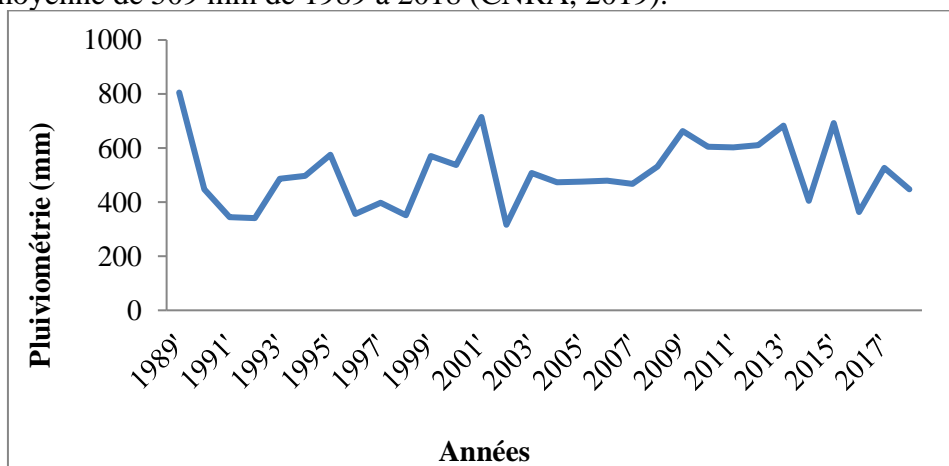
L'étude a été menée dans la formation boisée du CNRA de Bambey situé au centre nord du bassin arachidier entre 14°82 de latitude Nord et 16°28 de longitude ouest. Cette formation boisée appelée « Bois de Boulogne » est localisée dans la partie Sud-Est du dudit Centre avec une diversité ligneuse

assez importante, des points d'eaux temporaires, des pare-feux et des pistes de circulation. Elle est répartie en six blocs et couvre environ une superficie de cent quarante-neuf (149) hectares (Figure 1.)



**Figure 1.** Carte de localisation du CNRA de Bamby (Laboratoire d'Agro-bioclimatologie du CNRA, 2019)

Le climat de notre zone d'étude est de type sahélo-soudanien caractérisé par l'alternance entre deux saisons. Une saison sèche qui dure environ 9 mois (octobre à juin) et une saison pluvieuse qui s'installe d'habitude de juillet à mi-octobre. La pluviométrie (Figure 2) varie entre un minimum de 316 mm de pluies et un maximum de presque 805 mm avec une moyenne de 509 mm de 1989 à 2018 (CNRA, 2019).



**Figure 2.** Evolution de la pluviométrie au cours des trente dernières années (Laboratoire d'Agro-bioclimatologie du CNRA de Bamby, 2019)

## **Matériel**

Le matériel utilisé dans le cadre de cette étude est constitué des fiches d'inventaire pour la collecte des données ; des fiches des coordonnées géographiques des placettes ; d'un GPS (Global Positionning System) type garmin pour naviguer et repérer les coordonnées des placettes ; des jalons pour la délimitation des placettes ; un compas forestier pour mesurer le diamètre des arbres ; Un ruban-mètre pour la délimitation, la mesure des circonférences (cas des arbres qui ne peuvent pas être mesurés par le compas forestier) et la mesure des diamètres des houppiers ; un Blum-leiss pour mesurer les hauteurs des arbres.

## **Méthodes**

### **Cartographie du peuplement ligneux**

A l'aide du logiciel Arc Gis, la carte d'occupation des sols dans la formation boisée a été élaborée, en faisant ressortir la superficie, les zones boisées, les zones dénudées, les points d'eaux temporaires, les pare-feu, les pistes de circulation et la limite du bois. Il est à noter qu'avant de démarrer les activités de terrain, une prospection a été effectuée à l'avance.

### **Inventaire des ligneux**

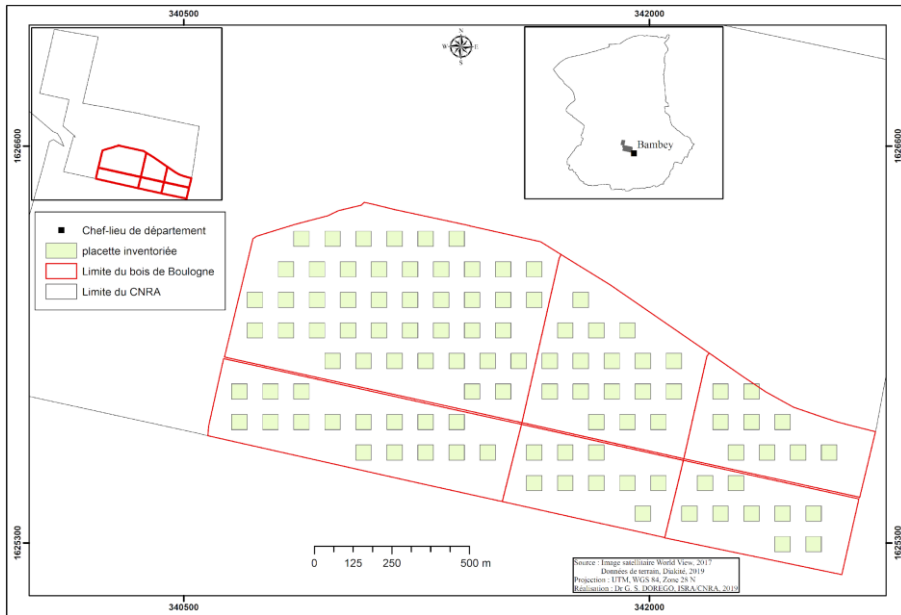
L'inventaire des ligneux s'est déroulé durant la période de Septembre-Octobre 2018, période à laquelle la végétation ligneuse a atteint sa pleine croissance au sahel. Le but recherché est de ressortir les caractéristiques des peuplements ligneux . En outre, il s'agit aussi d'une part de calculer la densité, la surface terrière, le couvert aérien, le volume, l'indice de stabilité et les indices de diversité de Shannon-Wiener ( $H'$ ) et d'équitabilité de Piélou ( $J'$ ). En plus de cela, des observations ont été faites sur l'émondage, les morts sur pied, les souches vivantes et la phénologie pour évaluer le niveau d'anthropisation du peuplement

### **Plan d'échantillonnage**

Il s'agit d'un plan d'échantillonnage systématique dont les placettes sont disposées à intervalles réguliers de 50 mètres de part et d'autre. Le choix de cet échantillonnage s'explique par le fait qu'il nous permet de parcourir le peuplement transect par transect en ayant le maximum d'informations. Au total 103 placettes carrées de 2 500 m<sup>2</sup> (50 m x 50 m) ont été installées pour les inventaires. Ce qui donne un taux sondage de 17, 28 % (Figure 3).

Dans chaque placette un inventaire exhaustif a été fait, suivi des mensurations suivantes : diamètre des troncs à hauteur de poitrine (DHP=1,30 m) au seuil d'inventaire de 5 cm, les hauteurs des arbres, les diamètres des houppiers suivant deux directions est-ouest et nord-sud. En plus de cela, des observations ont été faites sur la phénologie (la feuillaison, la floraison et la

fructification) mais aussi sur l'émondage, le vieillissement, les morts sur pied et les souches vivantes.



**Figure 3.** Carte de localisation des placettes inventoriées (Laboratoire d'Agro-bioclimatologie du CNRA, 2019)

### Etude de la dynamique d'évolution de la richesse spécifique de la formation boisée du CNRA

Celle-ci consiste à faire une comparaison entre les résultats d'une étude antérieure menée dans cette formation en 2000 à nos résultats pour voir l'évolution de la richesse spécifique entre 2000 et 2018.

### Traitement des données

Les données collectées ont été saisies puis traitées avec le tableur Excel et le logiciel Word. Le calcul et l'interprétation des paramètres dendrométriques ont été décrits dans le (Tableau 1).

**Tableau 1.** Description des paramètres dendrométriques calculés

Paramètre (unité)	Formule	Interprétation
la densité	$D = \frac{n}{s}$ (Bagnian et al., 2021)	La densité est le nombre d'individus ( <b>n</b> ) par unité de surface ( <b>s</b> ), n'étant le nombre total d'individus et s surface totale par hectare
la surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	$G = \frac{\pi d^2}{4}$ (Roberts-Pichette et Gillespie, 2002)	On appelle surface terrière d'un arbre, la surface de section transversale de cet arbre à la hauteur de 1,30m du sol. Lorsqu'il s'agit d'une mesure de diamètre soit à 1,50 m du sol pour la circonférence.



		Avec G : surface terrière et d : diamètre à 1,30 m
<b>le volume (m<sup>3</sup>)</b>	$V = \frac{\pi}{4}d^2h$ (Freytet et <i>al.</i> , 2020)	C'est un critère très important pour caractériser un peuplement. Avec V : volume de l'arbre ; d : diamètre à 1,30 m et h : hauteur de l'arbre
<b>le couvert aérien (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>)</b>	$Ca = \sum \frac{\pi \left(\frac{Dmh}{2}\right)^2}{S}$ (Rondeux, 1993)	Il constitue la surface de la proportion projetée au sol de la couronne du couvert végétal. Avec Ca : couvert aérien ; Dmh : diamètre moyen houppier et S : surface de l'échantillon

- **la richesse floristique spécifique**

La richesse floristique spécifique d'un milieu est le nombre d'espèces que compte le milieu (Some, 2011 ; Badji *et al.*, 2015 ).

- **la régénération**

Sont considérés comme régénération tous les individus dont les diamètres à hauteur de poitrine sont inférieurs à 5 cm. L'effectif total du peuplement regroupe aussi bien les jeunes plants que les plants adultes. Le taux de régénération d'une espèce est le rapport en pourcentage entre l'effectif des jeunes plants d'une espèce et l'effectif total des jeunes plants (Badji *et al.*, 2015).

- **la répartition des individus par espèces**

Il s'agit de faire une répartition des individus adultes par espèce afin d'identifier les espèces les mieux représentées et celles qui sont faiblement représentées dans le peuplement.

- **Calculs d'indices**

- **Indice de stabilité**

C'est le rapport entre la hauteur moyenne et le diamètre moyen, il permet de voir si le peuplement est stable ou pas, il doit être inférieur ou égal à 80 (Fall, 2017). Il est noté :

$$Is = \frac{h}{d}$$

Avec h= la hauteur moyenne et d= le diamètre moyen

- **Indice de diversité de Shannon Wiener**

L'indice de Shannon encore appelé indice de Shannon-Weaver (H') permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chaque espèce (Grall et Coic, 2005). Ses valeurs sont maximales lorsque toutes les espèces sont d'égale abondance. Il s'approche de 0 lorsqu'une seule espèce domine (Lobry *et al.*, 2003). Il est donné par la formule suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N}$$

Avec  $H'$  = Indice de diversité de Shannon ;  $N_i$  = l'effectif de l'espèce  $i$  ;  $N$  = effectif total des espèces ;  $\log_2$  = logarithme base 2 et  $S$  étant le nombre d'espèces de l'unité considérée.

#### - **Indice d'équitabilité de Pielou**

Il correspond au rapport de l'indice de Shannon ( $H'$ ) sur la valeur de l'équitabilité maximale ( $H' \text{ max}$ ) (Frontier et Pichod-Viale, 1991). Il varie de 0 à 1. Il tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs des individus est concentrée sur une espèce, et vers 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance (Piélu, 1969). Il permet de savoir si les individus sont équitablement répartis au sein du peuplement. Il correspond à la diversité mesurée quand toutes les espèces sont présentes :

$$E = \frac{H'}{H \text{ max}}$$

Avec  $E$  = Indice de régularité ;  $H'$  = indice de Shannon ;  $H \text{ max} = \log_2 S$ ,  $S$  étant la richesse spécifique totale.

#### ● **les observations**

Les données issues des observations faites concernent sur l'émondage, le vieillissement, les souches vivantes, et les morts sur pied et sur la phénologie, qui consiste à mettre l'accent sur la feuillaison, la floraison, et la fructification ont été saisies et traitées via le tableur microsoft office excel afin d'en ressortir les résultats.

## **Résultats**

### **Richesse floristique**

La végétation ligneuse est riche de 13 familles, 20 genres représentés par 28 espèces (Tableau 2 et 6). Les familles les plus représentées en termes d'espèces sont la famille des Mimosaceae et la famille des Combretaceae avec chacune 28,57% et 17,86% des espèces respectivement. Les autres familles restantes sont constituées chacune d'une seule espèce à l'exception de la famille des Myrtaceae, des Capparaceae, des Rubiaceae et des Cesalpiniaceae qui regroupent deux (2) espèces chacune. Dans le peuplement, *Acacia seyal* est l'espèce la plus représentée (46,54%) suivie de *Balanites aegyptiaca* (31,24%).

**Tableau 2.** Familles, genres, espèces et fréquences

Familles	Genres	Espèces	Fréquences (%)
Anacardiaceae	<i>Sclerocarya</i>	<i>Sclerocarya birrea</i>	0,24
Balanitaceae	<i>Balanites</i>	<i>Balanites aegyptiaca</i>	<b>31,24</b>
Bombacaceae	<i>Adansonia</i>	<i>Adansonia digitata</i>	0,12
Burseraceae	<i>Commiphora</i>	<i>Commiphora africana</i>	1,30
Capparaceae	<i>Maerua</i>	<i>Maerua angolensis</i>	0,08
Cesalpiniaceae	<i>Bauhinia</i>	<i>Bauhinia rufescens</i>	2,45
	<i>Tamarindus</i>	<i>Tamarindus indica</i>	0,36
Combretaceae	<i>Anogeissus</i>	<i>Anogeissus leiocarpus</i>	0,51
	<i>Combretum</i>	<i>Combretum micranthum</i>	0,04
		<i>Combretum glutinosum</i>	0,32
	<i>Guiera</i>	<i>Guiera senegalensis</i>	0,43
Ebenaceae	<i>Diospyros</i>	<i>Diospyros mespiliformis</i>	0,63
Meliaceae	<i>Azadirachta</i>	<i>Azadirachta indica</i>	4,51
Mimosaceae	<i>Acacia</i>	<i>Acacia laeta</i>	0,04
		<i>Acacia nilotica</i>	1,11
		<i>Acacia senegal</i>	7,08
		<i>Acacia seyal</i>	<b>46,54</b>
		<i>Acacia sieberiana</i>	0,08
		<i>Acacia ataxacantha</i>	0,12
	<i>Faidherbia</i>	<i>Faidherbia albida</i>	0,59
	<i>Dichrostachys</i>	<i>Dichrostachys glomerata</i>	0,24
Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0,12
		<i>Eucalyptus microtheca</i>	0,24
Rhamnaceae	<i>Ziziphus</i>	<i>Ziziphus mauritiana</i>	1,19
Rubiaceae	<i>Feretia</i>	<i>Feretia apodanthera</i>	0,28
	<i>Mitragyna</i>	<i>Mitragyna inermis</i>	0,16

## Paramètres structuraux

### Densité, surface terrière et volume

Le nombre d'individus est estimé à 2529, soit une densité de 98 individus/ha. Cependant, la surface terrière est de 2,12 m<sup>2</sup>/ha. Le volume de bois du peuplement est estimé à 13,83 m<sup>3</sup>/ha (tableau 3).

**Tableau 3.** Densité, surface terrière et volume

Densité (individus/ha)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)
98	2,12	13,83

## Structure de la végétation ligneuse

### Répartition des individus selon les classes de hauteur et de diamètre

Nos résultats montrent que, 73,22% des tiges appartiennent aux classes de hauteur ]0-2] ; ]2-4] et ]4-6] contre 26,78% des tiges qui appartiennent aux classes de hauteur ]6-8] ; ]8-10] ; ]10-12] ; ]12-14] ; ]14-16] et ]16-18] (Figure 4). Ce qui justifie que le peuplement est en majorité constitué d'arbustes. Et les arbres ne représentent que le ¼ des tiges.

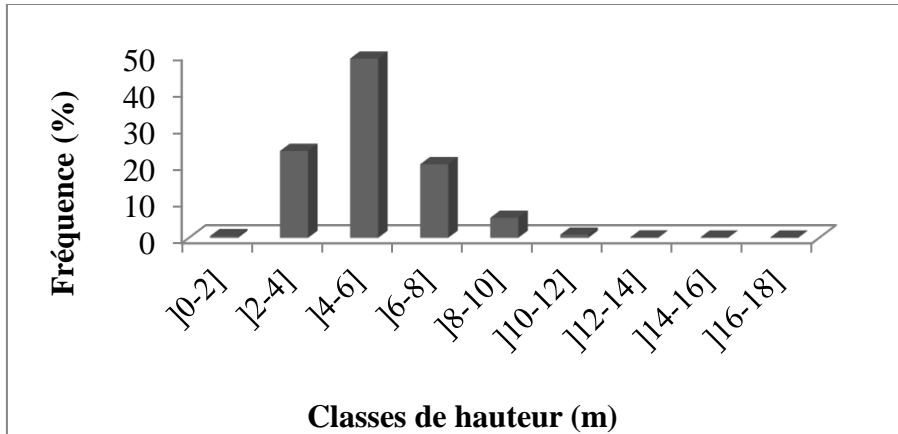


Figure 4. Distribution des individus par classe de hauteur

Les résultats montrent la dominance de jeunes tiges. En effet, 83,39% des tiges ont des diamètres inférieur ou égal à 20 cm tandis que 16,62% des tiges ont un diamètre supérieur ou égal à 20 cm (Figure 5).

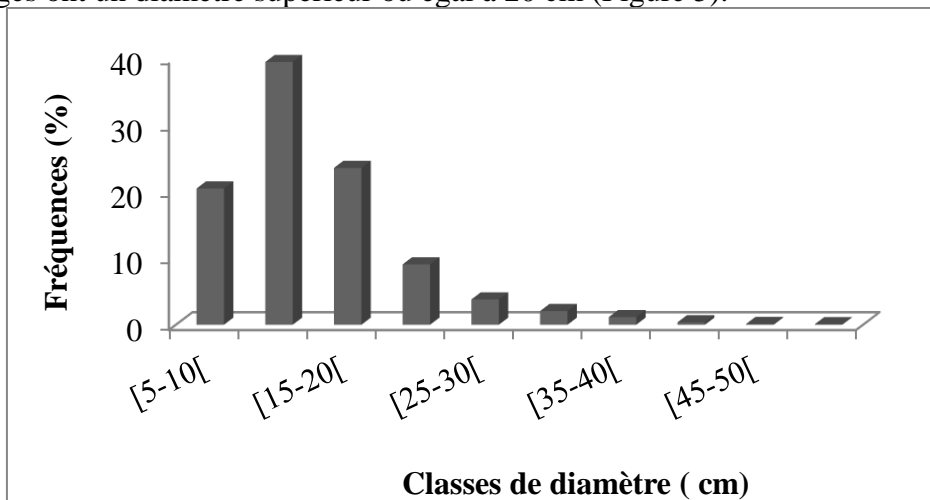


Figure 5. Distribution des individus par classe de diamètre

### Répartition des espèces d'individus adultes

Les résultats montrent que *Acacia seyal* est l'espèce la plus représentée dans le peuplement avec 46,54% des individus suivi de *Balanites aegyptiaca* ( 31,24%), de *Acacia senegal* (7,08%), de *Azadirachta indica* (4,51%), de *Bauhinia rufescens* (2,45%), de *Commiphora africana* (1,3%), de *Ziziphus mauritiana* (1,19%) et de *Acacia nilotica* (1,11%) (Figure 6).

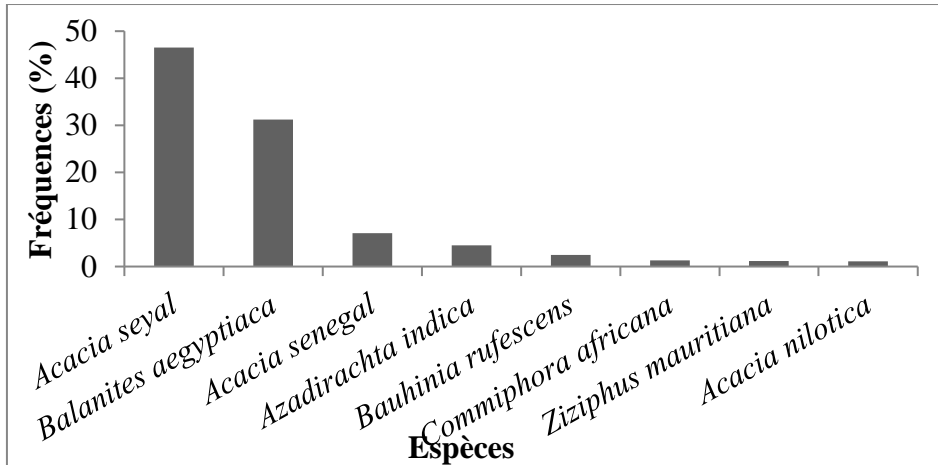


Figure 6. Distribution des individus des principales espèces

### Etat de la régénération des espèces ligneuses recensées

Dans le peuplement, la régénération est estimée à 14 975 plantules, avec un taux de régénération de 85,6% et une densité de régénération égale à 581 plantules/ha (Tableau 4). L'espèce *Combretum aculeatum* a le taux de régénération le plus important (53,6%), suivi de *Guiera senegalensis* (18,32%), de *Acacia seyal* (8,49%), de *Balanites aegyptiaca* (5,94%), de *Feretia apodanthera* (4,53%), de *Azadirachta indica* (4,11%), de *Combretum micranthum* (2,78%), de *Anogeissus leiocarpus* (1,23%).

Tableau 4. Taux de régénération du peuplement et des principales espèces

Espèces	Taux de régénération (%)	Taux de régénération du peuplement (%)
<i>Combretum aculeatum</i>	53,6%	
<i>Guiera senegalensis</i>	18,32%	
<i>Acacia seyal</i>	8,49%	
<i>Balanites aegyptiaca</i>	5,94%	
<i>Feretia apodanthera</i>	4,53%	85,6%
<i>Azadirachta indica</i>	4,11%	
<i>Combretum micranthum</i>	2,78%	
<i>Anogeissus leiocarpus</i>	1,23%	

### Observation sur l'état sanitaire et la phénologie du peuplement

Les observations montrent que 54,21% des individus du peuplement n'ont pas été émondés; 40,45% sont émondés; 3,52% sont vieillissants; 1,42% sont des morts sur pied. Quant aux souches vivantes, elles représentent moins de 1% des individus dénombrés (Figure 7).

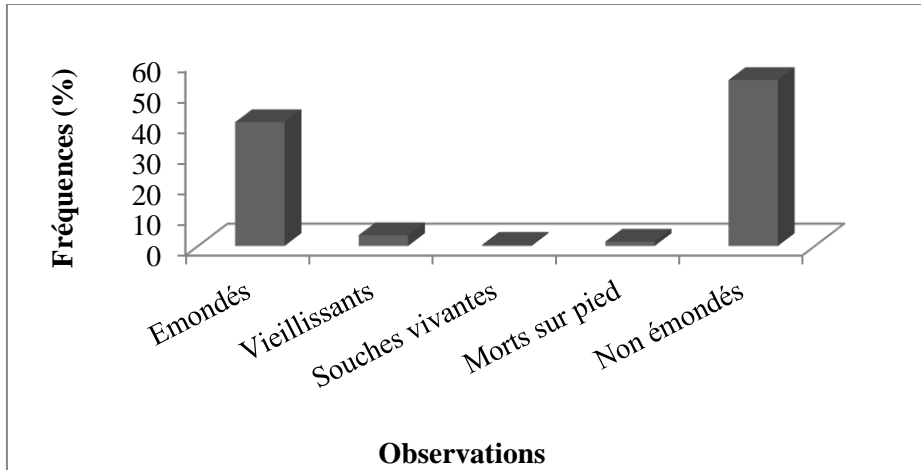


Figure 7. Etat des observations faites sur les individus dans le peuplement

Les observations montrent que plus de la moitié des individus du peuplement (56,7%) ne portent que des feuilles; 36,73% portent des feuilles et des fruits; 1,5% portent des feuilles et des fleurs; 3,08% portent à la fois des feuilles, des fleurs et des fruits et enfin seulement 1,98% des individus ne présentent aucune de ces caractéristiques (Figure 8).

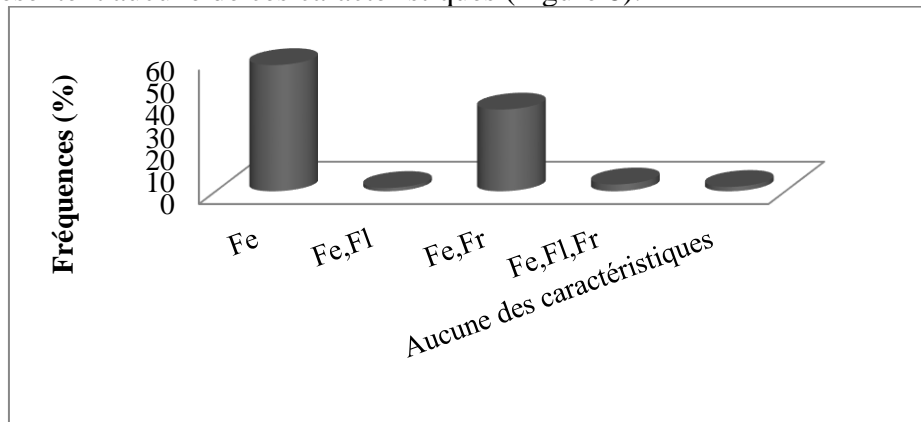


Figure 8. Etat phénologique des arbres, Fe= feuille ; Fl= fleur et Fr= fruit

### Répartition de la surface terrière des principales espèces

L'étude a révélé que *Acacia seyal* a la surface terrière la plus importante avec 0,71 m<sup>2</sup>/ha soit 33,49%, suivi de *Balanites aegyptiaca* (0,686 m<sup>2</sup>/ha soit 32,36%), de *Adansonia digitata* (0,203 m<sup>2</sup>/ha soit 9,58%), de *Azadirachta indica* (0,194 m<sup>2</sup>/ha soit 9,15%), de *Acacia senegal* (0,114 m<sup>2</sup>/ha soit 5,37%), de *Acacia nilotica* (0,035 m<sup>2</sup>/ha soit 1,64%), de *Faidherbia albida* (0,028 m<sup>2</sup>/ha soit 1,34%) et de *Sclerocarya birrea* (0,024 m<sup>2</sup>/ha soit 1,15%) (Figure 9).

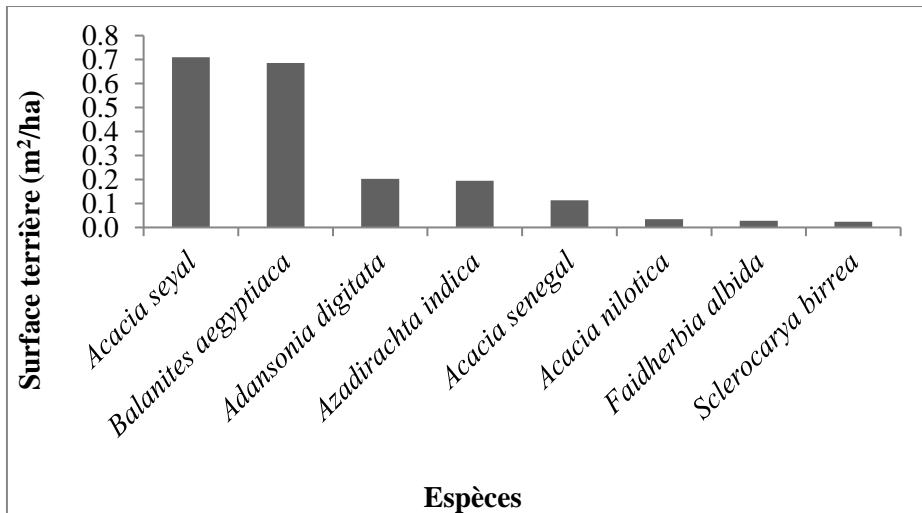


Figure 9. Distribution de la surface terrière des principales espèces

### Répartition du volume des principales espèces du peuplement

Les résultats montrent que *Balanites aegyptiaca* représente 31,65% du volume soit (4,337 m<sup>3</sup>/ha), suivi de *Acacia seyal* (31,53%, soit 4,361 m<sup>3</sup>/ha), de *Azadirachta indica* (1,524 m<sup>3</sup>/ha, soit 11,02%), de *Adansonia digitata* (8,79%, soit 1,216 m<sup>3</sup>/ha), de *Acacia senegal* (4,85%, soit 0,671 m<sup>3</sup>/ha), de *Faidherbia albida* (1,92%, soit 0,266 m<sup>3</sup>/ha), de *Acacia nilotica* (1,83%, soit 0,253 m<sup>3</sup>/ha), de *Sclerocarya birrea* (1,77%, soit 0,244 m<sup>3</sup>/ha) et de *Anogeissus leiocarpus* (1,18%, soit 0,163 m<sup>3</sup>/ha) (Figure 10).

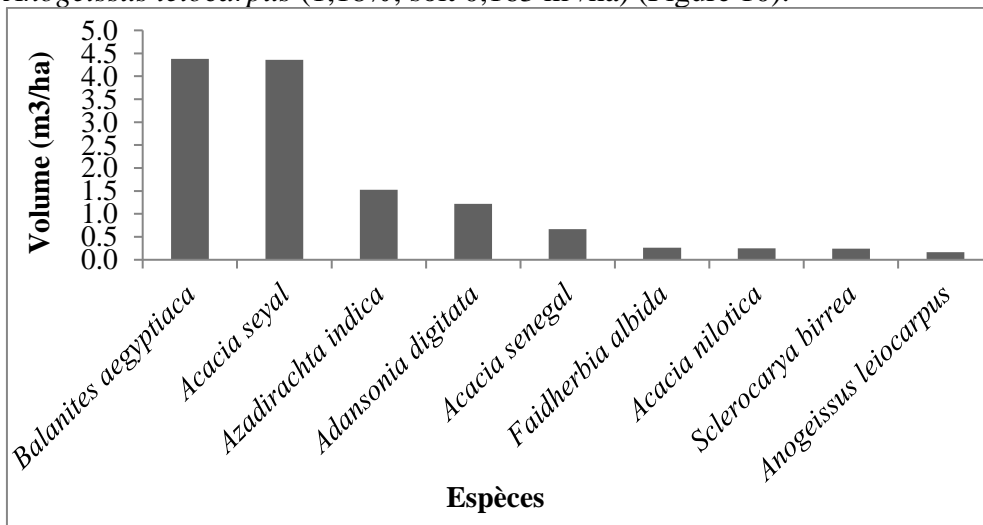


Figure 10. Distribution du volume des principales espèces

### Répartition du couvert aérien des principales espèces du peuplement

Les résultats montrent que *Acacia seyal* représente la moitié du couvert aérien avec 49,58%, soit (1598 m<sup>2</sup>/ha), suivi de *Balanites aegyptiaca* (26,86%, soit 930,10 m<sup>2</sup>/ha), de *Acacia senegal* (6,71%, soit 216,11 m<sup>2</sup>/ha), de *Azadirachta indica* (4,90%, soit 158,03m<sup>2</sup>/ha), de *Acacia nilotica* (2,07%, soit 66,7 m<sup>2</sup>/ha), de *Bauhinia rufescens* (1,64%, soit 52,83 m<sup>2</sup>/ha) et de *Ziziphus mauritiana* (1,31%, soit 42,28 m<sup>2</sup>/ha (Figure 11).

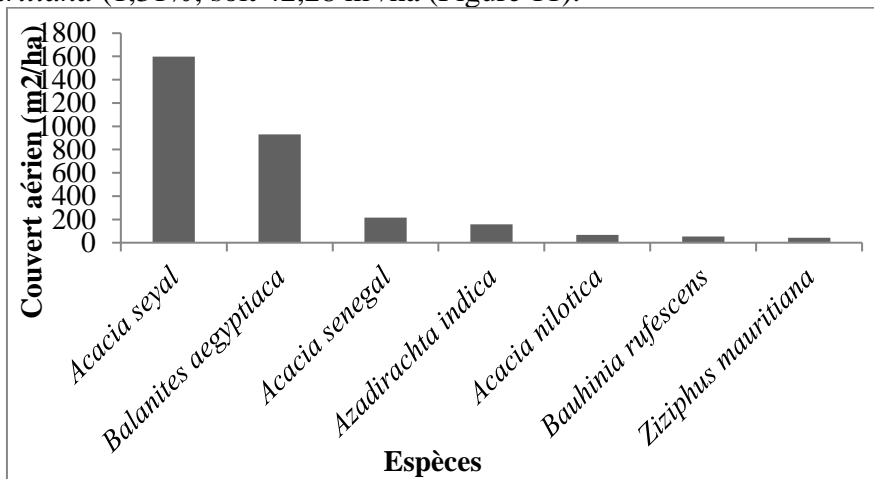


Figure 11. Distribution du couvert aérien des principales espèces

### Les Indices

L'indice de stabilité du peuplement est de 38,76, ce qui témoigne d'un peuplement stable. L'indice de diversité de Shannon-Wiener s'élève à 2,5 bits. Ce qui montre une diversité assez importante. L'indice d'équitabilité de Pielou quant à lui est de 0,52, signe d'une diversité assez importante (Tableau 5).

Tableau 5. Indices de diversité du peuplement

Indices	Indice de stabilité	Indice de Shannon-Wiener (bits)	Indice d'équitabilité de Pielou
	38,76	2,5	0,52

### Evolution de la richesse floristique de la végétation ligneuse de la formation boisée du CNRA

L'exploitation des données des inventaires a permis de montrer l'évolution de la richesse floristique de la végétation ligneuse dans le peuplement. Ainsi avec une flore riche de 14 familles représentées par 27 espèces en 2000, on est passé à 13 familles représentées par 28 espèces en 2018 (Tableau 6).

Cette évolution est caractérisée par l'apparition de quatre espèces (*Acacia sieberiana*, *Acacia laeta*, *Cadaba farinosa* et *Combretum glutinosum*) et l'absence de trois autres (*Maerua crassifolia*, *Celtis integrifolia* et



*Piliostigma reticulatum*). Une disparition de la famille *Ulmaceae* composée d'une seule espèce *Celtis integrifolia* a été notée en 2018. Cependant, une diminution considérable des individus adultes qui passent de 10504 en 2000 à 2529 en 2018 a été observée.

**Tableau 6.** Liste des familles genres et espèces entre 2000 et 2018 (+ = présence)

Familles	Espèces	Années	
		2000	2018
Anacardiaceae	<i>Sclerocarya birrea</i> (A.Rich) Hochst.	+	+
Balanitaceae	<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.m	+	+
Bombacaceae	<i>Adansonia digitata</i> L.	+	+
Burseraceae	<i>Commiphora africana</i> (A.Rich.) Engl.	+	+
Capparaceae	<i>Cadaba farinosa</i> Forssk.		+
	<i>Maerua angolensis</i> DC.	+	+
	<i>Maerua crassifolia</i> Forssk.	+	
Fabaceae	<i>Bauhinia rufescens</i> Lam.	+	+
	<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	+	
	<i>Tamarindus indica</i> L.	+	+
Combretaceae	<i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC) Guill. Et Perr.	+	+
	<i>Combretum aculeatum</i> Vent.	+	+
	<i>Combretum micranthum</i> G. Don	+	+
	<i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex DC.		+
	<i>Guiera senegalensis</i> J.F. Gmel.	+	+
Ebenaceae	<i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. Ex A.Rich.	+	+
Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	+	+
Mimosaceae	<i>Acacia laeta</i> R. Br. ex Benth.		+
	<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. Ex Del.	+	+
	<i>Acacia senegal</i> (L.) Willd.	+	+
	<i>Acacia seyal</i> Del.	+	+
	<i>Acacia sieberiana</i> DC.		+
	<i>Acacia ataxacantha</i> DC.	+	+
	<i>Faidherbia albida</i> (Del.) Chev.	+	+
	<i>Dichrostachys glomerata</i> (Forssk.) Chiov.	+	+
Myrtaceae	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	+	+
	<i>Eucalyptus microtheca</i> F. Muell.	+	+
Rhamnaceae	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	+	+
Rubiaceae	<i>Feretia apodanthera</i> Del.	+	+
	<i>Mitragyna inermis</i> (Willd.) Kuntze	+	+
Ulmaceae	<i>Celtis integrifolia</i> Lam.	+	
Total		<b>27</b>	<b>28</b>

## Discussion

La richesse floristique de la zone inventoriée est de 28 espèces, représentées par 20 genres et appartenant à 13 familles. Une nette dominance de la famille des *Mimosaceae* et la famille des *Combretaceae* avec respectivement 8 et 5 espèces. Cela pourrait s'expliquer par le fait que ces espèces s'adaptent mieux aux conditions écologiques du milieu avec leur

caractère caduc. Les résultats sur la dominance des *Mimosaceae* corroborent les travaux de Sonko (2019), réalisés sur le transect Niakhar-Bambey dans 213 relevés de végétation de 1 ha qui montrent la présence de 54 espèces, réparties en 42 genres appartenant à 23 familles dominées par les *Mimosaceae* et les *Caesalpiniaceae*. Par ailleurs les travaux réalisés par Mahamat-Saleh *et al.*, (2013) à Sessène (région de Thiès, Sénégal), montrent la prédominance de la famille des *Mimosaceae* et des *Combretaceae*. Ces familles sont classées parmi les plus importantes de la flore vasculaire du Sénégal (Ba et Noba, 2001). Selon Savadogo *et al.*, (2016), l'importance de ces familles réside dans le fait qu'elles renferment des espèces qui résistent au manque et à l'insuffisance des pluies mais aussi à la forte température. Quant à la surface terrière, elle est dominée par *Acacia seyal* avec 33,49%, suivi de *Balanites aegyptiaca* (32,36%) et le volume par *Balanites aegyptiaca* (31,65%), suivi de *Acacia seyal* (31,53%), ceux-ci s'expliquent par l'importance de leurs nombres d'individus du fait qu'elles soient les principales espèces du site vue leurs caractères endémiques d'espèces sahélo-soudaniennes (Spichiger, 2010).

L'analyse de la distribution des individus selon les classes de diamètre présente, une allure en « cloche » de type log normal qui montre pour notre cas la prédominance d'individus de petit diamètre dans le peuplement, 83,39% des tiges ont des diamètres inférieurs à 20 cm contre 16,61% des tiges qui présentent des diamètres supérieurs ou égal à 20 cm, Ce qui suggère l'importance d'individus de petits diamètres d'où une bonne régénération. Nos résultats ne corroborent pas ceux de Soumana *et al.*, (2010) qui ont trouvé, dans la réserve totale de faune de Tamouau Niger, une structure de *Vitellaria paradoxa*, de *Parkia biglobosa* et *Adansonia digitata* dominée par les individus de diamètre > 50 cm et de Sonko, (2019) qui ont montré sur le transect Niakhar-Bambey des effectifs élevés dans les plus grandes classes de diamètre. La distribution des tiges selon la hauteur montre que le peuplement est dominé par la strate arbustive car 76,22% des tiges ont des hauteurs inférieur ou égale à 6 m. Ces résultats sont en phase avec ceux de Gaye (2019) qui révèlent la dominance de la strate arborée (individus de hauteur supérieure à 12 m) à Khombole (Thiès, Sénégal). Quant à la distribution des tiges adultes par espèces, une nette dominance des espèces suivantes est notée : *Acacia seyal* (46,54%), suivi de *Balanites aegyptiaca* (31,24%), de *Acacia senegal* (7,08%), de *Azadirachta indica* (4,5%), de *Bauhinia rufescens* (2,45%), de *Commiphora africana* (1,3%), de *Ziziphus mauritiana* (1,19%) et de *Acacia nilotica* (1,11%). Cela peut s'expliquer par le fait que ces espèces s'adaptent mieux aux conditions écologiques et édaphiques du milieu, étant pour la plupart des espèces caducifoliées qui leurs confères une résistance aux conditions extrêmes (Giffard, 1974).

Les observations faites sur les individus montrent que 40,45% sont émondés, 3,52% sont vieillissants, moins de 1% sont des souches vivantes, 1,42% sont des morts sur pied et que seul 54,21% ne sont pas émondés. Ces situations (émondage et les souches vivantes) s'expliquent par le fait que le peuplement est très fréquenté par les éleveurs à la recherche du pâturage pour le bétail surtout en saison sèche et par les populations riveraines à la recherche du bois de chauffe, de service, des feuilles et des fruits à usage alimentaire et thérapeutique. Quant à la phénologie, il est constaté que seul 1,98% des individus ne présentent aucune des caractéristiques énumérées ceci s'explique par le fait que ces individus sont représentés par les morts sur pied et les individus de *Faidherbia albida* qui ont une phénologie inversée (Roupsar, 1997).

Concernant le couvert aérien du peuplement du Bois de Boulogne, la remarque est que *Acacia seyal* et *Balanites aegyptiaca* représentent à elles seules 74,44%, soit 2528,1 m<sup>2</sup>/ha du couvert aérien et les 25,56% restent partager entre les autres espèces. Cette situation est liée à l'importance de leurs nombres d'individus.

Concernant l'indice de stabilité du peuplement, il est évalué à 38,76, strictement inférieur à 80, ce qui suggère un peuplement stable. Il n'y a pas raison de faire des interventions sylvicoles (éclaircies) pour l'accroissement en diamètre et en hauteur. Quant aux indices de diversité de Shannon-Wiener et d'équitabilité de Pielou qui correspondent respectivement à 2,5 bits et à 0,52, ils montrent que les espèces tendent vers une égale abondance.

La dynamique, en dix-huit ans la richesse floristique de la formation boisée du CNRA a évolué de telle sorte qu'en 2000 elle était de 27 espèces, représentées par 19 genres et appartenant à 14 familles, en 2018 elle est passée à 28 espèces, représentées par 20 genres et appartenant à 13 familles. Cette situation s'explique par l'apparition de quatre nouvelles espèces (*Acacia sieberiana*, *Accaia laeta*, *Cadaba farinosa* et *Combretum glutinosum*) et l'absence de trois autres (*Maerua crassifolia*, *Celtis integrifolia* et *Piliostigma reticulatum*) avec une famille (Ulmaceae) pour *Celtis integrifolia*. L'apparition de ces nouvelles espèces pourrait s'expliquer par le fait que ces espèces existaient dans le peuplement mais ne figuraient pas dans les données d'inventaires antérieurs réalisés par Seck (2000) ou qu'elles étaient absentes et ont fait leurs apparitions suite à des conditions climatiques favorables. Quant aux espèces absentes, on peut aussi suggérer soit dans un premier temps qu'elles existent mais n'ont pas figurés dans nos relevés, soit dans un deuxième temps qu'elles ont disparu. En effet, il a été noté une régression importante du nombre d'individus adultes qui est passé de 10 504 en 2000 à 2529 en 2018. Il est à noter qu'à l'époque les placettes utilisées étaient des carrées de 30 x 30 m distantes de 50 m de part et d'autres. Ces résultats sont en phase avec ceux de Seck (2000) qui a montré que dans le peuplement il

y'avait des espèces comme le *Detarium microcarpum*, *Pterocarpus erinaceus* et le *Sterculia setigera* qui ont disparu, ce qui peut être due soit aux conditions extrêmes (sécheresse, maladies, feux...), soit à l'anthropisation, et ce dernier point corroborent ceux de Mahamat-Saleh *et al.* (2013) dans la zone Cayor-Baol (région de Thiès) qui ont montré que dans leurs relevés d'inventaires des observations ont été faites sur l'exploitation des ligneux qui induit une réelle anthropisation des sites.

Dans le peuplement, l'état de la régénération a connu une hausse passant de 523 en 2000 à 14975 plantules en 2018 et montre une nette dominance des *Combretaceae* (*Combretum aculeatum*, *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum*) avec un taux de régénération de 74,7%. Ce résultat confirme celui de Charahabil *et al.* (2008) qui a montré que les espèces appartenant à la famille des *Combretaceae* présentent une dynamique progressive tendant à coloniser les espaces où les ligneux ont été victimes de la sécheresse et de la pression anthropique. En effet, cette famille présente une bonne croissance démographique marquée par l'abondance de jeunes plants assurant le renouvellement du peuplement.

## Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer la composition floristique de la formation boisée du CNRA qui est riche de 28 espèces, réparties en 20 genres et appartenant à 13 familles. Elle a montré que dans ce peuplement dominé par la strate arbustive, *Acacia seyal* est l'espèce la plus représentée chez les adultes alors que la régénération est majoritairement dominée par *Combretum aculeatum*. Une régression notoire de la dynamique du peuplement par la diminution du couvert végétal et la disparition de certaines espèces (*Detarium microcarpum*, *Pterocarpus erinaceus* et *Sterculia setigera*) a été constatée. Elle a également montré que les pratiques anthropiques (coupe de bois, paturage...) sont très fréquentes dans la mesure où 40,45% des individus sont émondés.

Ces résultats montrent qu'un plan de gestion urgent de la formation boisée doit être mise en place pour préserver durablement ce rare poumon vert dans le centre du bassin arachidier. Cette gestion doit être inclusive et participative en incluant toutes les parties prenantes.

**Conflit d'intérêt :** Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

**Disponibilité des données :** Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

**Déclaration de financement :** Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

## References:

1. Ba A.T., Noba K. (2001). Flore et biodiversité végétale au Sénégal. *Sécheresse*, 12 (3) : 149-155. GéoProdig, portail d'information géographique, consulté le 30 novembre 2020, <http://geoprodig.cnrs.fr/items/show/190026>.
2. Badji M., Sanogo D., Coly L., Diatta Y., Akpo L.E. (2015). La Régénération Naturelle Assistée (RNA) comme un moyen de reverdir le bassin arachidier au Sénégal : cas du terroir de Khatre Sy. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(1): 234-245, February 2015 ISSN 1997-342X, <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
3. Bagnian, I., Sanda, S.N., Adam, T. (2021). Diversité floristique et vulnérabilité de la végétation ligneuses dans le département de Illéla, région de Tahoua, Niger." *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, 15(09), pp 15-27. DOI: 10.9790/2402-1509031527
4. CEDEAO. (2009). Rapport d'étude Relative au dialogue sur les forêts en Afrique de l'ouest, février 2009, 88 pages. [https://www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/rapport\\_etude\\_dialogue\\_forets\\_ao.pdf](https://www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/rapport_etude_dialogue_forets_ao.pdf)
5. Charahabil M.M., Lo M., Bassene E., Akpo L. E. (2008). Caractéristiques de la flore et de la végétation ligneuse des forêts communautaires de la zone soudano-sahélienne au Sénégal. *Journal des sciences et technologies* 2008 Vol. 6 n° 2 pp. 72-85
6. Cordonnier T. et Rigling A. (2023). Vers des peuplements forestiers plus résilients : recherche contextualisée et expérimentation. *Revue forestière française*, 74 (2), 255–261. <https://doi.org/10.20870/revforfr.2023.7605>
7. CSE (2005). Les ressources forestières in Rapport sur l'état de l'environnement au Sénégal. Ministère de l'environnement et de la protection de la nature, Rapport 129:145p.
8. DEFCCS (2022). Diagnostic sommaire du secteur forestier, livrable n°3. 40p.
9. Fall, B. (2017). Cours caractéristique et dynamique des peuplements forestiers, UAD/ISFAR. 151p.
10. FAO (2018). La situation des forêts du monde 2018. Les forêts au service du développement durable. Rome. 158p <https://www.fao.org/3/I9535FR/i9535fr.pdf>
11. FAO (2015). Evaluation des ressources forestières mondiales. 54p <http://www.fao.org/3/a-i4793f.pdf>
12. Freytet F., Bonnardot A., et Alain. (2020). Mesurer les arbres CAUE 77. 9p <http://www.arbres-caue77.org/medias/files/fiche-mesurer-les-arbres-au-24-mars-2020-.pdf>

13. Frontier S. et Pichod-Viale. (1991). Ecosystème : Structure, Fonctionnement, Evolution. Collection d'écologie. Masson, Paris, 392p.
14. Gaye S. (2019). Caractérisation des peuplements ligneux des parcs dans les paysages du centre nord du bassin arachidier du Sénégal : cas de la commune de Khombole. Mémoire de fin d'études. Université Alioune Diop, Bambey, Sénégal 40p
15. Giffard P.L. (1974). L'arbre dans le paysage Sénégalais, Sylviculture en zone tropicale sèche. Centre technique forestier tropical Dakar – 1974, 411p. <https://agritrop.cirad.fr/336905/1/ID336905.pdf>
16. Grall J., Coïc N. (2005). Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier, 90p.
17. Kassoum T. (2018). Le couvert forestier en Côte d'Ivoire : une analyse critique de la situation de gestion des forêts (classées, parcs et réserves). *The International Journal of Social Sciences and Humanities Invention*, 5, 4387-4397.
18. Lobry J., Gascuel D., et Domain F. (2003). La biodiversité spécifique des ressources démersales du plateau continental guinéen : utilisation d'indices classiques pour un diagnostic sur l'évolution de l'écosystème. *Aquatic Living Resources*, 16 : 59-68.
19. Mahamat-Saleh M., Diallo A., Ndiaye O., Faye N.M., Guisse A. (2013). Caractérisation des peuplements ligneux de la zone Cayor-Baol (Thiès-Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(5): 2117-2132
20. Mballo I., Sy O., Barry B. (2021). Vulnérabilités et stratégies d'adaptation des paysans face aux changements socio-environnementaux en Haute Casamance (Sud-Sénégal), *Belgeo* [Online] <https://doi.org/10.4000/belgeo.48429>
21. MEDD (2017). Environnement et ressources naturelles : <http://www.eaux-forêts.sn/index.php/documentation/etude.html> consulté le 28/05/19 à 18h38
22. Piélou E. C. (1969). An Introduction to Mathematical Ecology. John Wiley & Sons: New York.
23. Roberts-Pichette P., et Gillespie L. (2002). Protocoles de suivi de la biodiversité végétale terrestre. Collection des publications hors-série du RESE, rapport 9. Centre canadien des eaux intérieures, Ontario, Canada, 138 p.
24. Rondeux J. (1993). La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Presses agronomiques, Gembloux, Belgique, 521 p.
25. Rouspard O. (1997). Ecophysiologie et diversité génétique de *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (syn. *Acacia albida* Del.), un arbre à usages multiples d'Afrique semi-aride : fonctionnement hydrique et efficacité d'utilisation de l'eau d'arbres adultes en parc agroforestier et

- de juvéniles en conditions semi-contrôlées. Tome 1 : Partie synthèse. Nancy : Université de Nancy I, 70 p. Thèse de doctorat : Ecophysiologie forestière : Université de Nancy I. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00426396/fr/>
26. Savadogo O.M., Ouattara K., Pare S., Ouedraogo I., Sawadogo K.S., Barron J et Zombre N.P. (2016). Structure, composition spécifique et diversité des ligneux dans deux zones contrastées en zone sahélienne du Burkina Faso. *Vertigo*, 16(1) <https://doi.org/10.4000/vertigo.17282>
  27. Seck A. (2000). Gestion et planification forestière : évaluation du potentiel floristique et analyse des processus de régénération dans la formation boisée du CNRA de Bambey (Bois de Boulogne). Mémoire de Maîtrise. Université Gaston Berger de saint louis. Sénégal 126p.
  28. Solly B., Dieye ElH.B., Mballo I., Sy O., Sane T., Thior M. (2020). Dynamique spatio-temporelle des paysages forestiers dans le Sud du Sénégal : cas du département de Vélingara”, *Physio-Géo*, Volume 15 | -1, 41-67. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.10634>
  29. Some Y.S.C. (2011). Evaluation de la restauration de la biodiversité dans les écosystèmes fragiles : cas des mises en défens de New Tree Burkina, 14p
  30. Soumana D., Rabi C., Mahamane A., Dabi N.H. (2010). Etat actuel de dégradation des populations de quatre espèces ligneuses fruitier en zone Sahélo-soudanienne du Niger Reserve total de faune de tamaux. 210p.
  31. Sonko M. (2019). Caractérisation des peuplements ligneux des parcs du centre sud du Bassin arachidier cas de l’arrondissement de Niakhar (région de Fatick, Sénégal). Mémoire de fin d’études. Université Alioune Diop, Bambey, Sénégal. 37p
  32. Spichiger R. (2010). Végétations sèches des ceintures sahéliennes et soudaniennes du Sénégal à Djibouti In : Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : Concepts et mise en œuvre [en ligne]. Marseille : IRD Éditions, 2010 (généralisé le 24 août 2021). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/irdeditions/2159>>. ISBN : 9782709918244. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.2159>



## Vermicomposting of Sludge from the Camp SIC Cité-Verte Wastewater Treatment Plant (Yaounde-Cameroon)

*Ngahane Emilienne Laure, PhD*

*Tambe Roosevelt Mbappe*

*Tchiofo Lontsi Rodine, PhD*

University of Ebolowa, Higher Institute of Agriculture, Forestry, Water Resources and Environment (UEb/HIAFWE)

*Sagne Moumbe Joel, PhD*

University of Douala, Institute of Fine Arts of Nkongsamba (UD/IFAN)

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p200](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p200)

Submitted: 13 December 2023

Accepted: 23 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Laure N.E., Mbappe T.R., Rodine T.L. & Joel S.M. (2024). *Vermicomposting of Sludge from the Camp SIC Cité-Verte Wastewater Treatment Plant (Yaounde-Cameroon)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 200. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p200>

### Abstract

In Yaounde, as in most sub-Sahara African cities, wastewater management is a major concern. Through its national sanitation strategy, Cameroonian government takes many initiatives to improve the urban sanitation situation by constructing social housing, where wastewater treatment plants are integrated. However, their purification performance is often low and the by-products represent great risk factors. This paper focuses on preserving the health of the population, reducing environmental pollution, and improving soil fertility by vermicomposting sludge from the Yaounde Camp SIC Cité-Verte wastewater treatment plant. The methodological approach consisted of the characterisation of sludge, followed by the vermicomposting test. At the end of the 35-day process, the produced vermicompost was characterized, and its agronomic efficiency was tested on waterleaf (*Talinum triangulare*) cultivation. The Yaounde Camp SIC Cité-Verte wastewater treatment plant consistently produces an average of 239 Kg of sludge per day. The sludge is primarily composed of high carbonaceous material (53%) and contains essential nutrients for plant growth (NPK: 13%), along with pathogenic microorganisms and heavy metals in low concentrations. The characterisation of the vermicomposts obtained after 35



days showed a conservation of nutrients (NPK) concentration and a decrease in carbonaceous matter and heavy metals. Moreover, there was a complete absence of fecal pathogens in the vermicompost of the two setups. The agronomic efficiency of the vermicomposts on waterleaf was shown by a high germination rate (100 % for vermicomposts), a high number of leaves ( $28 \pm 15$ ), a deep green coloration of plants, a great plant length ( $17.3 \pm 4.6$  cm), and a large stem diameter ( $2.1 \pm 0.4$  cm). The NPK content ( $>7\%$ ) indicates that the vermicompost produced can be used as an agricultural organic fertilizer.

---

**Keywords:** Sewage sludge, Biological treatment, Vermicomposting, Fertilization

## 1. Introduction

In most African cities, on-site sanitation is the most commonly used technology to improve access to sanitation (Gnagne et al., 2015). However, these systems produce important quantities of by-products (sludge scum, treated water, grit refuse...). Some of these products such as sludge contain organic matter and NPK which are fertilizing elements (SPANC, 2019). Throughout the years and even today, people have been using sewage sludge to fertilize fields and fishponds in order to maintain or regenerate the soil organic fraction. This particular by-product mostly undergoes treatment in order to limit sanitary and environmental risks due to its discharge and/or its reuse in agriculture (Bouزيد & Djadi, 2015). The conversion of organic waste into vermicompost is of double interest because in addition to treating pollution, it also converts waste into fertilizing material (Bhat et al., 2015).

Yaounde, through the urban council, has 13 domestic wastewater treatment plants, most of which are managed by a private institution called SOPREC (Société de Prestation et de Construction). Among them is the wastewater treatment plant of Camp SIC Cite-Verte. It produces a large quantity of sludge collected as scum which needs to be well managed. In Cameroon, composting is more often applied among the potential techniques for biological transformation of fermentable material. However, due to its liquid appearance, raw sludge causes volume problems in terms of management, handling, and maneuverability. They also cause social reluctance for their safe handling due to their pathogenic and toxic pollution (risk of contamination of composting agents during their homogenization and aeration by manual turning). Therefore, the use of worms during vermicomposting ensures not only homogenization and aeration but also the rapid stabilization of organic matter. This non-thermophilic oxidation, which preserves the extremely volatile ammoniacal nitrogen, allows for obtaining a better quality product that is beneficial for the soil and plants. The general objective of this study is to contribute to the preservation of the environment

and the health of populations downstream of wastewater treatment plants, as well as to support urban agriculture through sustainable management of sewage sludge. The specific objectives are as follows:

- To characterise the sludge from the Camp SIC Cité-Verte WWTP;
- To proceed with vermicomposting of the sludge and characterise the composts produced;
- To test agronomic efficiency of those vermicomposts on waterleaf cultivation.

## **2. Material and Methods**

### **2.1. Presentation of the Camp SIC Cité-Verte WWTP**

The Camp SIC Cité-Verte WWTP is a hybrid wastewater treatment plant with a planted filter. The different processes involved are as follows:

For pre-treatment:

- Screening: The wastewater is filtered through a grid whose bars are more or less spaced out to retain large materials;
- Grit removal tank: It consists of removing sand and inorganic particles through decantation, based on their weight;
- Fats and oil removal tank: It consists of eliminating fats and oil by flotation.

For primary treatment:

- Settling tank: Here, larger and heavier particles of sludge are drawn downward by gravity action in the tank;
- The Manhole (observation tank): It acts as a dashboard by giving an easy summary reference on the progress of the treatment.

For secondary treatment:

- Activated sludge: At the Camp SIC Cité-Verte WWTP, this system is dysfunctional;
- The planted filter: This treatment system aims at reducing dissolved pollution through the help of plants.

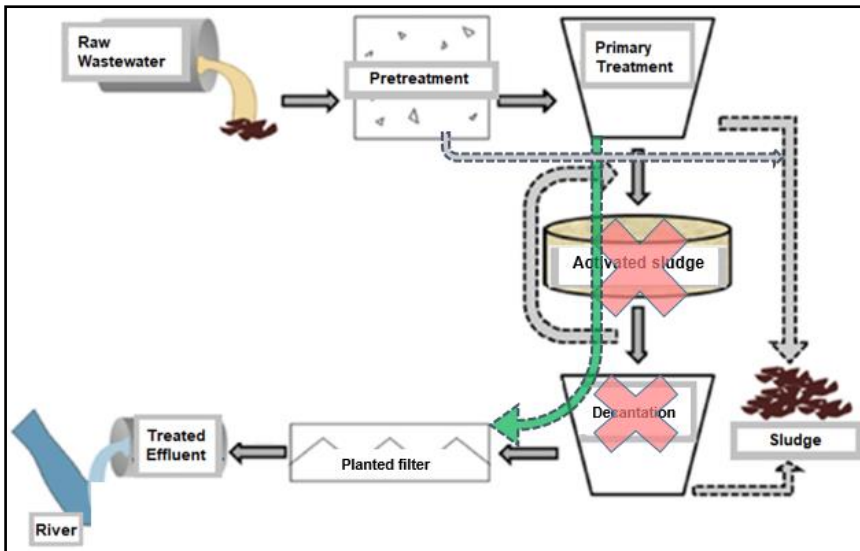


Figure 1. Summary diagram of Camp Sic Cité-Verte wastewater treatment plant

## 2.2. Characterisation of Sludge from the WWTP

### 2.2.1. Quantification of the Sewage Sludge

In order to estimate the quantity of sludge produced by the WWTP, interest was focused on daily production. This involved recording the quantity of sewage sludge skimmed in the different basins between the 15<sup>th</sup> of March and the 14<sup>th</sup> of April 2023.

### 2.2.2. Sampling of the Sewage Sludge

The sludge used for analysis was collected as scum from the pre-treatment and primary treatment basins (grit, fat and oil removal, settling tank and manhole). Collection was done directly by removing the sludge in the various basins with a shovel and a ten liter bucket. Thereafter, these sludge were mixed, loaded in four plastic bottles, and conserved in a cooler before transportation to the Hydrobiological and Environmental Laboratory of the University of Yaounde 1 for analysis (Figure 2).



Figure 2. Collection of samples for analysis (Source: Tambe, 2023)

### 2.2.3. Analysis of the Sewage Sludge

The physicochemical and bacteriological analysis of the sludge was carried out in the laboratory stated above. The analysed physicochemical parameters include temperature, pH, Total Carbon ( $C_T$ ), Total Nitrogen ( $N_T$ ), Total Phosphorus ( $P_T$ ), Potassium (K), heavy metals (Hg, Pd, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, As), and microbiological parameters, such as Faecal Streptococcus (F.S) and Faecal Coliforms (F.C).

## 2.3. Vermicomposting Process and Characterisation of the Composts Produced

### 2.3.1. Inputs

In order to carry out the vermicomposting process using sewage sludge, it was important to add some facilitating elements (Table 1). The inputs used during this process consisted of earthworms, household waste, leaf litter, and sawdust (Figure 3). Three setups (S1, S2 and S3) were put in place (Table 2).

**Table 1.** Reasons for choosing the various inputs

Inputs	Importance
Earthworms	To facilitate breakdown and aeration of the sludge To eliminate pollution in the sludge
Household waste	To boost and diversify the organic matter content of the compost
Leaf litter	To boost and diversify the organic matter content of the compost
Sawdust	To increase the dry matter content of the compost
	To increase the aeration and spacing of the compost's constituent particles

**Table 2.** Setups put in place during the vermicomposting process

Setup	Sludge (Kg)	Earthworms ( <i>Eisenia fetida</i> )	Sawdust (Kg)	Household waste (Kg)	Leaf litter (Kg)
S1	9	200	/	/	/
S2	9	200	3	/	/
S3	9	200	/	1.5	1.5



**Figure 3.** Various inputs from the left to the right: Raw sludge, Earthworms, Household waste, Leaf litter, Sawdust (Source: Tambe, 2023)

### 2.3.2. Vermicomposting System

The three setups were displayed in a bin of 1.8 m length, 0.5 m width, and 0.7 m height for a total volume of 0.63 m<sup>3</sup>. Thereafter, this bin was divided into 3 compartments, each having the following dimensions: length = 0.55 m, width = 0.5 m and height = 0.7 m for a total volume of 0.19 m<sup>3</sup> each (Figure 4).

The setups were allowed for 35 days (maturation period) and the following maturation parameters were monitored: temperature, odour, colour, and microorganism activity.



**Figure 4.** Experimental setups of vermicomposting test at Camp SIC Cité-Verte WWTP (Source: Tambe, 2023)

### 2.3.3. Analysis of the Vermicomposts

After the 35 days process, 100g of each vermicompost sample were taken to the laboratory in plastic containers for analyses. The analysed physicochemical parameters include temperature, pH, dry matter (MS), total carbon (C<sub>T</sub>), total Nitrogen (N<sub>T</sub>), total Phosphorus (P<sub>T</sub>), Potassium (K), heavy metals (Hg, Pd, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, As), and microbiological parameters, such as Faecal Streptococcus (F.S) and Faecal Coliforms (F.C). These analyses were carried out in the Hydrobiological and Environmental Laboratory of the University of Yaounde 1.

## 2.4. Agronomic Efficiency Test

### 2.4.1. Criteria for Choosing the Crop

Below are some reasons why waterleaf (*Talinum triangulare*) was chosen as the crop for this study:

- Waterleaf is a short life-span species and takes an average of 30-45 days from planting to harvest;
- The edible leaves of the plant are soft, succulent, and highly nutritious;
- The demand for waterleaf in local markets is high, and during certain seasons, it is subjected to high scarcity;
- The marketability of waterleaf could result in high income generation.



### 2.4.2. Agricultural Application and Monitoring of Parameters

The test crops were planted on the resulting vermicomposts from the different setups. Ten substrates were used (Figure 5):

- 100% Soil (M0) as reference;
- 100% Vermicompost (S1, S2, S3);
- 25% Soil + 75% Vermicompost (S1, S2, S3);
- 75% Soil + 25% Vermicompost (S1, S2, S3).

Each substrate was made of 3 repetitions within polyethylene bag containing 4 waterleaf plants each. Thereafter, monitoring of growth parameters was carried out. These observations focused on examining the plants' progression from planting to maturity (30 days). In the process, four parameters were considered to evaluate the efficiency of the vermicomposts produced: number of leaves, colour of leaves, plant length, and stem diameter.



Figure 5. Some substrates setup (Source: Tambe, 2023)

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Characterisation of Sludge from the Camp SIC Cité-Verte WWTP

#### 3.1.1. Quantity of Sewage Sludge

From the 15<sup>th</sup> of March to the 14<sup>th</sup> of April 2023, 7,180.5 Kg of sludge were produced at the camp Sic Cité-Verte WWTP. The sludge primarily originated from the pre-treatment process (Grit removal tank: 51%; Fats and oil removal tank: 32%; Table 3). There was a significant fluctuation in the daily sludge production ( $239.4 \pm 101.5$  Kg) according to the fluctuations in household activities (Figure 6).

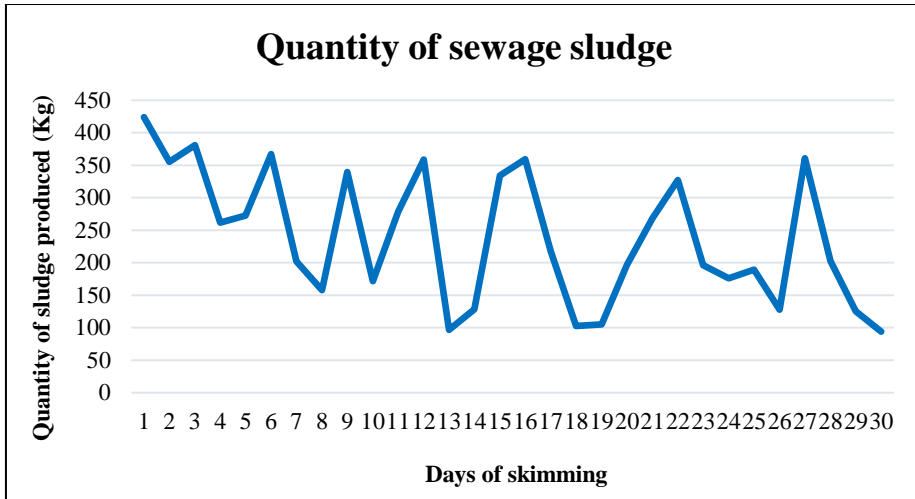


Figure 6. Daily quantity of sewage sludge

Table 3. Origins of sewage sludge

Structure	Period	Daily production (Kg)	Monthly production (Kg)
Grit removal tank (Kg)		122.9 ± 68.3	3 687
Fats and oil removal tank (Kg)		76.6 ± 25.1	2 299
Settling tank (Kg)		26.9 ± 7.7	806.5
Manhole (Kg)		12.9 ± 2.6	388
<b>TOTAL (Kg)</b>		<b>239.4 ± 101.5</b>	<b>7 180.5</b>

### 3.1.2. Quality of Sewage Sludge

The WWPT's sludge are liquid (MS = 7.2%) and originate from pre-treatment and primary treatment. Nonetheless, they can assimilate to secondary sludge based on their high carbonaceous matter rate (53%). They also possess a low concentration of pathogenic microorganisms and heavy metals (Table 4). Collected daily as scum, they are discharged into nature but fail to meet local discharge standards. Essential nutrients for plant growth, such as NPK (13.2%), are present. The temperature and pH values are ideal for worm growth and activity, ensuring a proper functioning of the decomposition process. Therefore, the sludge could be vermi-stabilised and valorised for agricultural purposes.

**Table 4.** Results of analysed parameters of sewage sludge

Parameters	Values on sewage sludge	Limited values (NC-2867)
pH	8.2	6.5-8.5
Temperature (°C)	25	30°C
MS (g/L)	72	50 mg/L
C <sub>T</sub> (%)	53.01	-
P <sub>T</sub> (%)	2.5	10 mg/L
N <sub>T</sub> (%)	8	30 mg/L
K <sub>T</sub> (%)	2.7	-
<b>Heavy metals</b>	<b>Values on sewage sludge (mg/Kg)</b>	<b>Limited values (NC-2867)</b>
Cr	53.9	0.2 mg/L
Cu	103	0.15 mg/L
Ni	53.85	0.2 mg/L
Zn	250	0.1 mg/L
As	6	0.3 mg/L
Cd	2.69	0.02 mg/L
Pb	108	0.1 mg/L
Hg	1	25 µg/L
<b>F.S (CFU/100mL)</b>	128	1000
<b>F.C (CFU/100mL)</b>	166	2000

### 3.2. Implementation Process of Vermicomposting and Characteristics of the Composts Produced

#### 3.2.1. Vermicomposting Process

Vermicomposting in wooden bins was the technique used because it is adequate for small scale vermicomposting. The following maturation parameters were observed during the process of vermicomposting:

- **Odour and colour change**

In all three setups, it was observed that the products gained a darker coloration by the end, with setup 3 being the darkest. The dark colour is due to the increase in humus matter following decomposition of organic matter in the setup. After 35 days of vermicomposting process, the bad smell that was present at the start of the experimentation turned into earthen smell. It is suggested that when vermicompost matures, it becomes darker and the initial unpleasant smell disappears (Gnanasekaran et al., 2023).

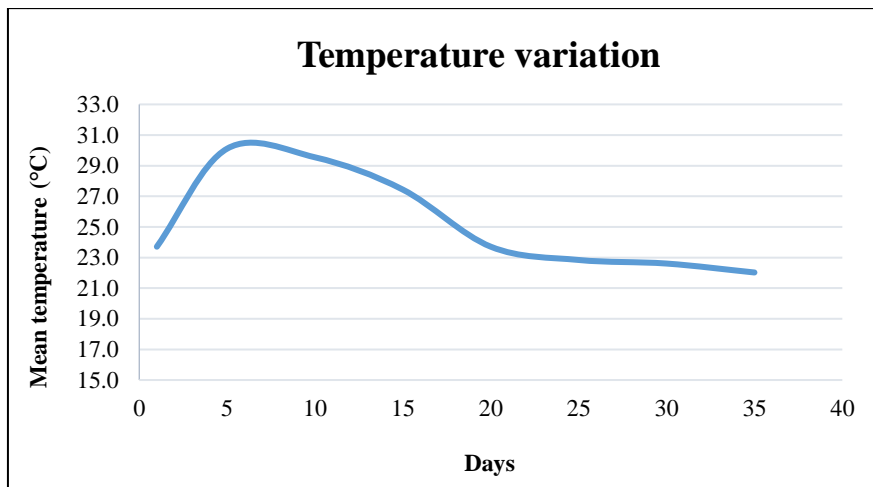
- **Temperature Variation**

The details on the temperature variation in the course of the vermicomposting process in (°C) are given in Table 5 and Figure 7.



**Table 5.** Temperature variation in the different setups

Setup	Day 1	Day 5	Day 10	Day 15	Day 20	Day 25	Day 30	Day 35
S1	23.5	30.4	29.5	26.8	24	22.8	22.5	22.5
S2	23.3	29.8	29.4	27.9	24.5	23.1	23	22
S3	24.3	30.1	29.7	27.6	22.6	22.6	22.3	21.6
Average	23.7 ± 0.5	30.1 ± 0.3	29.5 ± 0.2	27.4 ± 0.6	23.7 ± 1.0	22.8 ± 0.3	22.6 ± 0.4	22 ± 0.5



**Figure 7.** Temperature variation during vermicomposting

Since vermicomposting is a non-thermophilic oxidation of organic matter, in the three setups, the high temperatures observed between the 5<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> day did not reach 31°C. They were moderate around the 20<sup>th</sup> day (24°C) and became stable from the 25<sup>th</sup> to 35<sup>th</sup> day (22°C). Contrarily to the thermophilic compost which can generate temperatures up to 65°C, the vermicompost is an ambient temperature product (Alfred, 2020).

### 3.2.2. Characteristics of Vermicomposts Produced

The quantity and characteristics of vermicomposts produced are given in Tables 6 and 7.

**Table 6.** Quantity of different vermicomposts produced

Vermicompost Setups	Inputs	Quantity obtained (Kg)	Conversion rate (%)
S1	9 Kg sludge + 200 worms	4.2	47
S2	9 Kg sludge + 3 Kg saw dust + 200 worms	6.8	57
S3	9 Kg sludge + 1.5 Kg Household waste+ 1.5 Kg Leaf litter + 200 worms	6.1	51
<b>TOTAL</b>	<b>33 Kg + 600 worms</b>	<b>17.1</b>	<b>52</b>

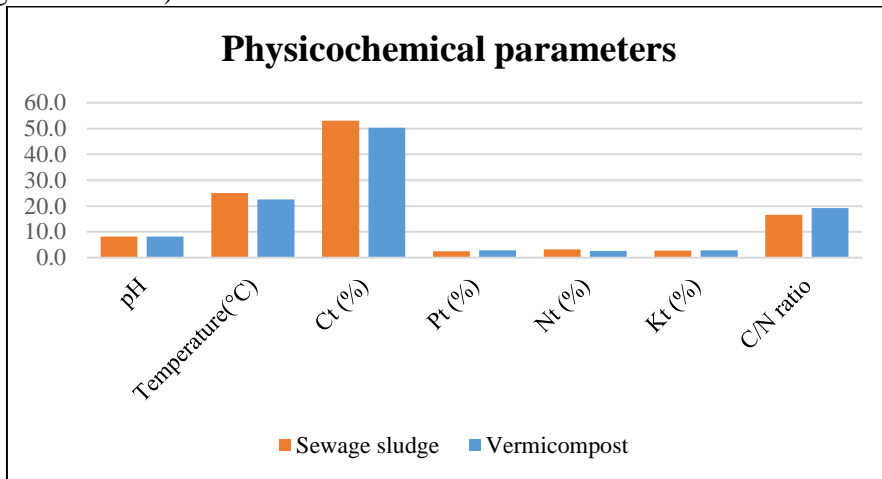
**Table 7.** Characteristics of different vermicomposts produced

Parameters	S1	S2	S3	Average	AFNOR NF U-44-095
pH	8.11	8.22	8.40	<b>8.2 ± 0.15</b>	6-9
Temperature (°C)	22	23	22.5	<b>22.5 ± 0.50</b>	<30
C <sub>T</sub> (%)	44	48	59	<b>50.3 ± 7.76</b>	/
P <sub>T</sub> (%)	2.5	2.8	3.1	<b>2.8 ± 0.3</b>	<3%
N <sub>T</sub> (%)	2.06	2.85	3.05	<b>2.7 ± 0.52</b>	<3%
K <sub>T</sub> (%)	2.7	3.1	2.9	<b>2.9 ± 0.19</b>	<3%
C/N ratio	21.36	16.84	19.34	<b>19.2 ± 2.26</b>	<20
Heavy metals	Values(mg/Kg)				Limited values (NFU 44-051)
Cr	26.9	27.4	26.7	<b>27 ± 0.4</b>	120
Cu	25.1	24.8	24.6	<b>24.8 ± 0.3</b>	300
Ni	6.8	6.3	6.5	<b>6.5 ± 0.3</b>	60
Zn	206	203	201	<b>203.5 ± 2.5</b>	600
As	1.6	1.4	1.3	<b>1.4 ± 0.2</b>	18
Cd	0.7	0.5	1	<b>0.7 ± 0.3</b>	3
Pb	30.2	30.2	30.5	<b>30.3 ± 0.2</b>	180
Hg	0.04	0.03	0.07	<b>0.05 ± 0.02</b>	2
<b>F.S (CFU/100mL)</b>	27	Ab	Ab	<b>9</b>	1000
<b>F.C (CFU/100mL)</b>	36	Ab	Ab	<b>12</b>	2000

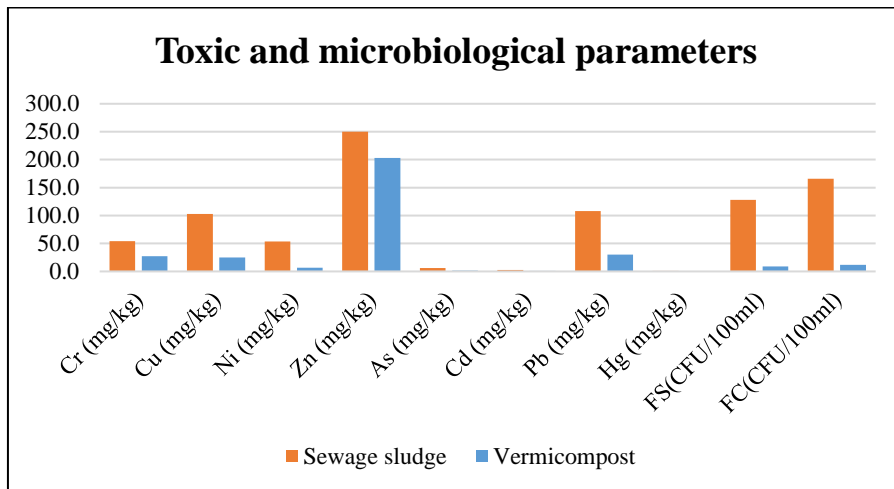
During the vermicomposting process, a reduction in the mass of decomposing materials was observed in the three setups, with an emphasis in the first setup (S1). This is essentially due to the transformation of carbon and nitrogen, as well as the bio-evaporation of water, by the activity of earthworms and decomposer microorganisms present. The addition of carbonaceous matter and structuring elements in setups 2 and 3 allowed for the improvement of the efficiency of the process. According to Glenn (2020), during vermicomposting, the weight of final product is very close to 50% of the weight of inputs.

The vermicomposts produced generally comply with the qualitative criteria of French standards NFU 44-095 and NFU 44-051, which is specific to composts produced from sludge and organic amendments. At first glance, the environmental safety of these composts is verified by the contents of trace metallic elements (heavy metals) and pathogens (F.S and F.C), which are below the limit values. The vermicomposts produced also have good amending values (C<sub>T</sub>>40%) and good fertilizing values (NPK >7%), with a graduation from S1 to S3. Since the obtained values fall within the recommended standard range, these composts can be used safely in agriculture, serving not only as an amendment but also as an organic fertilizer.

From the above data, raw sludge was compared to vermicompost (average) based on their physicochemical and microbiological parameters (Figures 8 and 9).



**Figure 8.** Comparison of sewage sludge and vermicompost based on physicochemical parameters



**Figure 9.** Comparison of sewage sludge and vermicompost based on toxic and microbiological parameters

Compared to the initial sludge used for the vermicomposting, there is a decrease of Carbon in the composts produced. It is due to the fact that during the vermicomposting process, microorganisms and earthworms use carbon as a source of energy for mineralization and decomposition of organic matter. Singh et al. (2013) attributed the decrease in organic carbon by the end of vermicomposting to the worm consumption of carbon and its transformation into CO<sub>2</sub> through respiratory activity.

The total nitrogen in the vermicompost samples appeared to be slightly lower than that of the initial sludge. However, there is a conservation of ammoniacal nitrogen due to the absence of thermophilic phase during vermicomposting process. The C/N ratio of the vermicompost samples appeared to be slightly higher than the C/N ratio of the initial sludge due to the decrease of the carbon content and the conservation of the nitrogen content during the vermicomposting process.

The potassium concentration in the initial sludge was slightly lower than that in the vermicompost. Subsequently, the increase in potassium is due to the enhanced microflora present in earthworm gut (Sharma & Garg, 2022).

Compared to the initial sludge, there is an increase in phosphorus levels in vermicomposts. This is also reported by Liegui (2019) in vermicomposting of household waste. Furthermore, during the passage of organic matter in the intestines of earthworms, organic acids and phosphatases solubilize phosphorus and make it readily available (Bhat et al., 2017).

The quantity of heavy metals decreased in all three vermicompost samples compared to the raw sludge and the results from the microbiological analysis indicated a total reduction in the pathogenic population in the vermicompost S2 and S3. Similar results were reported by Kumar and Sekaran (2005), who observed a decrease in *E. coli* count from  $8 \times 10^2$  to 0.00 CFU g in the vermicomposting of 20 Kg of sugar cane trash and cow dung for 60 days. It is suggested that enzymes from the earthworms have an antiseptic effect on bacteria during the digestion process (Lotzof, 1999). Pierre et al. (1982) also mentioned that earthworms partially detoxify and disinfect the end product which is nearly odourless.

### **3.3. Agronomic Efficiency Test on Waterleaf**

#### **3.3.1. Germination Rate and Leave's Colour**

All four plants cultivated on each of the nine soil profiles that received different doses of the vermicomposts produced grew (Table 8). This demonstrates the non-phytotoxicity and maturity of the vermicomposts produced. Zucconi et al. (1981), cited by Chennaoui et al. (2016), reported that compost with germination rates greater than 50% was free of phytotoxins and considered fully mature.

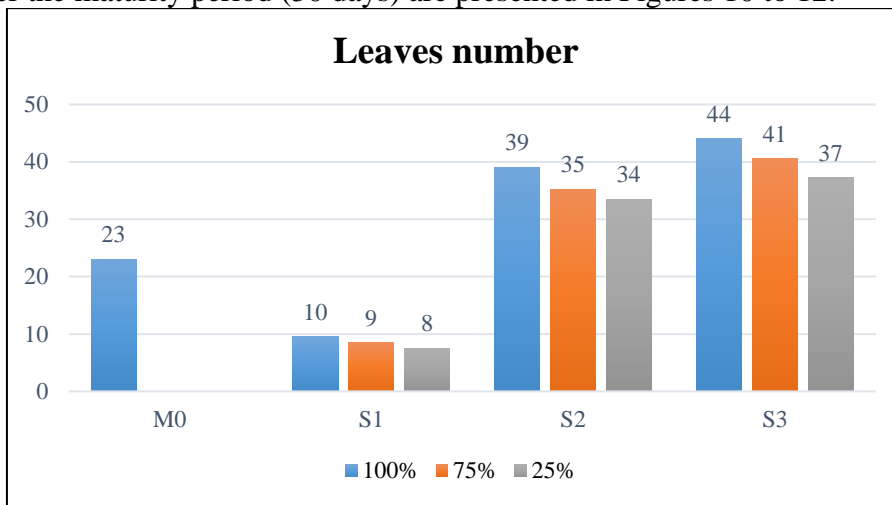
After receiving different doses of vermicompost, the different plant leaves presented various green colorations with the time. The plants that grew on the substrates without or with a little dose of vermicompost showed yellow and light green colours due to a progressive reduction in nitrogen content as the plants grew (Table 8). Yellow leaves are an indication that a plant is up taking little nitrates (Fabien, 2021).

**Table 8.** Germination rate and leave's colour of the ten substrates

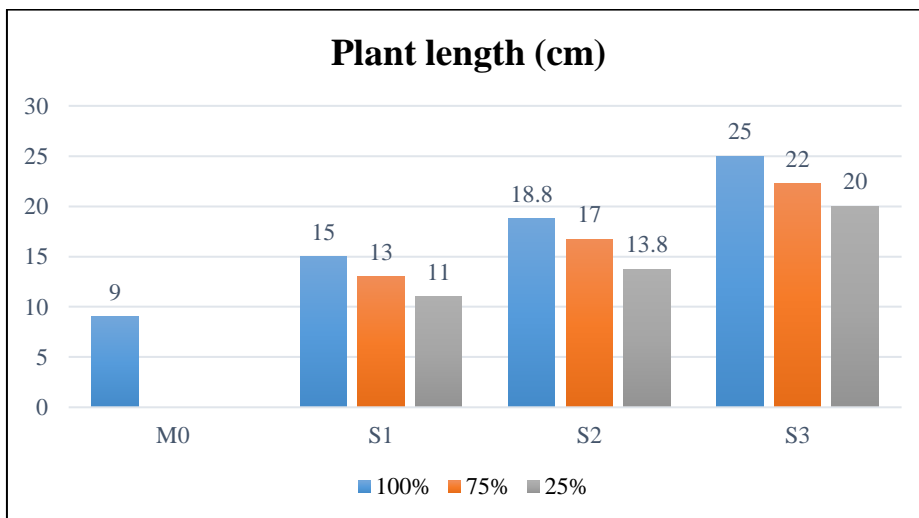
Substrates	100%Soil	100%(S1,S2,S3)	75%(S1,S2,S3)	25%(S1,S2,S3)
Germination rate	75%	100%	100%	100%
Leave's colour	Light and yellow green	Deep green	Deep green	Light green

### 3.3.2. Growth Parameters

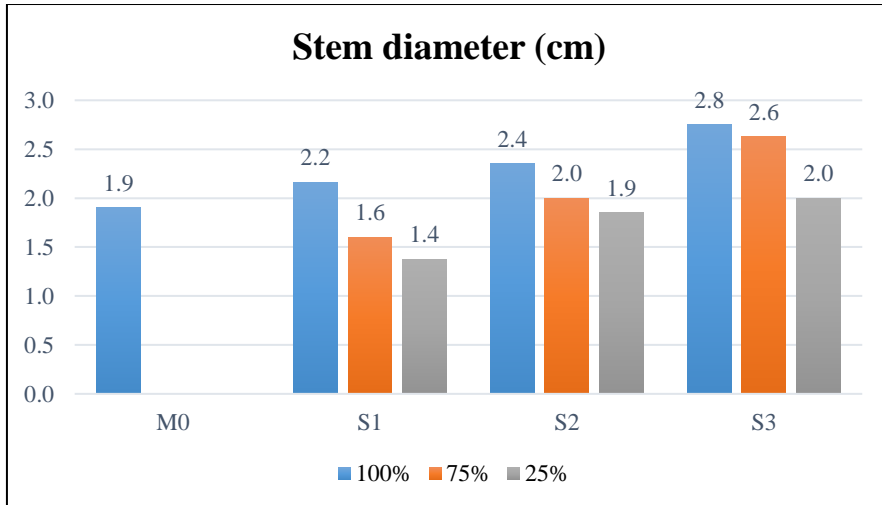
The number of leaves, length of plants, and diameter of stems obtained after the maturity period (30 days) are presented in Figures 10 to 12.



**Figure 10.** Number of leaves of plants on different substrates



**Figure 11.** Length of plants on different substrates



**Figure 12.** Diameter of stem of plants on different substrates

The plants with the greatest growth parameters are those which were cultivated on vermicompost samples S3, followed by those of samples S2 and S1. Finally, the plants from the control sample (M0) displayed the lowest growth. This disparity can be attributed to the higher content of organic matter and nutrients in setup 3 compared to the others, providing it with superior amending and fertilizing values. It is noteworthy that the diversification of fermentable inputs improves the quality and agronomic efficiency of vermicompost.

In addition, for plants cultivated on substrates which received different rates of the same vermicompost (S1 or S2 or S3), growth efficiency was dependent on the vermicompost rate. Therefore, the plants cultivated on substrates with 100% of different vermicomposts (S1 or S2 or S3) grew better than those on substrates with 75% of different vermicomposts, which in turn, outperformed those on substrates with 25% of different vermicomposts. The quantity of vermicompost also significantly affects the bioavailability of nutrients and structure of the soil.

## Conclusion

At the end of this study, characteristics of the wastewater treatment plant of Camp SIC Cité-verte are known. It is observed that this domestic sanitation structure produced approximately 239 Kg of sludge daily during the period from 14<sup>th</sup> March to the 15<sup>th</sup> of April 2023. These sludge were charged with carbonaceous matter, nutrients for plant growth, and slightly with toxic and pathogenic components.

The vermicomposting experimentation of these sludge in wood bin during the 35 days process made it possible to obtain products whose

characteristics, although varying with the inputs used, generally comply with international compost standards. It is observed that the variation in parameters during the process indicates a positive shift towards stabilisation of the final products. Red worms used for the study at the Camp SIC Cité-verte WWTP demonstrated their already known ability of converting organic matter to plant-usable forms while simultaneously reducing pollution.

The cultivation test permitted the evaluation of the agronomic efficiency of the different vermicomposts produced on waterleaf plants. It was found that the plants that received vermicompost of setup 3 (S3: sludge + leaf litter + household waste + worms) and those cultivated on substrates with 100% of different vermicomposts grew faster than the others. Thus, vermicompost boosts plant growth and this effect is amplified with the good quality and the sufficient quantity of vermicompost applied.

Vermicomposting of sewage sludge appears to be a viable and sustainable solution to overcome the risks presented by their disposal in nature and their direct spreading in urban agriculture. However, a detailed assessment of the costs and conditions relating to its implementation would further help in decision-making. To complete and perfect the study of the agronomic efficiency of the different vermicomposts, it is recommended to carry out tests on other crops and to weigh the quantities of edible plant biomass obtained.

### **Acknowledgment**

This study was carried out as part of the end of training work of sanitation engineer students in Potable Water Production and Sanitation at the High Institute of Agriculture, Forestry, Water resources and Environment (HIAFWE), of the University of Ebolowa. We extend our gratitude to all individuals who have directly or indirectly supported its completion. Specifically, our appreciation goes to The Director of HIAFWE, Professor Ombolo Auguste; the professional supervisor of this study, Mr. Agbor Yanick Eta; and the CEO of SOPREC. We also acknowledge the contributions of the members of the Physicochemical and Microbiological Laboratory at the University of Yaounde I.

**Funding Statement:** The authors did not obtain any funding for this research.

**Data Availability:** All the data are included in the content of the paper.

**Conflict of Interest:** The authors reported no conflict of interest.

## References:

1. Alfred Grand (2020). *Compost : Vermicompost*. Fiche technique, Best4Soil, 2 p.
2. Amir, S. (2005). *Contribution à la Valorisation de Boues de Stations d'Épuration par Compostage : Devenir des Micropolluants Métalliques et Organiques et Bilan Humique du Compost*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique, Toulouse, France.
3. ANOR NC-2867 (2021). *Environnement-Exigences relatives aux rejets des effluents liquides industriels*. Agence des Normes et de la Qualité, ICS N°13-030-40, 71 p.
4. Bhat, S. A., Singh, J., & Vig, A. P. (2017). *Instrumental characterization of organic wastes for evaluation of vermicompost maturity*. Journal of Analytical Science and Technology, 8(2), 12p.
5. Bhat, S. A., Singh, J., & Vig, A. P. (2015). *Potential utilization of bagasse as feed material for earthworm *Eisenia fetida* and production of vermicompost*. Springerplus. 28p.
6. Bouzid, M. & Djadi A. (2015). *Revaluation of activated sludge and chicken manure through composting by aerobic process*. Afr. J. Agric. Res., 10(52), pp 4831-4836.
7. Chennaoui, M., Salama, Y., Makan, A., & Mountadar, M. (2016). *Valorisation agricole d'un compost produit à partir du compostage en cuve des déchets municipaux*. ESJ, vol. 12, N° 35, pp 247-265.
8. Etsè, A., Sanonka, T., Kokou, S., Magnoudéwa, B. B., Kokou, D., Koffi, K. A., Gado, T., & Gnon, B. (2014). *Etude de la disponibilité du phosphore assimilable des composts des déchets urbains dans deux sols différents*. European Scientific Journal, ESJ, 10(6), pp 156-167.
9. Fabien (2021). *Reconnaitre les carences des plantes d'aquarium*. Aqua Store, 4 p.
10. Fernando, M., Aira, M., & Jorge D. (2009). *Changes in bacterial numbers and microbial activity of pig slurry during gut transit of epigeic and anecic earthworms* J. Hazard. Mater. 162, pp 1404-1407.
11. Glenn Munroe (2020). *Guide du lombricompostage et de la lombriculture à la ferme*. Centre d'agriculture biologique du Canada, 37 p.
12. Gnagne, Y. A., Yapo, B. O., Meite, L., Kouamé, V. K., Gadj, A. A., Mambo, V., & Houenoul P. (2015). *Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes du réseau d'égout de la ville d'Abidjan*. Int. J. Biol. Chem. Sci., 9(2), pp 1082-1093.
13. Gnanasekaran, R., Jerin Rexiya, S., Dhanalakshmi, M., Abinaya, M., Priyadharshini, B., Sharmilee, D., & Udayamathi, M. (2023). *Utilization of *Lagerstroemia speciosa* dry leaf litter combined with cattle dung for the production of enriched vermicompost – A possibility*



- of valorization*. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 12(4), pp 699- 708.
14. Kathy Donohoe (2018). *Chemical and Microbial Characteristics of Vermicompost Leachate and their Effect on Plant Growth*. Doctor of Philosophy thesis, School of Life and Environmental Science, University of Sydney, 287 p.
  15. Kavita Sharma & Garg, V. K. (2020). *Conversion of a toxic weed into vermicompost by Eisenia fetida : Nutrient content and earthworm fecundity*. Bioresource Technology Reports, volume 11, page 100530.
  16. Liegui Ginette Sandrine (2019). *Une alternative durable de valorisation des déchets organiques ménagers en maraîchage périurbain à Yaoundé (Cameroun)*. Mémoire de fin d'études de Master, Université de Liège, Belgique, 79 p.
  17. Lotzof, M. (1999). *Very Large Scale Vermiculture In Sludge Stabilisation*. Paper Written by Vemiitech Pty Ltd., Darlinghurst, Australia: 26p.
  18. Pierre, V., Phillip, R., Margnerite, L., & Pierrette, C. (1982). *Anti-Bacterial Activity of the Haemolytic System from the Earthworms Eisenia fetida andrei*. Invertebrate Pathology, Vol. 40, No. 1, pp 21-27.
  19. Singh, S., Khwairakpam, M., & Tripathi, C. N. (2013). *A comparative study between composting and vermicomposting for recycling food wastes*. International Journal of Environment and Waste Management: <https://doi.org/10.1504/jewm.2013.056119>, 231p.
  20. Subler, S., Edwards, C.A., & Metzger, P. J. (1998). *Comparing vermicomposts and composts*. Biocycle, pp 63-66.
  21. SPANC (2019). *Synthèse sur la valorisation agricole des boues de vidange dans la commune d'Aného*. 17 p
  22. Toundou, O., Tozo, K., Amouzouvi, K. A. A., Kolani, L., Tchangbedji, G., Kili, K., & Gnon, B. (2014). *Effets de la biomasse et du compost de Cassia Occidentalis L. sur la croissance en hauteur, le rendement du maïs (Zea Mays L.) et la teneur en NPK d'un sol dégradé en station expérimentale*. European Scientific Journal, ESJ, 10(3), pp 294-308.
  23. Vaidyanathan, G. & Vijayalakshmi, A. (2017). *Effect of vermicompost on growth and yield of tomato*. European Journal of Pharmaceutical and Medical Research, pp 653-656.

**Evaluation de l'Alimentation Séquentielle à Base d'une Ration Contenant des Feuilles de Manioc Post -Récolte (*Manihot esculenta*) sur les Performances Zootechniques des Poulets de Chair Standard en Finition**

***Guembo J.R.***

Faculté des Sciences et Techniques,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Adzona P.P.***

École Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Ntsoumou V.M.***

Faculté des Sciences et Techniques,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Pepah P.E.***

***Bati J.B.***

***Mantsanga B.H.***

Institut national de Recherche Agronomique (IRA), Avenue des premiers jeux Africains, face stade Alphonse Massamba Débat, Brazzaville, Congo

***Saboukoulou A.J.***

Faculté des Sciences et Techniques,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Banga-Mboko H.***

École Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p218](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p218)

Submitted: 09 December 2023

Accepted: 08 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Guembo J. R., Adzona P. P., Ntsoumou V. M., Pepah P. E., Bati J. B., Mantsanga B.H., Saboukoulou A. J. & Banga-Mboko H. (2024). *Evaluation de l'Alimentation Séquentielle à Base d'une Ration Contenant des Feuilles de Manioc Post -Récolte (Manihot esculenta) sur les Performances Zootechniques des Poulets de Chair Standard en Finition*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 218. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p218>

## Résumé

Après la récolte des tubercules, les feuilles de manioc sont abandonnées dans les champs. Elles sont une source en protéines brutes en alimentation séquentielle chez la volaille. L'objectif de ce travail était d'évaluer les performances des poulets de chair nourris avec un aliment à base de ces feuilles dans un mode de distribution séquentiel. Pour atteindre cet objectif, un échantillon de 60 poulets de la souche COBB 500 âgés de 26 jours a été réparti en deux lots (témoin et traité). Les oiseaux du lot témoin ont été nourris avec un aliment contenant 5 % de farine de manioc servi dans une seule mangeoire alors que ceux du lot traité ont reçu dans une première mangeoire les ingrédients riches en énergie et dans une seconde mangeoire des éléments riches en protéines brutes et en minéraux. Les deux mangeoires ont été placées dans le poulailler à un intervalle de 4 heures. Le traitement n'a induit aucune mortalité et n'a pas affecté le poids vif final. Cependant, l'alimentation séquentielle a amélioré significativement ( $p < 0,05$ ) la consommation d'eau en S6 (680ml/sujet vs 780ml), et la consommation des feuilles de manioc en fin d'expérimentation (9,4g/sujet vs 11,20g). L'alimentation séquentielle a également amélioré le GMQ final (38g/jour vs 61g) et l'indice de consommation final (4,8 vs 3,11). L'économie des matières azotées en phase de finition a permis un gain de 112,13 F CFA/sujet chez les traités. L'incorporation des feuilles de manioc en mode séquentiel apporte une plus-value en aviculture tropicale.

---

**Mots-clés:** Alimentation fractionnée, cassave, Cobb 500, croissance, Congo – Brazzaville

---

## **Evaluation of Sequential Feeding in Diets Containing Post-Harvest Cassava Leaf (*Manihot esculenta*) on Zootechnical Performance of Broilers During the Finishing Stage**

***Guembo J.R.***

Faculté des Sciences et Techniques,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Adzona P.P.***

École Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Ntsoumou V.M.***

Faculté des Sciences et Techniques,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Pepah P.E.***

***Bati J.B.***

***Mantsanga B.H.***

Institut national de Recherche Agronomique (IRA), Avenue des premiers jeux Africains, face stade Alphonse Massamba Débat, Brazzaville, Congo

***Saboukoulou A.J.***

Faculté des Sciences et Techniques,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Banga-Mboko H.***

École Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

---

### **Abstract**

After harvesting the tubers, the waste cassava leaves are left over the fields. They may constitute a source of crude proteins in sequential feeding for poultry. The present study aimed to evaluate the performances of broiler fed with diet-based cassava leaf, by using a sequential distribution. A sample of 60 chickens of COBB 500 strain, 26 days old was divided into two groups (control and treatment). The birds of control group were fed with diet containing 5% of flour of cassava leaf distributed in a single throughout whereas those of the treatment group received in a first feeder ingredients more rich in Kcal and in a second feeder more rich in crude proteins and minerals. The two feeders were placed in the hen house with a 4 hours interval. The treatment did not induce any mortality and does not have affected the final live weight. However, the sequential feeding improved ( $p < 0.05$ ) water consumption at week 6 (680ml/broiler vs 780ml), and the leaf consumption at the end of the experimentation (9.4g/broiler vs 11,20g). The sequential feeding

also improved the final DGW (38g/day vs 61g) and the final index of consumption (4.8 vs 3.11). The best use of crude proteins in sequential feeding allowed a profit of 112.13 F CFA/broiler. The incorporation of waste leaf cassava in poultry diets in a sequential feeding is useful in poultry production in tropical farming.

---

**Keywords:** Separate feeding, cassava, Cobb 500, Growth, Congo-Brazzaville

## Introduction

Le manioc appartient à la famille des Euphorbiacées, du genre *Manihot* (Anonyme, 2017) dont l'espèce la plus connue est *Manihot esculenta*. Il est cultivé sous les tropiques pour ses tubercules et ses feuilles en alimentation humaine. Après la récolte des tubercules, il reste dans les champs une biomasse foliaire importante. Cependant, l'utilisation celle-ci en production animale en général et particulièrement en aviculture reste marginale. Toutefois, elle constitue tout comme d'autres protéagineux locaux disponibles (*Dacryodes eudulis*, *Tetracarpidium .conophorum* ) une alternative aux ingrédients conventionnels tel que le tourteau de soja devenu de plus en plus onéreux sur le marché mondial (Adzona et al., 2019 ; Ntsoumou et al., 2023). En effet, les feuilles de manioc à l'état sec ont une teneur en protéines brutes de 17,7 à 38,1% (Yot et al., 1997 ; Nassy et al., 2020, Guembo et al., 2021). Leur incorporation dans la ration de poulets jusqu'à 5% de MS n'affecte pas la croissance et les performances des oiseaux (Houndonougbo et al., 2012a), excepté le GMQ, la consommation d'aliment et l'IC (Akinfala et al, 2002 ; Ironkwé et al., 2012 ; Olajide et al., 2012 ; Adeyemi, 2013).

L'utilisation des feuilles de manioc a été ont été menée dans un système d'alimentation classique où tous les ingrédients sont mélangés et présentés dans une seule mangeoire (Houndonougbo et al., 2012b ; Adeyemi, 2013 ; Lukuyu et al., 2014 ; Abu et al., 2015 ; Noviadi et al., 2016). Une telle pratique ne tient pas compte de l'environnement où la température est un facteur limitant de la productivité des volailles. (Banga-Mboko et al., 2007 Mantsanga et al 2016).

En effet, il est connu qu'en milieu tropical, un des facteurs limitants de la production avicole est la température qui impacte négativement sur les performances zootechniques du poulet

Dans les conditions réelles du terrain, il convient d'être résilient et donc de s'adapter à des ajustements rapides de l'environnement. C'est pourquoi, plusieurs auteurs ont préconisé de séparer des matières premières riches en énergie de celles riches en matières azotées et minérales c'est l'alimentation fractionnée (Banga-Mboko et al., 2007 ; Adzona et Banga-Mboko, 2017 ; Adzona et al., 2019).. Par ailleurs, l'alimentation séquentielle est la séparation d'un ou de plusieurs ingrédients, dont la présentation peut

est faite à des moments différents en respectant un intervalle de temps donné : (Bouvarel et *al.*, 2004 ; Adzona et *al.*, 2019).

L'alimentation séquentielle donne donc la possibilité aux oiseaux de réguler leur ingéré protéique, indépendamment de l'ingestion d'énergie et de l'adapter à leur niveau de production ainsi qu'aux conditions climatiques du milieu. C'est donc l'intérêt de l'alimentation séquentielle de lutter contre les effets négatifs de la chaleur sur les performances zootechniques (Batonon, 2014, Traineau et *al.* 2014) de la volaille. En outre, cette technique vise l'économie des matières azotées à un âge où l'animal en a de moins en moins besoin.

L'objectif de ce travail est d'évaluer les performances de production des poulets de chair nourris avec un aliment à base des feuilles de manioc dans un mode de distribution séquentiel.

## **Matériel et méthodes**

### **Cadre de l'étude**

L'étude a été réalisée à la ferme de la coopérative AGRO 4 PRODUCTION située dans, l'arrondissement 8 Madibou de Brazzaville, Capitale politique de la République du Congo, située au sud du pays sur la rive droite du fleuve Congo. Elle compte une population de près de 2 000 000 000 habitants soit 33 % de l'ensemble de la population congolaise. Elle s'étend sur une superficie de 110 Km<sup>2</sup>, à 314 m d'altitude et est située entre 4 °15' latitude Sud et 15 °14' longitude Est. Le climat est tropical humide de type bas-congolais, les températures moyennes annuelles avoisinent 25°C avec des faibles écarts thermiques n'excédant pas 5°C. La température maximale ne dépasse pas 35°C et la température minimale reste supérieure à 20°C (Samba et Moundza 2007). Le climat est caractérisé par deux saisons : une saison de pluie d'octobre à mai avec un fléchissement en janvier et une saison sèche de juin à septembre. La pluviométrie moyenne est de 1095 mm par an. Ces dernières années, une tendance tardive de l'arrivée du début de la saison de pluies est constatée (Toli, 2020).

### **Matériel végétal**

Les feuilles de manioc ont été prélevées dans les champs expérimentaux de la station de Recherche Agronomique d'Odziba. Elle est située à 100 km de Brazzaville sur la route nationale n°2 où plusieurs variétés locales de manioc sont inventoriées et caractérisées (Otabo et *al.*, 2016). Après la récolte des tubercules de manioc, les feuilles détachées de leurs pétioles ont été nettoyées puis lavées. Elles ont été par la suite moulues dans un broyeur à lame rotative couramment utilisé à la place du mortier pour le broyage des feuilles de manioc destinées à l'alimentation humaine. Le broyat a été cuit à un feu de bois pendant 60 minutes jusqu'à ce qu'à ce que les feuilles perdent

leur couleur verte. Ceci, pour atténuer la concentration de ces feuilles en acide cyanhydrique (Houndonoubo et *al.*, 2012a).

Après refroidissement, elles ont été séchées au soleil jusqu'à constater leur craquement au toucher. Le produit sec a été emballé dans les sacs en polypropylène.

### Matériel animal et conditions expérimentales

Au jour 26<sup>ème</sup> jour, après un pesage individuel, 60 poulets de race Cobb 500 couramment élevée à Brazzaville ont été répartis en deux lots (T0 pour les témoins et T1 pour les traités) de 30 oiseaux chacun avec une densité de 10 sujets/m<sup>2</sup> sur un espace expérimental de 3 m x 6 m (18 m<sup>2</sup>) divisé en deux loges à raison de 9 m<sup>2</sup> chacun. Ces loges ont été aménagées dans un bâtiment d'élevage des poulets de chair mesurant 8 m x 21 m. Des bagues numérotées de 1 à 30 pour chaque lot puis insérées sur une patte de chaque sujet ont servi pour leur identification et le suivi de gain de poids hebdomadaire. Le dispositif est indiqué dans le tableau 1 et la figure 1.

**Tableau 1.** Dispositif expérimental

Indications	Lot Témoin (T0)	Lot Traité (T1)
<b>Nombre de poulet</b>	30	30
<b>Aliment finition</b>	FM en mélange dans une mangeoire en une fois	- Fraction énergétique dans une première mangeoire - Fraction azotée et minérale dans une seconde mangeoire
<b>Heure de distribution</b>	Aliment (dont tous les ingrédients sont mélangés) servi le matin dans une seule mangeoire	La mangeoire contenant la fraction énergétique est servie le matin et la seconde mangeoire contenant la fraction azotée et minérale 04 heures après.



**Figure 1a:** groupe Témoin



**Figure 1b:** groupe Traité

**Figure 1.** Dispositif expérimental



Dans le groupe témoin, les deux fractions (énergétique et azotée et minérale) sont mélangées dans une seule mangeoire en jaune (Figure 1 a). Tandis que dans le groupe traité la fraction énergétique est distribuée dans une première mangeoire en jaune et la fraction azotée et minérale dans la seconde mangeoire.

### Aliment et conduite alimentaire

Les matières premières et la composition nutritionnelles sont indiquées dans le tableau 2

**Tableau 2.** Matières premières et composition nutritionnelle

Matières premières (%)	Aliment finition à partir du 26 <sup>ème</sup> jour		
	Témoin : R5 mélangé	Traité : R5 fractionné	
		FE 1 <sup>ère</sup> mangeoire	FAM 2 <sup>ème</sup> mangeoire
Maïs	48	48	0
Son de blé	4	4	0
Farine de manioc	10	10	0
Huile de palme	2	2	0
Farine de poisson	10	0	10
Tourteau de soja	20	0	20
Calcaire	0,5	0	0,5
Feuille de manioc	5	0	5
Vitamines	0,1		0,1
Sel de cuisine	0,4		0,4
Sous total	100	64	36
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>		<b>100</b>
	Composition nutritionnelle		
PB	18,26	4,86	13,4
EM	3138,4	2152,4	986
Méthionine	0,42	0,087	0,336
Lysine	1,2	0,15	1,06
Calcium	0,93	0,025	0,914
Phosphore	0,6	0,175	0,509

FE : fraction énergétique ; FAM : fraction azotée et minérale

Les rations journalières étaient distribuées en se référant à la consommation de la souche. Les quantités d'aliment ont été pesées avant la distribution. Les pesées des refus ont permis de calculer les quantités d'aliment consommées par jour.

### Variables zootechniques étudiées

-Le taux de mortalité (TM) : Il a été calculé selon la formule suivante :

$$TM = \frac{\text{Nombre de morts au cours d'une période}}{\text{Effectifs en début de la période}} \times 100$$



- La consommation volontaire des feuilles de manioc (CVA) : était calculée en multipliant la consommation d'aliment par le taux d'incorporation de 5%.
- La consommation totale d'aliment (CTA) était calculée par soustraction des quantités refusées ( r ) des quantités distribuées ( D), d'où  $CTA = D - r$
- La consommation volontaire d'eau (CVE) : c'est la différence entre la quantité d'eau servie et la quantité d'eau restante, divisée par le nombre d'oiseaux ayant effectivement consommé. Sa formule est :

$$CVE = \frac{\text{Quantité d'eau distribuée par jour} - \text{Quantité d'eau refusée par jour}}{\text{Nombre de sujets}}$$

4- Le GMQ. Il a été calculé par la formule suivante :

$$GMQ = \frac{\text{Poids final} - \text{Poids initial}}{\text{Durée de la période}}$$

5- L'indice de consommation IC est donné par la formule

$$IC = \frac{\text{Quantité d'aliment consommée par animal}}{\text{Poids final} - \text{Poids initial}}$$

paramètres économiques:

- le coût de production du Kg de poids vif (CPKPV) qui est obtenu en multipliant l'indice de consommation au prix du Kg d'aliment,
- le coût alimentaire (CA) qui est le ratio de l'aliment consommé par rapport au poids total,
- la conversion alimentaire ( $C_vA$ ) obtenue par la différence entre le poids vif moyen final et le poids vif moyen initial et
- le ratio de conversion alimentaire (RCA) obtenu en divisant la prise moyenne journalière de nourriture par le GMQ.

### Analyse statistique

Les données brutes ont été saisies sur Excel puis transférées dans le logiciel Statview 5.0 2000. La comparaison des moyennes entre le lot témoin et le lot traité a été effectuée avec le test t de Student. Deux moyennes étaient statistiquement différentes quand la valeur de P était inférieure à 0,05.

### Résultats

#### Effet du mode de présentation des feuilles de manioc sur la mortalité

Le taux de mortalité a été de 0% dans les deux lots.

## Effet sur la consommation des fractions azotées et énergétiques

Le tableau 3 illustre la consommation des différentes fractions.

**Tableau 3.** Consommation des fractions énergétique et azotée en gramme par sujet

Fraction énergétique		
Age en semaine	Témoin	Traité
4	79,21±18,96 <sup>a</sup>	59,08±16,88 <sup>b</sup>
5	108,36±6,47 <sup>a</sup>	79,41±9,54 <sup>b</sup>
6	121,06±13,13 <sup>a</sup>	109,66±9,47 <sup>b</sup>
Fraction azotée et minérale		
Age en semaine	Témoin	Traité
4	44,55±10,66 <sup>a</sup>	41,96±14,63 <sup>a</sup>
5	60,95±3,64 <sup>a</sup>	64±3,26 <sup>a</sup>
6	68,10±7,39 <sup>a</sup>	80,66±5,72 <sup>b</sup>

Quel que soit le groupe expérimental, la consommation de la fraction énergétique a été plus élevée que celle de la fraction azotée et minérale. La consommation de la fraction énergétique a été plus élevée chez les poulets recevant l'alimentation conventionnelle que chez les traités en alimentation séquentielle. Alors que la consommation de la fraction azotée et minérale a été plus élevée à la semaine 6 dans le groupe Traité.

## Effet sur la consommation d'eau, d'aliment et des feuilles de manioc

L'effet de ces indicateurs est résumé dans le tableau 4.

**Tableau 4.** Effet de l'alimentation séquentielle (AS) sur la consommation d'eau, d'aliment et de la FFM

Semaine	Alimentation conventionnelle	Alimentation séquentielle	P value
<b>Consommation volontaire d'eau (ml/j/sujet)</b>			
S4	250±0,06 <sup>a</sup>	310±0,03 <sup>a</sup>	<b>0,05</b>
S5	520±0,16 <sup>a</sup>	440±0,20 <sup>a</sup>	<b>0,4</b>
S6	680±0,07 <sup>a</sup>	780±0,06 <sup>b</sup>	<b>0,03</b>
<b>Consommation alimentaire individuelle journalière (g)</b>			
S4	123,77±27,43 <sup>a</sup>	101,05±30,43 <sup>a</sup>	<b>0,18</b>
S5	169,31±10,11 <sup>a</sup>	143,41±11,77 <sup>b</sup>	<b>0,04</b>
S6	189,17±20,53 <sup>a</sup>	190,33±14,60 <sup>a</sup>	<b>0,62</b>
<b>Consommation des FFM individuelle journalière (g)</b>			
S4	6,18±1,48 <sup>a</sup>	5,82±2,03 <sup>a</sup>	<b>0,71</b>
S5	8,46±0,50 <sup>a</sup>	8,88±0,45 <sup>a</sup>	<b>0,12</b>
S6	9,45±1,02 <sup>a</sup>	11,20±0,79 <sup>b</sup>	<b>0,03</b>

Les moyennes portant des lettres différentes en exposant sont statistiquement différentes ( $p < 0,05$ ).

Le traitement a amélioré significativement la consommation en eau en S6, la consommation d'aliment en S5 et la consommation des feuilles de manioc en fin d'expérimentation.

### Effet sur le poids vif, le gain moyen quotidien et l'indice de consommation

L'effet de ces indicateurs est présenté dans le tableau 5.

**Tableau 5.** Effet du mode de l'AS sur le poids vif, le gain moyen quotidien et l'indice de consommation

Semaine	Alimentation conventionnelle	Alimentation séquentielle	P value
<b>Poids vif individuel (g)</b>			
<b>S4</b>	1199±71,51 <sup>a</sup>	1235,2±129,97 <sup>a</sup>	<b>0,22</b>
<b>S5</b>	1743,8±130,89 <sup>a</sup>	1642±177,26 <sup>b</sup>	<b>0,02</b>
<b>S6</b>	2016,2±151,68 <sup>a</sup>	2069,2±479,03 <sup>a</sup>	<b>0,6</b>
<b>Gain moyen quotidien (g/j)</b>			
<b>S4(4-5)</b>	55,87 <sup>a</sup>	50,59 <sup>a</sup>	<b>0,11</b>
<b>S5(5-6)</b>	77,82 <sup>a</sup>	58,11 <sup>b</sup>	0,03
<b>S6(6-7)</b>	38,91 <sup>a</sup>	61,02 <sup>a</sup>	<b>0,04</b>
<b>Indice de consommation</b>			
<b>S4</b>	2,21 <sup>a</sup>	1,99 <sup>a</sup>	<b>0,48</b>
<b>S5</b>	2,17 <sup>a</sup>	2,46 <sup>b</sup>	<b>0,03</b>
<b>S6</b>	4,86 <sup>a</sup>	3,11 <sup>b</sup>	0,03

Le traitement n'a pas affecté le poids vif final Les données indiquent une différence significative en S5 et S6 en faveur du groupe traité. Enfin, l'alimentation séquentielle a amélioré significativement l'indice de consommation

### Effet de l'AS sur les indicateurs économiques

Les données sont consignées dans le tableau 6.

**Tableau 6.** Effet de l'AS sur le coût alimentaire

	Alimentation conventionnelle	Alimentation séquentielle
Aliment consommé en Kg	89,595	79,942
Prix du Kg d'aliment en F CFA	290,42	290,42
Coût de production du Kg	894,49	731,85

L'effet du traitement a réduit le coût alimentaire de l'aliment avec un écart de 112,131 FCFA par oiseau. Rapporté à un effectif moyen de 1000

oiseaux par bande et pour 04 rotations par année comme cela est courant, il y a un gain de 448 527,36 F CFA.

## **Discussion**

### **Effet de la présentation de l'alimentation séquentielle à base de la FFM sur la mortalité**

La fraction azotée et minérale comprenant les feuilles de manioc présentée en mode séquentiel n'a pas occasionné de mortalité durant la phase expérimentale. Ce taux confirme les résultats de Olajide et *al.*, (2012) en alimentation conventionnelle. Le traitement n'a donc pas eu d'effet nocif justifiant ainsi une bonne conduite des oiseaux. Cependant, une mortalité de 10% en fin d'expérience a été enregistré e par Guembo et *al.*, (2021) dans une présentation en mode séparé des feuilles de manioc.

### **Effet de la présentation de l'alimentation séquentielle à base de la FFM sur la consommation volontaire de l'aliment**

La consommation de la fraction énergétique a été plus élevée chez les témoins alors que la fraction azotée et minérale a été plus élevée chez les traités au cours de la période expérimentale. Ces résultats sont en désaccord avec ceux obtenus par Adzona et Banga Mboko (2017) où la consommation de la fraction azotée et minérale est plus importante chez les traités surtout pendant les deux dernières semaines. Ce fait serait lié à un apprentissage progressif et conduirait les poulets à distinguer les deux fractions (Bouvarrel et *al.*, 2007). Est-ce un appétit spé(cifique dû à certains ingrédients riches en MAT à l'instar du tourteau de sésame, de la farine de niébé et de la farine de poisson avec des taux d'incorporation respectivement de 15, 10 et 15% chez Adzona et *al.*, (2019) . Il se pourrait que la présence des feuilles de manioc dans la fraction protéinique ait affecté la prise de celle-ci. Dans tous les cas, l'ingestion d'aliment chez les oiseaux est plus impactée par la forme des aliments que par leur nature (Larbier et Leclerq 1992). Celle-ci peut être aussi liée à la recherche d'un nutriment particulier (calcium chez la poule pondeuse) au moment de la formation de l'œuf (Banga-Mboko et *al.*, 2003 ; Banga-Mboko et *al.*, 2007, Mantsanga et *al.*, 2016).

En revanche, la prise de la FFM devenait plus importante à la troisième semaine avec une différence significative chez les traités que chez les témoins. En effet, la FFM mélangée avec d'autres ingrédients est mieux consommée que lorsqu'elle est présentée à part entière dans une autre mangeoire comme évoqué par Guembo et *al.*, (2021). Il paraît donc mieux que la FFM soit mélangée avec d'autres ingrédients pour favoriser son ingestion. C'est pourquoi, les aliments en granulés où tous les ingrédients sont agglomérés sont recommandés car ils ne donnent aucune chance aux oiseaux de faire un tri particulière.

Par ailleurs, bien que l'intervalle de 4h entre les deux fractions soit jugé court par Nairot et *al.*, (1998); les poulets n'ont pas observé un jeûne (pour attendre la fraction protéinique) et donc pas de comportement de sous consommation de la fraction énergétique chez les traités dans cette étude. Par conséquent, le rapport entre l'énergie et les MAT en mode séquentiel est élevé confirmant le constat de Bouvarel et *al.*, (2009). Toutefois, la faible consommation totale d'aliment en mode séquentiel confirme les résultats de Bouvarel et *al.*, (2004) et de Umar et *al.*, (2010). Elle permet d'épargner de l'aliment (Traineau et *al.*, 2014). Cette technique donne les performances de croissance similaires voire meilleures que celles des oiseaux soumis à un régime d'aliment complet.

### **Effet de la présentation de l'AS à base de la FFM sur les performances pondérales**

Le GMQ obtenu chez les témoins a été plus élevé au cours des deux premières semaines alors qu'il est plus élevé à la troisième semaine chez les traités. La variation a été croissante chez les traités de la première à la troisième semaine. Par contre chez Ironkwé *et al.*, (1997,) elle chute entre la première et la deuxième semaine pour croître de façon significative entre la deuxième et la troisième semaine. L'argument qui plaide en faveur d'une période d'accoutumance en mode séquentiel sur l'amélioration de la consommation de la fraction protéinique au cours de deux dernières semaines et par conséquent du GMQ infirme nos résultats. A la fin de l'expérience, le GMQ de 56,57 g/j a été plus intéressant que celui obtenu par Zotomy (2014) sur la substitution du tourteau de soja par le tourteau de sésame. Cette tendance confirme d'ailleurs que le mode de distribution séquentiel soit préconisé par Umar et *al.*, (2010). Cette tendance a été constatée par Adzona et *al.*, (2019) avec le tourteau de sésame alors qu'elle est similaire à la troisième semaine. Chez les traités, il e a été similaire à la première semaine et plus élevé à la troisième semaine chez Adzona *et al.*, (2019) alors qu'il est plus faible à la deuxième semaine chez ce même auteur.

La prise de poids est meilleure aussi bien chez les témoins que chez les traités par rapport à celle enregistrée chez Adzona *et al.*, (2019) bien que la consommation de la fraction azotée et minérale soit plus importante chez cet auteur. Il faut souligner quand même chez cet auteur, la présence du son de blé et des drèches de brasseries (aliments riches en cellulose) dont l'incorporation pour ces deux ingrédients est de 12% pouvant affecter l'efficacité digestive de l'aliment consommé.

La limite de l'alimentation séquentielle souvent due au rapport élevé de E/P soulignée par Bouvarel (2009), avec un impact négatif sur la croissance pondérale n'a pas été le cas dans cette étude; les traités l'ont emporté sur les témoins.

## **Effet de la présentation de l'AS à base des FM sur l'indice de consommation**

Le meilleur indice de consommation a été obtenu chez les traités surtout au cours de la dernière semaine expérimentale. Les IC de cette étude sont plus élevés que ceux obtenus par Guembo et *al.*, (2021) lorsque les FM ont été présentées seules dans une mangeoire et dont la consommation était moins importante. De même, Aberra et *al.*, (2018) puis Ririn et *al.*, (2022) ont obtenu des IC plus faibles avec respectivement un supplément enzymatique et un remplacement des tourteaux de graines de noug par la FFM en alimentation classique. On pourrait penser qu'une prise plus élevée des FM réduirait l'efficacité alimentaire. Il a été enregistré aussi de meilleurs IC chez Adzona et *al.*, (2019) (avec le tourteau de sésame en mode séquentiel où à contrario la fraction azotée a été plus consommée.

## **Effet de la présentation de l'AS à base des FM sur l'analyse économique**

Le coût de production du kilogramme vif a été plus intéressant chez les traités que les témoins, ce qui est en effet en phase avec la conversion alimentaire. Cette tendance conforte les résultats obtenus par Adzona et *al.*, (2019) où le coût de production du kilogramme du poulet est plus faible lorsque l'aliment à base de tourteau de sésame est servi de manière fractionnée. Le même effet a été obtenu aussi par Guembo et *al.*, (2021) avec les feuilles de manioc seules dans une mangeoire chez les poulets de chair.

Le bénéfice économique résultant du mode de présentation séquentiel de l'aliment prouve l'intérêt de cette technique de nourrissage des volailles dans les pays en développement où les matières premières azotées sont généralement importées et très onéreuses.

## **Conclusion**

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet des feuilles de manioc dans un mode de présentation séquentiel. Les résultats ont révélé que les feuilles distribuées en mode séquentiel n'affectent pas la croissance pondérale. En revanche, le traitement a amélioré le GMQ, l'IC, la consommation des feuilles de manioc et le prix du kg d'aliment en finition. Il a été prouvé que l'utilisation des feuilles de manioc disponibles après la récolte des tubercules permet de réaliser des économies sur les rations alimentaires.

## **Remerciements**

Les auteurs expriment leur gratitude envers le personnel technique de la station agronomique de l'IRA.

**Conflit d'intérêts :** Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

**Disponibilité des données :** Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

**Déclaration de financement :** Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche

### **Ethique**

Le protocole expérimental utilisé dans la présente est conforme aux directives code d'éthique de la Délégation Générale à la Recherche scientifique. Au Congo-Brazzaville.

### **Références:**

1. Aberra M, Mengistu M. and Aster A. (2018). The Substitution Effect of Noug Seed (*Guizotia Abyssinica*) Cake with Cassava Leaf (*Manihot Escutulata* C.) Meal on Feed Intake, Growth Performance, and Carcass Traits in Broiler Chickens. *Journal of Animal Husbandry and Dairy Science* Volume 2, Issue 2, 2018, PP 1-9
2. Abu O. A, Olaleru I. F, Oke T. D, Adepegba V.A. and Usman B. (2015). Performance of broiler chicken fed diets containing cassava peel and leaf meals as replacements for maize and soya bean meal. *International Journal Sciences and Technical* 4(4) :169-172. <https://doi.org/10.9790/2380-08324146>
3. Adeyemi O. A, Jimoh B. et Olufade O.O. (2013). Soybean meal replacement with cassava leaf: blood meal mix with or without enzyme in broiler diets. *Archive Zootechnical*, 62(238): 275-285
4. Adzona P. P, Bonouga, Bati JB, Ndinga F. A, Onzomoko L. D, Itoua P. L, Kiki P. S, Dotchet I. O, Banga-Mboko H. et Youssao A K. (2019). Influence du tourteau de sésame en alimentation fractionnée séparée et séquentielle sur les performances zootechnique et économique du poulet de chair standard de la souche Coob 500. *Revue Internationale of Sciences Applied* 2(1) : 1-11.
5. Adzona P. P, et Banga-Mboko H. (2017). Effect of separating energetic feedstuffs in the finisher diet on performance of common guinea fowl (*Numida meleagris* L.1758) under tropical climate. *Journal Animals and Health Production* 5(4): 143-148.
6. Akinfala E. O, Aderibigbe A. O. et Mantannri O. (2002). Evaluation of the nutritive value of whole cassava plant as replacement for maize in starter diets for broiler chicken. *Liverstok Recherche Rural and Développement* ., 14(-6) :23-30.
7. Anonyme 2017 : Le manioc et ses techniques. [En ligne]. Disponible sur : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Boura\\_I](https://fr.wikipedia.org/wiki/Boura_I). Consulté le 12/06/2017.

8. Banga-Mboko H, Bordas A, Minvielle F, et Leroy P. L. (2003). Réponse à l'alimentation calcique séparée de poules pondeuse sélectionnées sur la consommation résiduelle. *Annales de Médecine Vétérinaire*, (147) : 51-58.
9. Banga-Mboko H, Mabandza-Mbanza B.B, Adzona P. P. et Batessana C. (2007). Réponse à l'alimentation calcique séparée de lignées commerciales de poules pondeuse Shaver dans les conditions tropicales du Congo Brazzaville. *Bulletin of Animal Production and Health in Africa*, (55) : 43 – 50.
10. Batonon D. I. (2014). Système d'alimentation alternatif pour le développement des filières volailles en régions chaudes. Thèse de doctorat de l'Université François-Rabelais de Tours France, 213P.
11. Bouvarel I, Barrier-Guillot D, Larroude P, Bouttene B, Leterrier C, Merlet F, Villarino M, Roffidal L, Tesseraud S, Casting J. et Picard M. (2004). Sequential feeding programs for broiler chickens: twenty-four and forty-eight-hour cycles. *Poultry Science*, 83(1), 49-60. <https://doi.org/10.1093/ps/83.1.49>
12. Bouvarel I., (2009). Variations d'ingestion chez le poulet de chair lors d'une alimentation séquentielle. Thèse de doctorat de l'institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, Paris, 19, 129p.
13. Guembo J. R, Adzona P. P, Bati J. B, Saboukoulou A. J, Ntsoumou M. V, Mabanza- Mbanza B. B, Pepah P. E, Ndinga A. F, Hornick J. L. & Banga-Mboko H. (2021). Effet de l'alimentation séparée à base des feuilles de manioc post-récolte sur les performances des poulets de chair en finition.. *Journal of Biological and Chemical Sciences* 15(5) :1937-1949. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i5.20>.
14. Houndonougbo M. F, Chrysostome C. A. et Houndonougbo V. P. (2012a). Performances de ponte et qualité des œufs des poules pondeuses ISA Brown alimentées avec des rations à base de feuilles séchées de manioc (*Manihot esculenta*, Crantz). *International journal of Biological and Chemical Sciences*,6(5) : 1950-1959.
15. Houndonougbo M. F, Chrysostome C. A. et Houndonougbo V. P. (2012b). Performances de ponte et qualité des œufs des poules pondeuses ISA Brown alimentées avec des rations à base de feuilles séchées de manioc (*Manihot esculenta*, Crantz). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol 6, N°5.pp 1950-1959. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i5.5>
16. Ironkwe M. O. and Ukanwoko A. I. (2012). Growth performance of broiler finisher birds fed composite cassava meal (CCM). *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 1(6): 30 – 34.
17. Larbier M et Leclercq B. (1992). Nutrition et alimentation des volailles. INRA (Editions): Paris, 355p.



18. Lukuyu B, Iheanacho O, Duncan A, Beveridge M. and Blümmel M. (2014). Use of cassava in livestock and aquaculture feeding programs. *International Livestock Research Institute*, (25):23-26.
19. Mantsanga B. H, Amona I, Banga-Mboko H, Bakana I. M. A. et Adzona P. P. (2016). Effet de l'alimentation calcique séparée sur les performances de production de la poule Lohman Brown sous climat tropical humide. *Journal Applied and Biosciences*. (97) :9212-921. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v97i1.6>.
20. Nassy M. L. M, Hauser S, Egwekhide M, Batawila K, Kulakow P. et Abberton M. (2020). Rendement en feuilles et racines de trois variétés améliorées de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) en réponse aux fertilisants organo-minéraux et à la récolte des feuilles au Sud-Ouest du Nigeria. *International Journal of Biological Chemiecal and Sciences* 14(4) : 1432-1447. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i4.21>
21. Noviadi R. and Candra A. A. (2016). Effect of pellet containing cassava leaves meal at various particle sizes on broiler R. *Bangladesh Society for Veterinary Medicine*, 14(1): 9-13. <https://doi.org/10.3329/bjvm.v14i1.28816>.
22. Ntsoumou M.V., Adzona P.P., Ndoulou T.M., Saboukoulou A.J. et Banga Mboko H. (2023). Rendement et Composition Chimique du Tourteau de Tetracarpidium conophorum (Müll. Arg.) Hutch. & Dalz Produit par Pression Mécanique et Hydrodistillation. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.9.2023.p388>
23. Olajide A. A. and Richard A. S. (2012). Performance of broiler chickens fed diets containing cassava leaf: blood meal mix as replacement for soybean meal. *Revue UDO Agricola. Animal Production. Nigeria*, 12(1) : 212-219.
24. Otabo F. R, Labeyrie V, Duval M. F, Mabanza J. et Mialoundama F. (2016). Diversité variétale de manioc sur la base des nominations vernaculaires des agriculteurs dans 4 bassins de production (Hinda, Loudima, Odziba et Oyo) en République du Congo. *Journal Applied and Biosciences* 104 : 9932-9941. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v104i1.5>.
25. Ririn A, Widya. and Muhammad R. (2022). Evaluation of cassava leaf meal (*Manihot esculenta* Crantz) in feed with enzymes supplementation on broiler performances. E3S Web of Conferences 335, 00012, The 2nd ICESAI 2022 . <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202233500012>
26. Traineau M, Bouvarel I, Mulsan C, Roffidal L, Launay C. and Lescoat P. (2014). Modulation of energie and protein supplies in sequential feeding in laying hens. *Animal*, 9(1), 49-57. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002092>.

27. Samba G. et Moundza P. (2007). Brazzaville, croissance urbaine et problèmes environnementaux. Centre de recherche sur les tropiques humides, Université Marien Ngouabi Congo, 15P.
28. Umar F. M, Bouvarel I, Mème N, Rideau N, Roffidal L, Tukur H.M, Bastianelli D, Nys Y. and Lescoat P. (2010). Sequential feeding using whole wheat and a separate protein-mineral concentrate improved feed efficiency in laying hens. *Poultry. Science.* 89: 785–796.
29. Zotomy M. C. (2014). Effets de la substitution du tourteau d’arachide de la ration par du tourteau de sesame (*Sesamum indicum*) sur les performances zootechnico-économiques du poulet de chair à Dakar (Sénégal). Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 93p.
30. Yo T, Siegel P.B, Guerin H. and Picard M. (1997). Self-selection of dietary protein and energy by broilers grown under a tropical climate: Effect of feed particle size on the feed choice. *Poultry Sciences*,1(51): 761467-1473. Fiche\_produit\_-\_ISA\_Brown.pdf (Hendrix-genetics.fr)

## **Cholécystectomie par Célioscopie de Lithiases Biliaires Symptomatiques chez une Jeune Femme de 34 Ans et Revue de la Littérature (Un Cas Clinique)**

***Oumarou Youssouf***

Service de médecine interne, Centre Hospitalier Universitaire  
communautaire de Bangui, République Centrafricaine

***Mamadou Sarifou Diallo***

Service d'hépatogastroentérologie de l'hôpital national Donka CHU  
Conakry, Guinée

***Riadh Mustapha***

***Chokri Mazlout***

***Mourad Hjaiej***

Tunisia Médical Services Polyclinique Hammamet, Tunisie

***Daniel Sylvere Ouimon***

Service de chirurgie pédiatrique CHU Pédiatrique de Bangui,  
République Centrafricaine

***Clotaire Donatien Raphaï***

Laboratoire National de Biologie et de la Santé Publique,  
République Centrafricaine

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p235](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p235)

Submitted: 18 January 2024  
Accepted: 27 February 2024  
Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)  
Under Creative Commons CC-BY 4.0  
OPEN ACCESS

*Cite As:*

Youssouf O., Diallo M.S., Mustapha R., Mazlout C., Hjaiej M., Ouimon D.S. & Raphaï C.D. (2024). *Cholécystectomie par Célioscopie de Lithiases Biliaires Symptomatiques chez une Jeune Femme de 34 Ans et Revue de la Littérature (Un Cas Clinique)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 235. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p235>

### **Résumé**

Introduction : La lithiase biliaire est une pathologie d'une grande fréquence ; elle est le plus souvent asymptomatique, mais peut se compliquer en impactant négativement la qualité de vie. L'ablation de la vésicule sous endoscopie est prometteuse. Nous rapportons un cas clinique pour discuter des modalités thérapeutiques à travers une revue de la littérature. Nous rapportons, l'observation d'une femme de 34 ans avec antécédent obese Elle nous a consulté en juin 2020 pour des vomissements post prandiaux chroniques avec

altération de l'état générale. Les examens paracliniques réalisés n'ont pas révélé une cause évidente. Evacuée à la polyclinique Hammamet à Tunis le diagnostic d'une lithiase vésiculaire a été posé et une ablation sous célioscopie était réalisée avec extraction de 13 gros calculs d'aspect cholestéroliques dont le diamètre moyen de 3 cm, et la pièce opératoire a trouvé un aspect histologique d'une cholécystite chronique diverticulaire en poussée aiguë modérée. La patiente est totalement guérie de sa maladie.

---

**Mots-clés:** Bangui, célioscopie, lithiase biliaire

---

## **Laparoscopic Cholecystectomy for Symptomatic Cholelithiasis in a 34-year-old Young Woman and Review of the Literature (A Clinical Case)**

*Oumarou Youssouf*

Service de médecine interne, Centre Hospitalier Universitaire  
communautaire de Bangui, République Centrafricaine

*Mamadou Sarifou Diallo*

Service d'hépto-gastroentérologie de l'hôpital national Donka CHU  
Conakry, Guinée

*Riadh Mustapha*

*Chokri Mazlout*

*Mourad Hjaiej*

Tunisia Médical Services Polyclinique Hammamet, Tunisie

*Daniel Sylvere Ouimon*

Service de chirurgie pédiatrique CHU Pédiatrique de Bangui,  
République Centrafricaine

*Clotaire Donatien Raphaï*

Laboratoire National de Biologie et de la Santé Publique,  
République Centrafricaine

---

### **Abstract**

Cholelithiasis is a very common pathology; it is most often asymptomatic, but can become complicated by negatively impacting quality of life. Removal of the gallbladder under endoscopy is promising. We report a clinical case to discuss therapeutic modalities through a review of the literature. We report the observation of a 34-year-old woman with a history of obesity. She consulted us in June 2020 for chronic postprandial vomiting with deterioration in general condition. Paraclinical examinations carried out did not reveal an obvious cause. Evacuated to the Hammamet polyclinic in Tunis,

the diagnosis of gallbladder lithiasis was made and an ablation under laparoscopy was carried out with extraction of 13 large cholesterol-looking stones with an average diameter of 3 cm, and the operating specimen found an appearance histology of chronic diverticular cholecystitis in moderate acute attack. The patient is completely cured of her illness. Conclusion: The interest of the work lies in the atypical case of symptomatic cholelithiasis which our technical platform did not allow to easily treat in our country.

---

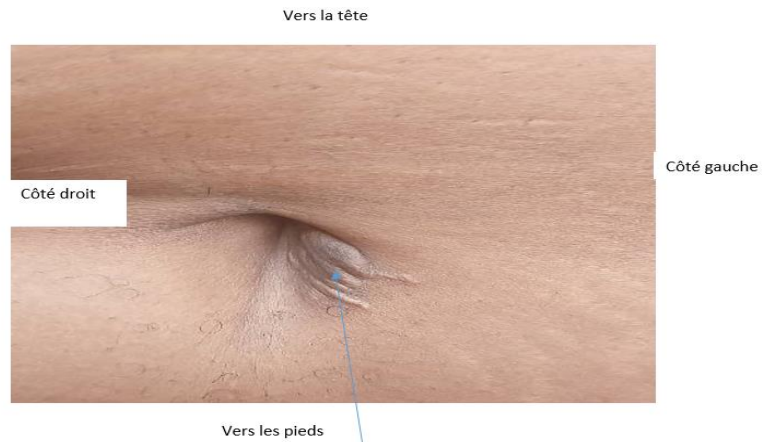
**Keywords:** Bangui, Cholecystoscopy, Gallstone

### **Introduction :**

La vésicule biliaire est un organe qui permet de stocker la bile que le foie produit. Elle est notamment active lors de la digestion en se contractant pour libérer la bile et la diriger vers un autre canal qui mène à l'intestin grêle. La bile libérée sert à la digestion des repas riches en graisse. Lorsque des calculs sont présents dans la vésicule, ils peuvent être transportés en même temps que la bile vers l'intestin grêle. La lithiase vésiculaire relève donc de la présence de ces calculs dans la vésicule et des complications que cela peut engendrer (Ashwant et al., 2014). En France, on notait une augmentation du taux national d'incidence de 167,5 pour 100 000 habitants de cholécystectomie (Bray et al 2019). Il existe deux grandes variétés de lithiase biliaire selon la constitution chimique des calculs. La lithiase cholestérolique faite de concrétion dont la composition comprend plus de 75 % d'un poids sec en cholestérol. On distingue la lithiase cholestérolique pure (20 % des cas) et mixte contenant également de bilirubinate de calcium (80 % de cas). Il n'y a aucune relation simple entre le contenu de la bile en cholestérol et les concentrations sérique du cholestérol. La seule relation à cet égard est indirecte : l'obésité est un facteur favorisant de la lithiase cholestérolique et parallèlement ces sujets ont une hypercholestérolémie. Le cholestérol est insoluble dans l'eau puisque c'est un lipide. Il existe donc un facteur de solubilisation dans la bile qui est constitué d'abord des acides biliaires (ou sels biliaires), ensuite des phospholipides. Ces substances forment des micelles quand elles sont mises en milieu aqueux et à l'intérieur de ces micelles les molécules hydrophobes peuvent être éliminées en particulier le cholestérol. La lithiase bilirubinique est due à une hypersécrétion biliaire de la bilirubine non conjuguée. Les deux principaux facteurs étiologiques sont l'hyper hémolyse rencontrée au cours des anémies hémolytiques (maladie de Minkowski chauffard, thalassémie majeure, drépanocytose, paludisme et prothèses valvulaires cardiaques) et la cirrhose.

### **Observation médicale :**

Il s'est agi d'une patiente âgée de 34 ans sans antécédent médicaux et chirurgicaux sont sans particularités, gestité 1 parité l'enfant à 12 ans. Elle nous a consulté le 3 août 2020 pour une épigastralgie, des vomissements postprandiaux précoces incoercibles, asthénie physique intense évoluant depuis deux mois obèse avec un indice de masse corporelle à  $44\text{kg/m}^2$  pas de signes de déshydratation elle avait effectué une numération formule sanguine, une vitesse de sédimentation une lipasémie, la créatininémie, la glycémie, l'ionogramme sanguin et une échographie du pancréas qui étaient tous sans particularité. Elle avait refusé de réaliser une la fibroscopie pour des raisons personnelles. Elle a été mise sous antiémétique et des inhibiteurs de la pompe à protons sans amélioration clinique notable. Devant la persistance de ces symptômes invalidants et néfastes pour la qualité de vie avec absentéisme au travail, elle était référée à la polyclinique Hammamet en Tunisie sur sa demande au mois d'août 2020. A Tunis elle avait réalisé une fibroscopie haute qui avait conclu à une gastropathie congestive antrale et fundique, la biopsie était sans particularité, l'échographie abdominopelvienne avait trouvé une lithiase vésiculaire avec utérus globuleux retroversé. La tomодensitométrie abdominale était sans anomalie. La lipasémie était de 49 UI/l, l'amylasémie à 90 UI/l, la cholestérolémie totale à 1.56g/l, la HDL à 37g/l, la LDL à 1,10 g/l, triglycéride à 64g/l, le Taux de prothrombine à 83,3%, les plaquettes à  $300000/\text{mm}^3$ . Tous les marqueurs viraux de l'hépatite étaient négatifs. La sérologie VIH était négative. Une cholécystectomie sous cœlioscopie (figure 1) avait permis d'extraire 13 gros calculs d'aspect cholestérolique (couleur jaune claire) (figure 2). La pièce opératoire examinée au laboratoire d'anatomopathologie avait conclu a un aspect histologique d'une cholécystite chronique diverticulaire en poussée aiguë modérée et une absence de signes histologiques de malignité. La suite opératoire était satisfaisante avec disparition de tous les symptômes de sa maladie. La patiente souriante a repris son travail après 14 jours post-opératoires.

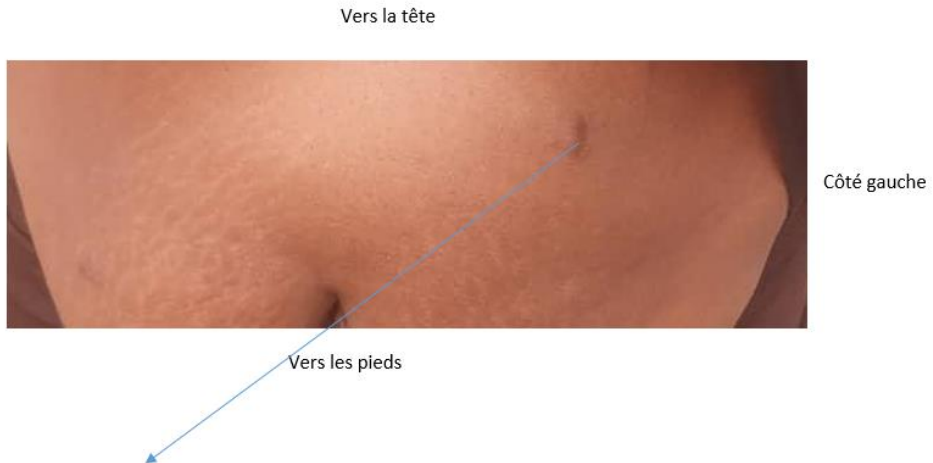


**Figure 1.** Image de cicatrisation de la plaie d'incision sous ombilicale (30/01/2024)



**Figure 2.** Image de cicatrisation de la plaie d'incision latérale droite de l'abdomen (30/01/2024)





**Figure 3.** Image de cicatrisation de la plaie d'incision latérale gauche de l'abdomen (30/01/2024)



**Figure 4.** Treize calculs d'aspect cholestéroliques extraient au cours de la cholécystectomie par cœlioscopie

## Discussion

La cholécystectomie est l'ablation de la vésicule biliaire. Il s'agit d'un « réservoir à bile », en forme de sac, située à la face inférieure du foie, qui se vidange après les repas pour faciliter la digestion des graisses. Les calculs sont



des « pierres » qui se forment dans la vésicule. Le Cholestérol, les sels biliaires, le calcium et la bilirubine entrent dans la composition de ces calculs, en proportion variable selon les individus. Ils sont asymptomatiques chez la plupart des sujets, mais peuvent se bloquer temporairement dans le canal cystique et provoquer des crises de douleur abdominale ou dans la voie biliaire et entraîner parfois un ictère, plus ou moins associée à une inflammation pancréatique. Une cholécystectomie est indiquée à partir du moment où les calculs sont responsables de symptômes, qu'il s'agisse d'une douleur abdominale isolée ou postprandiaux, des vomissements ou d'une complication infectieuse dans un tableau de septicémie. Que l'intervention soit réalisée par cœlioscopie ou par une incision, la technique chirurgicale est la même. L'opération consiste à enlever la vésicule biliaire. La voie d'abord cœlioscopique est pratiquée en l'absence de contre-indications (antécédents de chirurgie abdominale, insuffisance respiratoire). Le chirurgien gonfle d'abord l'abdomen du patient avec du dioxyde de carbone, puis il introduit par de petites incisions une caméra vidéo puis les instruments à travers la paroi abdominale. Le canal cystique et l'artère sont identifiés puis obturés par des clips en titane, puis la vésicule est détachée du foie. Une radiographie des voies biliaires peut compléter l'intervention. En fin d'intervention, la vésicule est retirée à travers l'une des petites incisions, et la paroi abdominale est fermée (Boufettal et al 2018). Le cas clinique de notre patiente traduit bien les complications de la lithiase où les calculs sont responsables des douleurs abdominales postprandiaux et des vomissements. Boutettal (Boufettal et al 2018) au Maroc avait rapporté un cas rare de cholécystectomie chez un patient jeune de 25 ans, sur situs inversus (également appelé situs transversus ou oppositus) qui désigne une anomalie congénitale dans laquelle les principaux organes et viscères sont inversés dans une position en miroir par rapport à leur disposition normale (Katalin et al 2022), diagnostiqué dans un tableau des douleurs de l'hypochondre gauche évoquant des coliques hépatiques. Par ailleurs l'échographie abdominale visualisait le foie et la vésicule biliaire dans l'hypochondre gauche et la lithiase vésiculaire. La prise en charge chirurgicale sous cœlioscopie est difficile dans le contexte du situs inversus à cause de malformations pulmonaires, vasculaires et surtout cardiaques associées en dehors de la dextrocardie. Plusieurs auteurs ont rapporté des cas de cholécystectomie sur lithiase chez les sujets situs inversus (Aray et al 2013 ; Reddy et al 2014 ; Campos et al 1991 ; Ali et al 2013). Medhouib (Medhouib et al en 2021) ont rapporté que la clairance de la voie biliaire principale était obtenue chez 95,5% des patients ayant des calculs et le traitement endoscopique était efficace dans 53,3% des cas. Les patients ont en général des calculs dans la vésicule biliaire. Par ailleurs, jusqu'à 10% des patients qui ont une lithiase vésiculaire symptomatique ont également une lithiase associée de la voie biliaire principale. Une lithiase de la voie biliaire principale peut

migrer dans le duodénum de façon asymptomatique. Une colique hépatique se produit lorsque les conduits sont partiellement obstrués. Une obstruction plus complète entraîne une dilatation des voies biliaires, un ictère et, à terme une angiocholite (infection bactérienne). Les calculs qui obstruent l'ampoule de Vater peuvent entraîner une pancréatite biliaire. Chez notre patient nous avons pensé aussi à une pancréatite biliaire mais la lipasémie était normale. Certains patients (habituellement âgés) peuvent présenter une obstruction biliaire lithiasique asymptomatique.

Dans une angiocholite aiguë, une obstruction des voies biliaires permet aux bactéries de remonter à partir du duodénum. La plupart (85%) des angiocholites sont dues à des calculs de la voie biliaire principale.

## **Conclusion**

La cholécystectomie sous cœlioscopie pour une lithiase biliaire symptomatique est une intervention salvatrice sans grand danger. Avec la nouvelle technologie chirurgicale notre pays aura à beaucoup gagner dans l'acquisition de matériel et personnel qualifié pour l'amélioration de l'état de santé de la population.

## **Approbation éthique**

**Déclaration pour les droits de l'homme:** Participants : Cette étude a été approuvée par le décanat de la faculté de médecine jouant le rôle du comité d'éthique et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été suivis.

**Conflit d'intérêts :** Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

**Disponibilité des données :** toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

**Déclaration de financement :** les auteurs n'ont reçu aucun financement pour cette recherche

**Contributions des auteurs :** Tous les auteurs ont contribué à la conduite de ce travail. Ils déclarent également avoir lu et approuvé la version finale du manuscrit.

## **Références:**

1. Ashwanth R, Surendran P, Naveen A, Abhilash, Vigneshwar R, Manoj T. Management of a patient with acute cholecystitis and common bile duct stones : case report. Int J Surg Case Rep.2014 ;5(11) :821-3. doi :10.16/j.ijscr.2014.08004.Epub2014 Aug 26.

2. Arya SV, Das A, Singh S, Kalwaniya DS, Sharma A, Thukral BB. Technical difficulties and its remedies in laparoscopic cholecystectomy in situs inversustotalis : a rare case report.international journal of surgery case reports.2013 ;4(8) :727-730.Published online 2013 Jun 6.doi :10.1016/j.ijscr.2013.05.012
3. Ali MS, Attas SM. Laparoscopic cholecystectomy in a patient with situs inversustotalis : case report with review of literature.BMJ Case Rep20137 ;2013.DOI :101136/bcr-2013-201231
4. Bray F, Balcaen T, Baro E, Gandon A,Ficheur G, Chazard E.Augmentation de l'incidence des cholécystectomies associées à une pathologie biliaire en France.Journal de chirurgie viscérale, volume 156, issue 3, June 2019 pages 236-243
5. Boufettal R, Erguibi D, Hajri A, Idrissi A, Rifki-jai S,chehab F : cholécystectomie laparoscopique sur situs inversus.The Pan African medical journal 2018 ;31 :183.Published online 2018 nov.15.French. DOI :10.11604/pamj.2018.31.183.14061
6. Campos L,Sipes E. Laparoscopic cholecystectomy in 39-year old female with situs inversus.J Laparoendosc Surg.1991 ;1(2) :123-5.discussion 126.DIO :10.1089/lps.1991.1.123.
7. Medhioub M, Khsiba A, Mahmoudi M, Mohamed AB, Hamzaoui L, Azouz MM .Tunis Med.2021 Feb ;99 (2) :233-237.Published online févr.1.frenc.PMC8636957
8. Katalin E, Andras B, Gabor T. Situs Inversus Totalis :A clinical review.Int J Gen Med.2022 Mar 3 :152437-2449. DOI :10.2147/JGM.S295444.eCollection 2022.
9. Reddy A, paramasivam S, Alexandre N, Ravisankar V, Thillalai M. Management of a patient with situs inversustotalis with acute cholecystitis and common bile duct stones : a case report.international of surgery case reports.2014 ;5(11) :821-823. doi :10.1016/j.ijscr.2014.08.004.Epub 2014 Aug 26.

**Etude Analgésique des Extraits Hydroéthanoliques de  
*Clerodendrum splendens* G. Don (Lamiaceae) et *Nephrolepis  
bisserata* (Sw.) Schott (Nephrolepidaceae) : Deux Plantes de la  
Pharmacopée Ivoirienne**

*Sylvie Noëlle Tidou, Doctorat*

*Landry Sylvain Kouakou, Enseignant-Chercheur*

*Gisèle Siransy Kouakou, Enseignant-Chercheur*

*Guédé Noëlle Zirih, Enseignant-Chercheur*

Université Felix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p244](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p244)

Submitted: 05 January 2024

Accepted: 27 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Tidou S.N., Kouakou L.S., Kouakou G.S. & Zirih G.N. (2024). *Etude Analgésique des Extraits Hydroéthanoliques de Clerodendrum splendens* G. Don (Lamiaceae) et *Nephrolepis bisserata* (Sw.) Schott (Nephrolepidaceae) : Deux Plantes de la Pharmacopée Ivoirienne. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 244. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p244>

## Résumé

La présente étude avait pour objectif général d'évaluer l'activité analgésique des extraits hydroéthanolique de *Clerodendrum splendens* et *Nephrolepis bisserata*. Cette étude s'est faite en utilisant le Writhing test induit par l'acide acétique 1% par voie intrapéritonéale et le test d'immersion de la queue chez la souris. Le paracétamol, à la dose de 100 mg/kg de poids corps corporelle (pc) et l'extrait hydroéthanolique ont été administrés par voie orale. La morphine à la dose de 10 mg/kg de pc a été administrée par voie intrapéritonéale. Les résultats ont montré que les extraits de *Clerodendrum splendens* et *Nephrolepis bisserata* administrés aux doses de 50, 100 et 200 mg/kg de pc chacun présentaient des pourcentages d'inhibition respectivement de 56,44 ; 61,28 ; 98,39 pour *Clerodendrum splendens* et 98,39, 87,10 ; 95,16 pour *Nephrolepis bisserata*. Par contre, le paracétamol a donné un pourcentage d'inhibition de 91, 93. Aux temps T30, la morphine a fortement prolongé le retrait de la queue des souris avec une moyenne de 8,6±0,2 s contre 3,6±0,2 s, 4,4±0,5 s et 5,6±0,2 s pour la solution de (*Clerodendrum splendens* + *Nephrolepis bisserata*) respectivement aux doses de 5 mg/ml, 10 mg/ml

et 15 mg/ml. Cependant à la 150<sup>ème</sup> minute, notre extrait a fortement prolongé les temps de retrait de la queue des souris avec des moyennes de  $8\pm 0,4$ ,  $10,6\pm 0,5$  et  $12,2\pm 0,4$  s (respectivement aux doses de 5 mg/ml, 10 mg/ml et 15 mg/ml) par rapport à celui de la morphine ( $6,2\pm 0,2$  s). L'effet analgésique de *Clerodendrum splendens* et *Nephrolepsis bisserata* justifierait l'utilisation de ces deux espèces de plantes par les populations pour soulager la douleur.

---

**Mots-clés:** Extrait hydroéthanolique, Analgésique, *Clerodendrum splendens*, *Nephrolepsis bisserata*

---

## **Analgesic Study of Hydroethanolic Extracts of *Clerodendrum splendens* G. Don (Lamiaceae) and *Nephrolepsis bisserata* (Sw.) Schott (Nephrolepidaceae): Two Ivorian Pharmacopoeia Plants**

*Sylvie Noëlle Tidou, Doctorat*  
*Landry Sylvain Kouakou, Enseignant-Chercheur*  
*Gisèle Siransy Kouakou, Enseignant-Chercheur*  
*Guédé Noëlle Zirih, Enseignant-Chercheur*  
Université Felix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

---

### **Abstract**

The general aim of the present study was to evaluate the analgesic activity of hydroethanol extracts of *Clerodendrum splendens* and *Nephrolepsis bisserata*. This evaluation was carried out using the Writhing test induced by 1% acetic acid intraperitoneally and the tail immersion test in mice. Paracetamol at a dose of 100 mg/Kg body weight (bw) and hydroethanol extract were administered orally. Morphine at a dose of 10 mg/kg bw was administered intraperitoneally. The results showed that extracts of *Clerodendrum splendens* and *Nephrolepsis bisserata* administered at doses of 50, 100 and 200 mg/Kg bw each presented inhibition percentages of 56.44; 61.28; 98.39, 98.39, 87.10; 95.16 respectively versus 91, 93 for paracetamol. At times T30, morphine greatly prolonged tail withdrawal in mice, with an average of  $8.6\pm 0.2$  s versus  $3.6\pm 0.2$  s,  $4.4\pm 0.5$  s and  $5.6\pm 0.2$  s for our (NB+CS) solution at doses of 5mg/ml, 10mg/ml and 15mg/ml respectively. However, at the 150th minute, our extract greatly prolonged the tail withdrawal times of the mice, with averages of  $8\pm 0.4$ ,  $10.6\pm 0.5$  and  $12.2\pm 0.4$  s (at doses of 5mg/ml, 10mg/ml and 15mg/ml respectively) compared with morphine ( $6.2\pm 0.2$  s). The analgesic effect of *Clerodendrum splendens* and *Nephrolepsis bisserata*

justifies their use by local populations to relieve pain.

---

**Keywords:** Hydroethanol extract, analgesic, *Clerodendrum splendens*, *Nephrolepis bisserata*

## Introduction

Dans le monde, les plantes ont toujours été utilisées par l'homme comme médicaments pour ses soins de santé (Dibong *et al*, 2011 ; Tahiri *et al*, 2012). Grâce aux nombreuses études scientifiques basées sur les activités pharmacologiques des plantes, le monde médical découvre de plus en plus le bien fondé des prescriptions empiriques des plantes médicinales (Lahsissene, 2009) et les propriétés intéressantes des métaboliques secondaires dans le traitement de certaines pathologies.

La douleur constitue de plus en plus un épineux problème de santé tant par le nombre de personnes qui en souffrent, que par les formes sous lesquelles elle se manifeste (Effo *et al.*, 2013) ; soulevant ainsi de nombreux défis auxquels se retrouvent confronter les thérapeutes ( Effo *et al.*, 2013). Les médicaments conventionnels couramment utilisés pour calmer les douleurs soulagent inconstamment les patients qui en souffrent et sont associés à de nombreux effets secondaires compromettant ainsi le succès du traitement (Koua *et al.*, 2017).

Selon l'OMS (2009), environ 1/5 de la population se plaint de douleur dont certaines ne sont pas calmées par les analgésiques les plus puissants. Ces médicaments sont donc devenus un problème majeur car ils entraîneraient des effets secondaires graves. De plus, ces médicaments sont souvent coûteux, onéreux, et inaccessibles à une grande majorité de la population.

Ainsi, la recherche de nouvelles molécules plus efficaces et présentant moins d'effets secondaires s'avère nécessaire. Le recours à la pharmacopée africaine, qui regorge de nombreuses plantes médicinales douées de diverses propriétés analgésiques et anti inflammatoires serait une alternative stratégique pour le traitement de la douleur (Sanogo *et al.*, 2006). Parmi ces plantes figurent *Clerodendrum splendens* et *Nephrolepis bisserata*, deux plantes utilisées en médecine traditionnelle pour traiter la douleur. Toutefois, peu d'études ont rapporté des données scientifiques qui justifieraient cet usage. C'est dans cette optique que cette étude a été initiée dont l'objectif visait à évaluer l'effet analgésique des extraits hydroéthanoliques de *Clerodendrum splendens* et *Nephrolepis bisserata*. Elle se fixe pour objectif spécifique de déterminer l'étude ethnobotanique de *Clerodendrum splendens* et *Nephrolepis bisserata* et d'évaluer l'activité analgésique périphérique et centrale.



## Matériel et méthodes

### Site d'étude

Le District de San Pédro, zone de notre étude est situé au sud-ouest de la Côte d'Ivoire, à 368 Km d'Abidjan. Elle s'étend sur une superficie de 12790 Km<sup>2</sup>. Elle est limitée au Nord par les Régions de la Nawa et du Cavally, à l'est par la région du Gbôklè, à l'ouest par le Libéria et au sud par l'océan Atlantique. La région de San Pédro comprend deux Départements: le Département San Pédro (chef-lieu) et le Département de Tabou (Figure 1).

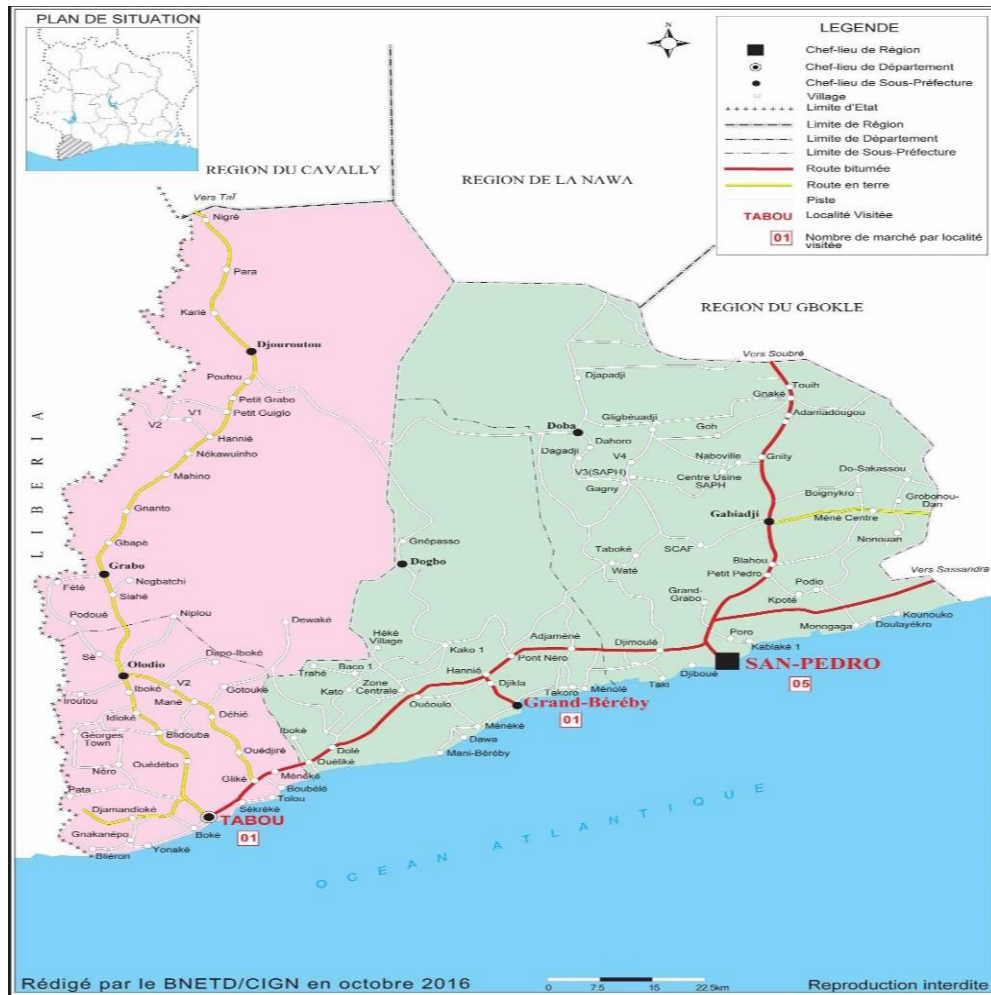


Figure 1. Carte de localisation de la zone d'étude

### Matériel végétal

Le matériel végétal était constitué de plantes entières de *Clerodendrum splendens* et de *Nephrolepis bisserata* (Figure 2 et Figure 3).



Figure 2. *Clerodendrum splendens*



Figure 3. *Nephrolepis biserrata*

### **Matériel animal**

Les souris *Mus musculus* de souche Swiss pesant entre 18 et 25 grammes ont été utilisées pour l'évaluation de l'activité analgésique. Elles ont été fournies par l'animalerie de l'UFR Sciences Pharmaceutiques et biologiques de l'Université Félix Houphouët-Boigny de Côte d'Ivoire.

### **Méthodes**

#### **Méthode de préparation des extraits**

Pour la préparation des extraits végétaux de *Clerodendrum splendens* et de *Nephrolepis biserrata*, une extraction a été réalisée selon le protocole mis au point par Zirihi *et al.* (2003). Cinquante gramme (50 g) de poudre de chacune des espèces de plantes ont été macérés pendant 40 minutes dans 3 litres de solution hydroéthanolique (éthanol 70 % + eau distillée 30 %) par homogénéisation dans un blender.

Après 40 min de macération, l'homogénat obtenu a été filtré sur un tissu blanc, puis sur du coton hydrophile et sur du papier filtre wattman N°4. Le filtrat obtenu a été évaporé à l'étuve à la température de 50 °C pour donner les différents extraits éthanoliques.

#### **Méthode d'étude de l'activité analgésique**

Les souris *Mus musculus* de souche Swiss provenant de l'animalerie de l'UFR Sciences Pharmaceutiques et biologiques de l'Université Félix Houphouët-Boigny ont été acclimatés et maintenues dans des cages pendant 24 heures avant le début de l'expérience dans des cages en plastiques hygiéniques et spacieux contenant des copeaux. La température ambiante était de 26±1° C, l'humidité de 50±5° C. Ces animaux bénéficiaient d'un cycle de 12 heures de lumière et 12 heures d'obscurité. Ils avaient libre accès à la



nourriture (granulés de la société FACI<sup>®</sup>, Fabrication d'Aliments Composés Ivoiriens) et disposaient d'eau du robinet dans des biberons. Deux méthodes ont été réalisées pour la mise en évidence du potentiel analgésique. Le premier test a été le test de contorsion induit par l'acide acétique à 1% en suivant la méthode décrite par Koster *et al.*, 1959 et Collier *et al.*, 1968. Le second a été le test de l'immersion de la queue de la souris dans l'eau tiède selon la méthode décrite par Janssen *et al.* (1963).

### ***Méthode d'étude de l'activité analgésique : test de contorsion***

#### **✓ Principe du test de contorsion induit par l'acide acétique à 1%**

Cette méthode a consisté à administrer les extraits aux souris, puis à dénombrer pendant 20 minutes les contorsions "cramping" induite par l'injection de l'acide acétique à 1%. Les substances douées de propriétés analgésiques, antiinflammatoires, myorelaxants, anticonvulsivants inhibent les contorsions.

**✓ Mode opératoire :** 48 souris ont été réparties en huit lots de six souris qui ont reçu par gavage les solutions à raison de 1 ml/100g pc, comme suit :

- Lot 1 (témoin négatif): solution de NaCl 0,9% ;
- Lot 2 (témoin positif): paracétamol à 100 mg/kg ;
- Lot 3 ; 4 et 5 : extrait hydroéthanolique de *Nephrolepis bisserata* à 50 ; 100 et 200 mg/kg;
- Lot 6 ; 7 et 8 : extrait hydroéthanolique de *Clerodendrum splendens* à 50 ; 100 et 200 mg/kg.

Après le prétraitement avec les solutions, les animaux ont reçu par injection intrapéritonéale de l'acide acétique à 1%. 5 minutes après l'injection de l'acide acétique, les souris ont été placées individuellement dans des cages transparentes pour observation. Le syndrome douloureux se manifestant par des mouvements d'étirement des pattes postérieures et des torsions de la musculature dorso-abdominale a été dénombré après 30 minutes puis 60 minutes après l'injection de l'acide acétique.

#### **✓ Mode d'expression des résultats**

L'activité antalgique exprimée en pourcentage de réduction de la douleur a été estimée selon l'équation ci-après :

$$\text{PIC (\%)} = \frac{\text{M1-M2}}{\text{M1}} \times 100$$

PIC : Pourcentage d'inhibition des contorsions,

M1 : Moyenne des contorsions du lot témoin,

M2 : Moyenne des contorsions du lot traité.

### ✓ Principe du test de l'immersion de la queue de la souris dans l'eau tiède :

Cette méthode a consisté à administrer les extraits aux souris, puis à tremper la queue de chaque souris dans de l'eau tiède à  $55\pm 5^{\circ}\text{C}$ , suivi de la mesure du temps de retrait de la queue de l'animal. Il a été établi que le temps normal de rétraction de la queue est de 2 secondes.

### Mode opératoire

Avant d'administrer les extraits, la queue de chaque souris a été trempée dans l'eau tiède à  $55^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ , puis celles dont le temps de retrait de la queue a été inférieur ou égal à 2 secondes ont été retenues pour l'expérience. Celles-ci ont été réparties en 5 lots de cinq souris qui ont reçu par gavage les solutions à raison de 1 ml/100g pc, comme suit :

- Lot 1 (témoin négatif) : eau physiologique NaCl (0,9%),
- Lot 2 (témoin positif) : morphine à 10 mg/kg,
- Lots 3, 4 et 5 : mélange d'extraits hydroalcooliques de *Clerodendrum splendens* + *Nephrolepis bisserata* à 50, 100 et 150 mg/kg de pc.
- Les lots 6 a reçu l'extrait hydroalcoolique du mélange et du naloxone respectivement aux doses 50 mg/kg de pc.
- Le lot 7a reçu l'extrait hydroalcoolique du mélange et du naloxone respectivement aux doses 150 mg/kg de pc.
- Le lot 8 a reçu la naloxone et la morphine.

Deux centimètres (2 cm) de la queue de chaque souris a été trempé dans l'eau tiède contenue dans un bain marie régler à la température de  $55^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Trente minutes (30 min) après l'administration des extraits, le temps de retrait de la queue a été enregistré après à l'aide d'un chronomètre numérique. Cette expérience a été reconduite après 90 min et 150 min. Au-delà de 15 secondes de maintien de la queue dans l'eau tiède, la queue de l'animal est retirée volontairement pour éviter des lésions sur les tissus de la queue.

$$\% P = \frac{\text{Temps essai} - \text{Témoin}}{15 - \text{Témoin}} \times 100$$

P= pourcentage d'inhibition

### Analyse et traitement des données

Les données ont été saisies et analysées avec le tableur Excel 2013 et Graph Pad Prism (version 8.0.2). Les résultats obtenus exprimés en moyenne  $\pm$  écart-type (SD) ont été comparés par analyse de variance (ANOVA) avec le test statistique Dunnett' au risque  $\alpha$  5%. Lorsque la p value était inférieur à 0,05 ( $p < 0,05$ ), la différence observée était significative.

### 3. Résultats

#### Test de contorsion

L'effet analgésique des extraits hydroalcooliques de *Clerodendrum splendens* et *Nephrolepis biserrata* lors du test de contorsions induit par l'acide acétique est représenté dans le tableau.

Trente minutes après avoir provoqué la douleur, *Clerodendrum splendens* à la dose de 200 mg/kg de pc a inhibé significativement la douleur à hauteur de 88,13% comparativement au NaCl 0,9% qui avoisinait 26,67%. Concernant *Nephrolepis biserrata*, ce même pourcentage a été obtenu pour une dose plus faible soit quatre fois moins élevée, de l'ordre de 50 mg/kg.

Une heure plupart après la douleur n'était toujours pas ressenti par les animaux aussi bien pour *Clerodendrum splendens* à la dose de 50 mg/ml que pour *Nephrolepis biserrata* à la dose de 50 mg/ml. Cet effet était supérieur à celui du paracétamol qui avoisinait 78% à 30 minutes et similaire après une heure à hauteur de 91,93%.

Périodes	30 minutes		60 minutes	
	Moyenne contorsions	% Inhibition	Moyenne contorsions	% inhibition
<b>NaCl 0,9%</b>	26,67±2,65 26,67±2,65	-	10,33±2,06 10,33±2,06	
<b>CS 50</b>	7,33±3,32 <sup>d</sup>	72,5	4,50±1,64**	56,44**
<b>CS 100</b>	7,667±1,1 <sup>d</sup>	71,25	4,00±1,09**	61,28*
<b>CS 200</b>	<b>3,16±1,7<sup>d</sup></b>	<b>88,13</b>	<b>0,17±0,40***</b>	<b>98,39</b>
<b>NB 50</b>	<b>3,167±1,32***</b>	<b>88,13</b>	<b>0,17±0,40***</b>	<b>98,39</b>
<b>NB 100</b>	4±2,44****	85	1,33±1,21***	87,1
<b>NB 200</b>	3±2,09****	88,75	0,50±0,83***	95,16
<b>Paracétamol 100</b>	5,67±3,6****	78,75	0,83±1,16***	91,93

**Tableau 1.** Evolution des % d'inhibition après administration de *Clerodendrum splendens* et *Nephrolepis biserrata*

Test de Wilcoxon : Les valeurs sont exprimées en moyenne des contorsions des souris (en seconde) ± E.S.M (erreur standard sur la moyenne) avec n= 6. ns : non significatif ; a\* ; b\*\* ; c\*\*\* ; d\*\*\*\* ; \*p<0,05 ; \*\*p<0,01 ; \*\*\*p<0,001 et \*\*\*\*p<0,0001 : statistiquement différent par rapport au lot Témoin.

#### Test de l'immersion de la queue de la souris dans l'eau tiède

Les effets de l'extrait hydroalcoolique de *Clerodendrum splendens* et de *Nephrolepis biserrata*, du naloxone et de la combinaison du naloxone et de

la morphine sont représentés dans le tableau 2. L'administration de la morphine (10mg/ml) a augmenté significativement le temps de retrait de la queue de la souris ( $p < 0,0001$ ) par rapport au témoin à T30, T90 et T150 minutes.

L'effet analgésique de la combinaison de l'extrait hydroalcoolique de *Clerodendrum splendens* et de *Nephrolepis bisserata* a été observé de manière significativement aux doses 5, 10 et 15 mg/ml au témoin tandis qu'aux doses de 5 et 15 mg/ml de l'extrait + naloxone l'effet n'a pas été significatif.

La dose de l'extrait hydroéthanolique de *Clerodendrum splendens* et de *Nephrolepis bisserata* à 10mg/ml a augmenté de façon significative ( $p < 0,05$  ;  $p < 0,0001$ ) de temps de retrait de la queue de la souris par rapport au temps du témoin T30, T90 et T150. Puis, la dose de 15mg/ml a été réduite de manière significative à T60 et à T150. L'extrait hydroéthanolique à la dose de 10mg/ml a présenté un effet analgésique similaire à la morphine.

		30 min		90 min		150 min	
		Temps retrait (seconde)	% inhibition	Temps retrait (seconde)	% Inhibition	Temps retrait (seconde)	% inhibition
Témoin	NaCl	3,01±0,3		3, 10		3±0,3	
Morphine		8,6 ±0,2****	87,34	8,2±0,4****	75	6,2±0,2**	36,36
Extrait	5mg/ml (NB+CS)	3,6±0,2*	5,17	5±0,3*	18,80	8±0,4***	71,43
Extrait	10mg/ml (NB+CS)	4,4±0,5*	13,11	5,4±0,2*	23,75	10,6±0,5****	63,33
Extrait	15mg/ml (NB+CS)	5,6±0,2****	27,55	6±0,3**	32	12,2±0,4****	75
Extrait	5mg/ml + Naloxone	2,2±0,3		3,8±0,2	6,07	3,4±0,2	3,57
Extrait	15mg/ml +Naloxone	3,8±0,4	6,25	4,8±0,2	16,47	5,2±0,4*	22,44
Naloxone	+ Morphine	4,6±0,2****	15,28	6,2±0,2**	32	6,4±0,8**	40,47

**Tableau 2.** Evolution des % d'inhibition après administration de la combinaison de *Clerodendrum splendens* et *Nephrolepis bisserata*

Test de Wilcoxon : Les valeurs sont exprimées en moyenne des temps de retrait des souris (en seconde) ± E.S.M (erreur standard sur la moyenne) avec n= 6. ns : non significatif ; \* $p < 0,05$  ; \*\* $p < 0,01$  ; \*\*\* $p < 0,001$  et \*\*\*\* $p < 0,0001$  : statistiquement différent par rapport au lot Témoin.

## Discussions

Afin d'évaluer l'activité analgésique des extraits de *N. bisserata* et *C. splendens*, les douleurs ont été provoquées expérimentalement par des stimuli chimiques et thermiques (Milind et Monu, 2013). L'injection intrapéritonéale de l'acide acétique chez la souris a induit des contorsions abdominales impliquant les récepteurs péritonéaux (Gisèle et al., 2014). En effet, l'acide acétique provoque la douleur en stimulant des chémorécepteurs conduisant à la libération de nombreux médiateurs chimiques impliqués dans la douleur tels que l'histamine, les prostaglandines (PGE 2), la sérotonine, la bradykinine (Kouakou et al., 2010 ; Bomba et al. 2013). Ces crampes sont dues à la production des prostaglandines, synthétisés à partir de l'acide arachidonique par l'enzyme cyclooxygénase ou «COX» (Remy et al., 2006 ; Hemayet, et al., 2012). Par ailleurs, les analgésiques périphériques comme le paracétamol inhibent la cyclooxygénase (Sawynok, 2003). Dans la présente étude, la solution des extraits de *N. bisserata* et *C. splendens* a baissé de manière significative le nombre de contorsions. Dans la première période, la molécule de référence (paracétamol 100 mg/kg de pc) a réduit la douleur avec un pourcentage d'inhibition de 78,75 %. Les extraits de *N. bisserata* et de *C. splendens* à la même dose (100 mg/kg de pc) ont diminué la douleur avec des pourcentages d'inhibition respectifs 85 % et 71,25 %. Le pourcentage d'inhibition de l'extrait de *N. bisserata* est supérieur à celui du paracétamol. Les substances actives de ces plantes contre la douleur interféraient avec les médiateurs de la douleur ou agiraient sur le système nerveux central (SNC) pour bloquer la transmission du signal douloureux (Anaga et Onehi, 2010). Les effets observés dans la présente étude suggèrent que les extraits pourraient soulager la douleur périphérique soit en bloquant les canaux ASIC, soit en inhibant la synthèse des prostaglandines et d'autres médiateurs de la douleur (Ukwuani et Hassan, 2014). Ce qui suggère que l'effet analgésique périphérique des extraits serait dû à l'inhibition de la COX. En effet, la présence de flavonoïdes et des tannins dans les extraits de *N. bisserata* et *C. splendens* pourrait être à l'origine de l'effet analgésique observé. Il a été démontré que ces substances possèdent des effets analgésiques puissants (Iliya et Woode, 2015). En effet, les flavonoïdes sont des inhibiteurs de la synthèse des médiateurs de la douleur par blocage des enzymes spécifiques impliquées dans la genèse de la nociception (Carrol et Simonson, 2005).

Le test d'immersion de la queue est basé sur l'observation que les composés de type morphinique sont capables de prolonger le temps de retrait de la queue chez la souris (Koua et al., 2017). Ce test fait intervenir une réponse comportementale réflexe d'origine spinale et est dû à la stimulation des interneurons spinaux pendant la transmission de l'influx nerveux nociceptif au niveau de la moelle épinière (Sherwood et McKay 2006 ; Zeraati et al, 2014). Dans la présente étude, la morphine 10 mg/ml (molécule de

référence) a augmenté significativement le temps de retrait de la queue de la souris par rapport au témoin durant tout le temps de l'observation.

L'effet analgésique de notre solution (*C. splendens* + *N. bisserata*) a été observé de manière significative aux doses de 10 mg/ml par rapport au témoin. La solution a retardé également la réaction des animaux face aux stimuli thermiques. Son action est proche de celle de la morphine, cela suggère qu'elle possède une activité analgésique à action centrale en augmentant le seuil de perception de la douleur. La solution aux doses de 10 et 15 mg/ml a présenté un effet analgésique supérieur à celle de la morphine (5 mg/ml) à la 150<sup>ème</sup> minute. Par ailleurs, la morphine provoque sur les récepteurs opiacés une analgésie spinale ou supra- spinale en réduisant le phénomène de libération des neurotransmetteurs ou en favorisant la libération de la dopamine induisant une sensation d'euphorie (Samad et Shah, 2013).

Ainsi, les principes actifs de *C. splendens* et *N. bisserata* agiraient donc directement au niveau du système nerveux central sur les récepteurs opiacés. Ces effets seraient dus à la présence de flavonoïdes, de tanins, de polyphénols (Ferreira, 2002). Ces propriétés biologiques des extraits de *N. bisserata* et *C. splendens* justifieraient leur utilisation en médecine traditionnelle. Kerharo et Bouquet (1950) stipulent que les frondes de *Nephrolepis biserrata* sont utilisés en frictions locales pour combattre les courbatures fébriles, les douleurs stomacales (Jiofack et *al.*, 2008).

Les activités analgésiques centrales et périphériques des extraits *N. bisserata* et *C. splendens* de la douleur justifie leur utilisation dans le traitement de la douleur par la population dans la région de San-Pedro.

## Conclusion

L'effet analgésique des extraits de *Nephrolepis bisserata* et *Clerodendrum splendens* a été évalué par le test de writhing et le test d'immersion de la queue chez la souris. Les extraits de plantes ont réduit de façon significative les douleurs induites par l'eau chaude et ont également inhibé celles induites par l'acide acétique. Il est évident que ces extraits de plantes possèdent des propriétés antalgiques centrales et périphériques. Ces activités étaient semblables à celle de la morphine et du paracétamol. Ainsi, ces résultats ont confirmé les vertus antalgiques de *C. splendens* et *N. bisserata* dans la région de San-Pedro.

## Remerciements

Nos remerciements sont adressés au Professeur Zirihi Guédé Noël (notre Directeur de Thèse) pour ses conseils, assistances et orientations lors de nos travaux. Nous remercions également Dr Landry Sylvain Kouakou (Enseignant-Chercheur à l'Université Houphouët-Boigny) pour son aide concernant les manipulations au laboratoire, et également la correction du

document. Nous remercions également tous ceux qui de près ou de loin nous ont apporté leur soutien en occurrence Bohoussou Crystel Natacha (Doctorante à l'Université Felix Houphouët- Boigny) pour son aide à la mise en forme du document.

**Études animales:** Des études sur des souris ont été incluses, les approbations appropriées ont été obtenues et les directives éthiques ont été suivies.

**Conflit d'intérêts :** Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

**Disponibilité des données :** Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

**Déclaration de financement :** Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

#### **Références:**

1. Anaga, AO et Onehi EV. (2010). Antinociceptive and inflammatory effects of the methanol seed extract of *carica papaya* in mice and rats. *African journal of pharmacy and pharmacology*, (4), 140-144.
2. Bomba, M., Meini, A., Molinaro, A., Cattalini, M., Oggiano S., Fazzi E., et Nacinovich R. (2013). Body experiences, emotional competence, and psychosocial functioning in juvenile idiopathic arthritis. *Rheumatology International*, (33), 2045-2052.
3. Carroll, GL, et Simonson, SM (2005). Recent developments in nonsteroidal antiinflammatory drugs in cats. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 41(6), 347-354.
4. Collier, HOJ., Dinneen, LC., Johnson, CA et Scheider, C. (1968). The abdominal contraction response and its suppression by antinociceptive drugs in the mouse. *British Journal of Pharmacology and Chemotherapy*, (32), 295-310.
5. Dibong, S.D., Mpondo, ME., Ngoye, A., Kwin, MF et Betti, JL. (2011). Ethnobotanique et phytomédecine des plantes médicinales de Douala, Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*, (37), 2496-2507.
6. Effen, KE, Kouakou-Siransy, G., Irie-Nguessan, G., Sawadogo, R.W, Dally, IL, Kamenan, AB et Kablan-Brou, J. (2013). Acute toxicity and antipyretic activities of a methanolic extract of *Alchornea cordifolia* leaves. *Pharmacology & Pharmacy*, 4(07), 1-6.
7. Ferreira, SH. (2002). Peripheral analgesic sites of action of anti-inflammatory drugs. *International journal of clinical practice. Supplement*, (128), 2-10.



8. Gisèle AAK., Désiré, DDP., Simplicite, FH., Théophile, D., et Pierre, K. (2014). Analgesic and anti-inflammatory effect of the aqueous extract of *Dichrostachys glomerata* (Forssk.) Hutch fruits. *European Journal of Medicinal Plants*, 4(8), 964-978.
9. Hemayet, H, Howlader , MD., Sariful, I., Dey, SK, Mondal, S., Hira, A., et Ahmed, A. (2012). Evaluation of phytochemical screening and antinociceptive properties of the ethanolic extract of *Vitis setosa* leaves. *Global J. Pharm. Res*, 1(4), 637-637.
10. Iliya, H. A., et Woode, E. (2015). Evaluation of analgesic property of petroleum ether/ethyl acetate stem bark extract and fractions of *Maerua angolensis* in murine models of pain. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5(2), 091-102.
11. Janssen, PAJ, Niemegeers CEJ et Dony JGH. (1963). The inhibitory effect of fentanyl and other morphine-like analgesic on the warm water induced tail withdrawal reflex in rats. *Arzneimittel forschung drug research*, (6), 502-507.
12. Jiofack, T., Fokunang, C., Kemeuze V., Fongnzossie, E., Tsabang, N., Nkuinkeu, R., et Nkongmeneck, B. A. (2008). Ethnobotany and phytopharmacopoea of the South-West ethnoecological region of Cameroon. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2(8), 197-206.
13. Kerharo, J. et Bouquet, A. (1950). *Plantes médicinales et toxiques de la Côte d'Ivoire et Haute Volta*, Edition Vigot frères, 301p.
14. Koster R., Anderson M. et De Beer EJ. (1959). Acetic acid for analgesic screening. *Federation Proceedings*, (18), 412-418.
15. Koua, DBK, Effo, EF, Kouakou, LS, Droucoula, CG et Yapi, FH. (2017). Physiologie de Douleur. *International Journal of biochemistry resear and review*, 20(4), 1-7.
16. Lahsissene H., Kahouadji A., Tijane M. & Hseini S. (2009). Catalogue des plantes médicinales utilisées dans la région de Zaër (Maroc occidental), Les éditions de lejeunia, liège(Belgique), 30p.
17. Milind, P., et Monu, Y. (2013). Laboratory models for screening analgesics. *Int Res J Pharm*, 4(1), 15-19.
18. Remy, I., et Michnick, SW. (2006). A highly sensitive protein-protein interaction assay based on *Gaussia luciferase*. *Nature methods*, 3(12), 977-979.
19. Samad, R., et Shah, TH. (2013). Comparison of caudal tramadol-bupivacaine and ketamine-bupivacaine for postoperative analgesia in children. *J surg pak int*, 18(3), 54-8.
20. Sanogo, R., Maïga, A. et Diallo, D. (2006). Activité analgésique et antiinflammatoire des extraits de *Maytenus senegalensis*, *Stereospermum kunyhanum* et *Trichilia emetica* utilisés dans le



- traitement traditionnel des dysménorrhées au Mali. *Pharm. Méd. Trad. Afr.*, (15), 123-136.
21. Sawynok, J.(2003). Topical and peripherally acting analgesics. *Pharmacological reviews*, 55(1), 1-20.
  22. Sherwood, AM, et McKay, WB. (2006). Assessment of spasticity and upper motor neuron dysfunction. *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*, (5), 3306-3315.
  23. Tahri, N., EL Basti, A., Zidane, L., Rochdi, A., Douira, A. (2012). Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la province de Settat (Maroc) *Journal of Forestry Faculty* 12(2), 192-208.
  24. Ukwuani, AN et Hassan, FF. (2014). Analgesic properties of *Tamarindus indica* Linn. stem bark fractions in albino rats. *Saudi Journal of Biomedical Research*, (3), 24-27.
  25. Zeraati, F., Shobeiri, F., Nazari M., Araghchian, M., et Bekhradi, R. (2014). Comparative evaluation of the efficacy of herbal drugs (fennelin and vitagnus) and mefenamic acid in the treatment of primary dysmenorrhea. *Iranian journal of nursing and midwifery research*, 19(6), 581.
  26. Zirihi, G., Kra, AKM et Guédé-Guina, F. (2003). Evaluation de l'activité antifongique de *Microglossa pyrifolia* (Lamarck O. Kuntze Asteraceae) "PYMI" sur la croissance in- vitro de *Candida albicans*. *Revue Med. Pharm. Afric.* 17(3), 11-18.