

European Scientific Journal, *ESJ*

August 2025

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

August 2025 edition vol. 21, No. 24

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 century¹. 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,

¹ Hopkins, J. R. (1995). Erik Homberger 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

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, Saarbrücken, Germany

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Łódź, Poland

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Anita Lidaka,
Liepāja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

Louis Valentin Mballa,
Autonomous University of San Luis Potosí, 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,
Shamakhy Astrophysical Observatory of the Ministry of Science and Education of the
Republic of Azerbaijan

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

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 Lorinczi,
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 Olavegogeoascoechea,
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 Gentzoglanis,
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

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

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

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

Pierluigi Passaro,
University of Bari Aldo Moro, Italy

Georges Kpazai,
Laurentian University, Canada

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

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

Natalia Sizochenko
Dartmouth College, USA

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 Brajcic,
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 Katsarska,
Air Force Academy, 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,
Holy Family 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 Supérieure 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 Politécnica de Chimborazo, Ecuador

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

Aderewa Amontcha,
Universite d'Abomey-Calavi, Benin

Khadija Kaid Rassou,
Centre Regional des Metiers de l'Education et de la Formation, Morocco

Rene Mesias Villacres Borja,
Universidad Estatal De Bolivar, 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 Tecnica 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,
Jigjiga 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 Cecilania 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 Yemmafouo,
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 Guédé University, Cote d'Ivoire

Sufi Amin,
International Islamic University, Islamabad 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,
Universidad Internacional de Valencia, 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

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 Radeljic,
Necmettin Erbakan University, Turkey

Anita Mandaric Vukusic,
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 Martin-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,
Dnoproptetrovsk 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

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

Nouredine 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 Bektashi,
"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 Gonzlez,
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

Soro Kolotcholoma Issouf
Peleforo GON COULIBALY University, Cote d'Ivoire

Compaore Inoussa

Université Nazi BONI, Burkina Faso

Dorothee Fegbawe Badanaro

University of Lome, Togo

Kouakou N'dri Laurent

Alassane Ouattara University, Ivory Coast

Jalila Achouaq Aazim

University Mohammed V, Morocco

Georgios Farantos

University of West Attica, Greece

Maria Aránzazu Calzadilla Medina

University of La Laguna, Spain

Tiendrebeogo Neboma Romaric

Nazi Boni University, Burkina Faso

Dionysios Vourtsis

University of West Attica, Greece

Zamir Ahmed

Government Dehli Degree Science College, Pakistan

Akinsola Oluwaseun Kayode

Chrisland University, Nigeria

Rosendo Romero Andrade

Autonomous University of Sinaloa, Mexico

Belamalem Souad

University Ibn Tofail, Morocco

Hoummad Chakib

Cadi Ayyad University, Morocco

Jozsef Zoltan Malik

Budapest Metropolitan University, Hungary

Sahar Abboud Alameh

LIU University, Lebanon

Rozeta Shahinaj

Medical University of Tirana, Albania

Rashidat Ayanbanke Busari
Robert Gordon University, UK

Tornike Merebashvili
Grigol Robakidze University, Georgia

Zena Abu Shakra
American University of Dubai, UAE

Table of Contents:

**Strengthening Pandemic Preparedness in Undergraduate Education
through Curricular Reform: Post-COVID-19 Insights.....1**

Dea Goderdzishvili

Elza Nikoleishvili

**Anomaly Detection in Portal System Networks: A Hybrid EMLOA-
OCSVM Approach and Review of Challenges.....21**

O.O. Green

S.M. Yusuf

M.B. Abdulraza

B. Yahaya

Z. Haruna

A. Ore-Ofa

S.O. Omogoye

A.S. Adegoke

S.O. Salami

**Activité hypoglycémiant des feuilles de *Tridax procumbens* chez des rats
rendus diabétiques par l'alloxane lors une étude comparative sur 30
jours.....57**

Delorme Arsène Vivien Kouassi

Adama Kamagaté

**La fibrillation atriale : aspects épidémiologiques, cliniques, paracliniques
et évolutifs au service de cardiologie du centre hospitalier universitaire de
l'amitié sino-centrafricaine (CHUASC) de Bangui.....71**

Lex Léonard Lénguébanga

Sergio Jefferson Gbayanguele

Léonard Pabingui

Jonh Onambelé

Le Roy Gremandji

Léopold Izamo

**Evolution des valeurs hématologiques des personnes vivant avec le VIH
sous traitement antirétroviraux du Centre national de transfusion
sanguine d'Abidjan.....83**

Louise Christelle Akouasso Abale

Ousmane Nagalo

Mariam Thanou

N'Guéssan Erneste Zougrou

Yao Abo

**Connaissance, attitude et pratique des patients vis-à-vis de l'HVB à
Bangui.....101**

Oumarou Youssouf

Jule Ngaya

Christy Ngollo

Allain Farra

Diallo Mamadou Sarifou

Hamidine Illa

Hourouma Sow

Kadiatou Doumbia

Sanra Déborah Sanogo

**Les décès liés aux traumatismes du trafic routier au Centre Hospitalier
Universitaire Yalgado Ouédraogo.....111**

I. Ouedraogo

N.M. Dabire

S. Tinto

A.S. Korsaga

A.J.I. Ouedraogo

A. Ouangre

M. Sawadogo

M. Tall

Examining Variations in Sensitivity of Cereal Crop Yield to Climate Change Variables across the Regions in Northern Ghana using Multilevel and Bayesian Multilevel Modeling.....127

William Kofi Nkegbe

Faisal Alhassan

Abukari Alhassan

Caractérisation physicochimique de 4 étangs piscicoles et analyse de la distribution temporelle de leurs macroinvertébrés benthiques dans la région du Centre (Cameroun).....145

Sidonie Chantal Ngo-Nseh

Azonfack Yannick Nzombi

Stevie Ndo

Lucas Leku Tangem

Jeannette Prudence Dakwen

Gideon Aghaindum Ajeagah

Processus de minéralisation et impact de l'irrigation sur les ressources en eau souterraine au Sahel : Cas du périmètre irrigué de Birni N'Konni (Sud-Niger).....175

Yacouba Nouhou Chaweye

Boukari Issoufou Ousmane

Yahaya Nazoumou

Guillaume Favreau

Marie Boucher

Rabilou Abdou Mahaman

Evaluation des Connaissances, Attitudes et Pratiques des maraîchers face à l'utilisation des pesticides en zone urbaine au Sénégal.....201

Saboury Ndiaye

Maurice Dasylya

Boubacar Camara

Landing Diedhiou

Boris Dasylya

Levy Georges Mendy

Mamadou Ndao

El Hadji Mamadou Dieye

Niveau de contamination des produits maraîchers par les métaux lourds issus des décharges sauvages dans le district d'Abidjan (Côte d'Ivoire).....225

Harding Charlemagne Assy

Désiré Yapi Assoi Yapi

Evaluation des mesures préventives face aux risques liés à l'exposition aux pesticides dans une entreprise agricole au Sénégal.....246

Bocar Baila Diédhiou

Absa Lam

Armandine Eusébia Roseline Diatta

Habib Touré

Aminata Touré

Matilde Cabral

Mor Ndiaye

**Caractéristiques structurales et écologiques des populations de quelques
espèces d'arbres à valeur commerciale des forêts classées de Sota et de
Wari-Marô au Bénin.....264**

Nicolas Atchade Samuel

Cossi Jean Ganglo

Strengthening Pandemic Preparedness in Undergraduate Education through Curricular Reform: Post-COVID-19 Insights

Dea Goderdzishvili, MD, PhD

Elza Nikoleishvili, MD, PhD

The University of Georgia, Tbilisi, Georgia

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p1](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p1)

Submitted: 23 June 2025

Accepted: 06 August 2025

Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Goderdzishvili, D. & Nikoleishvili, E. (2025). *Strengthening Pandemic Preparedness in Undergraduate Education through Curricular Reform: Post-COVID-19 Insights*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p1>

Abstract

Aims and Scope: The COVID-19 pandemic exposed widespread gaps in undergraduate biomedical and health sciences programs' ability to prepare future healthcare professionals for public health emergencies. This study aimed to identify key curricular indicators for strengthening pandemic preparedness in undergraduate education, using Georgia as a representative case study of a resource-constrained setting. **Methods:** A qualitative study was conducted using virtual semi-structured interviews with 33 educators recruited through purposive sampling based on teaching experience and disciplinary background. Participants represented medicine, public health, nursing, dentistry, and pharmacy programs - 30 from Georgian institutions and 3 international experts for data triangulation. Data collected from May to August 2024 were analysed using inductive thematic analysis in MAXQDA, a qualitative analysis software. Ethical approval was obtained from The University of Georgia School of Health Sciences Ethics Committee (Approval Number: N:11-6461). **Findings:** Three key curricular indicators emerged for strengthening pandemic preparedness: (1) institutional readiness by embedding pandemic-focused content and simulation-based learning into core curricula; (2) public health communication, including vaccine advocacy, crisis response messaging, and risk communication; (3) research and collaboration capacity through interdisciplinary and international engagement to build a

responsive academic workforce. **Conclusion:** Despite lessons from COVID-19, many undergraduate biomedical and health sciences programs continue to lack structured disaster preparedness instruction, leaving students unprepared for emergency response. The identified key indicators provide a foundation for undergraduate curricular reform. Using Georgia as an example, the findings present a scalable reform framework to strengthen pandemic preparedness, system resilience and better prepare future professionals for public health emergencies.

Keywords: Pandemic preparedness, curricular reform, simulation-based learning, interdisciplinary collaboration, public health emergency

Introduction

The COVID-19 pandemic revealed significant deficiencies in the preparedness of future healthcare professionals to respond effectively to public health emergencies. This systemic unpreparedness was not solely due to overwhelmed healthcare systems, characterised by patient surges, strained infrastructure, and shortages of nurses and physicians (Martin et al., 2023). It also stemmed from undergraduate biomedical and health sciences programs inadequately integrating essential competencies in outbreak management, infection control, crisis communication, and emergency response protocols, leaving students unprepared to contribute effectively during the pandemic (O'Byrne et al., 2020). These curricular shortcomings limited students' ability to engage meaningfully during the crisis and prompted urgent calls for comprehensive curricular reform, advocating for the inclusion of pandemic-related competencies in undergraduate education (Shrivastava et al., 2024). Recent international initiatives underscore the importance of embedding training in epidemiology, outbreak response, crisis communication, and simulation-based learning to build a more resilient and adaptable health workforce (University of Antwerp, 2025).

While high-income countries (HICs) experienced unexpected high levels of morbidity and mortality due to early viral spread and population vulnerability (Hodgins & Saad, 2020), their medical education systems were generally better positioned to sustain curricular continuity and adapt to emergency conditions. Robust infrastructure, widespread digital access, and pre-existing institutional readiness allowed many HICs to pivot rapidly to online learning, integrate simulation-based tools, and limit disruptions in student training (Connolly & Abdalla, 2022; Dawidziuk et al., 2021).

In contrast, low- and middle-income countries (LMICs) often lacked the foundational resources necessary to uphold educational delivery during lockdowns. Many students in LMICs had no access to internet at home, and institutions frequently struggled with unreliable connectivity, limited digital

tools, and a lack of trained support staff (Dawidziuk et al., 2021). As a result, efforts to adapt curricula were described as “very difficult,” particularly in the absence of systemic support (Connolly & Abdalla, 2022). Medical students were rarely engaged in structured pandemic response activities, further compounding the disconnect between education and public health needs. Although these curricular advantages in HICs did not directly reduce infection or mortality rates, they played a crucial role in maintaining continuous training and supporting workforce readiness during the crisis. Their systems enabled continuity in learning, rapid adaptation to online formats, and greater student involvement amid widespread public health challenges. By contrast, LMICs faced severe structural limitations that disrupted education and left students largely unprepared to engage meaningfully in pandemic response efforts (Marinoni et al., 2020). This disparity highlights the urgent need to build more resilient and adaptable educational systems in LMICs, not only to safeguard learning continuity, but to ensure future health professionals can contribute effectively during public health emergencies.

This call for reform is particularly acute in countries like Georgia, where workforce shortages and educational resource gaps intersect. While the country has one of the highest physician densities in the WHO European Region (561 per 100,000), a chronic shortage of nurses, pronounced urban and rural workforce imbalances, and a fragmented primary care infrastructure contributed to excess mortality rates well above the regional average during the COVID-19 pandemic (Zoidze et al., 2021; Ministry of Education, Science, Culture, and Sports of Georgia, 2020). Despite advancements in digital infrastructure and emergency services, Georgia’s education system did not implement coordinated strategies to train or engage biomedical and health sciences students in structured national emergency responses. Although the Ministry of Education and Science issued broad guidelines and supported digital transformation at the national level, there was a missed opportunity to embed structured pandemic preparedness into undergraduate curricula. This gap in curricular alignment limited students’ involvement in public health communication, surveillance, and frontline response efforts during the crisis. Although some senior medical students were mobilised through rapid-response training initiatives, these were reactive measures rather than systematically embedded components of their education. As a result, students remained largely unprepared and disengaged from organised national efforts, underscoring the disconnect between theoretical education and the practical demands of real-world emergency response (Richardson et al., 2025).

Embedding pandemic preparedness into undergraduate biomedical and health sciences education, through targeted training in infection prevention, crisis communication, disaster medicine, and One Health concepts, can serve as a form of primary prevention. Curricular readiness may

be measured through a combination of standardised assessments, simulation-based evaluations, and learner self-assessments, offering a holistic understanding of student competence in emergency contexts (Lee et al., 2023). Pre- and post-test models are particularly useful for assessing baseline knowledge and tracking improvements in cognitive and behavioural domains following curricular interventions (Saeed et al., 2023). Simulation exercises provide real-time insights into essential practical skills, including triage decision-making, proper use of personal protective equipment (PPE), and interdisciplinary collaboration under pressure (Shrestha et al., 2023). Self-assessment surveys further capture shifts in confidence, perceived preparedness, and willingness to respond before and after training (Tadese & Bihretie, 2021). Together, these assessment tools form a comprehensive framework for evaluating the effectiveness of pandemic-related curricula, positioning curricular reform not only as an academic necessity but as a strategic public health intervention that advances workforce development, institutional preparedness, and system-wide capacity building (Caruso, 2022). As such, integrating pandemic preparedness into undergraduate curricula is increasingly recognised as essential to strengthening both national and global health systems (Zoidze et al., 2021).

While several studies have examined the impact of the COVID-19 pandemic on undergraduate biomedical and health sciences education, most have focused on the immediate shift to online learning and the logistical challenges of maintaining educational continuity (Mojumder et al., 2025). Few have captured the perspectives of educators and curricular decision-makers, those with firsthand experience managing teaching and learning before, during, and after the pandemic, on how curricula can be strengthened to enhance pandemic preparedness. This remains a notable gap in the literature, particularly LMICs where vulnerabilities in education and health systems were most pronounced. Considering post-COVID insights from educators may provide a practical foundation for developing curricular reforms that enhance both preparedness and workforce adaptability in future emergencies.

This qualitative study, conducted as part of a broader doctoral research project, addresses this critical gap by exploring the perspectives of Georgian educators and curricular committee members across medicine, public health, nursing, pharmacy, and dentistry. Their insights, shaped by pedagogical expertise and first-hand experience during the COVID-19 crisis - navigating the evolving educational landscape, inform a scalable and contextually grounded framework for curricular reform. By using Georgia as a representative LMIC, the findings offer practical strategies aligned with international guidance and national priorities, providing valuable direction for countries in similar contexts seeking to enhance health workforce resilience and pandemic preparedness.

Methods

This qualitative study adopted a constructivist-interpretivist paradigm to explore how Georgian educators perceive and interpret pandemic preparedness within undergraduate biomedical and health sciences education. The research also examined how institutional and contextual factors influence their views on curricular reform.

Participant selection: semi-structured interviews were conducted with educators and curricular committee members from Georgian higher education institutions (HEIs). Participants were purposefully selected based on a minimum of five years of teaching experience in medicine, public health, nursing, dentistry, and pharmacy, ensuring diverse disciplinary representation and familiarity with the national academic context.

Data collection: data were collected between May and August 2024. Participants were recruited through email invitations, and those who agreed to participate provided written responses to semi-structured interview questions via Google Forms. Educators received four open-ended questions, while curricular committee members received six, designed to elicit both contextual insights and confirmatory perspectives on curricular development. The interview protocol was designed to gather reflections on both the perceived challenges during the COVID-19 pandemic and the proposed strategies for strengthening future preparedness through education.

Table 1. Semi-structured interview questions for Georgian Higher Education Institution (HEI) educators and curricular committee members

Study Participant	Interview Questions
Educators	1. In your opinion, how well do schools and faculties of biomedical and health sciences in Georgia prepare students for pandemic preparedness and response?
	2. Based on the experience of your university, how adequate is the material provided in the university's curricula in acquiring theoretical knowledge and practical skills on pandemic preparedness and response issues? If insufficient, what additional measures would you recommend to your university?
	3. How can you, as an HEI educator, encourage students to actively participate in community preparedness and response to pandemics, such as promoting vaccination, social distancing, or even participating in certain clinical cases?
	4. During the educational process at your university, do you use emergency simulation games and scenarios? If not, do you know of any other universities that have/are using similar simulation games in their curricula or extracurricular training for emergency preparedness?
Curricular Committee Members	1. Based on the experience at your university, to what extent does the undergraduate curriculum consider the theoretical knowledge and practical skills aspects of pandemic preparedness and response?

	2. Based on the experience at your university during the period of the COVID-19 pandemic or after, was there a need to adapt/change existing curricula?
	3. What specific changes were made at your university during or after the COVID-19 pandemic to improve teaching about preparedness and response to future pandemics?
	4. What general recommendations would you have for schools and faculties of biomedical and health sciences curricula to promote pandemic preparedness and response at the undergraduate level?
	5. Are you aware of any other universities (national or international) that have implemented curriculum content reform to promote preparedness and response to future pandemics that you would consider implementing at your university?
	6. During the educational process at your university, do you use emergency simulation games and scenarios?
	If not, do you know of any other universities that have/are using similar simulation games in their curricula or extracurricular training for emergency preparedness?

The sample size (n=30) was determined based on the principle of thematic saturation. Each participant completed the interview once. All participants received a copy of their submitted responses by email and were given the opportunity to request corrections or seek additional information through a designated contact address. To ensure anonymity and reduce potential bias, each participant was assigned a numerical identifier during data processing. Given that the lead researcher had prior professional relationships with some participants, extra measures were taken to blind participant identities during coding. The study protocol was reviewed and approved by the Ethics Committee of the University of Georgia, School of Health Sciences (Approval Number: N:11-6461). Informed consent was implied through voluntary completion of the interview form. The interviews were conducted by a public health PhD candidate with an MD degree. A reflexive thematic analysis was conducted using MAXQDA24 (version 24.5.1), following an iterative inductive coding approach. A single researcher independently coded the data, performing multiple coding rounds to enhance reliability.

The study's trustworthiness was established through the qualitative criteria: Credibility was strengthened by triangulating responses from three international curricular committee members - from Germany, Belgium, and Armenia - thereby reinforcing the broader applicability and relevance of the findings beyond the Georgian context. Dependability was established through iterative coding and a systematic filtration, ensuring consistency and reliability in theme development. Confirmability was maintained by validating findings with direct participant quotes to align with the respondent's authentic perspectives. Transparency was ensured through documentation of the

research process, noting limitations - such as imbalances in discipline representation.

Results

A total of 30 responses were collected from Georgian participants, including 25 educators and 5 curricular committee members, representing a range of disciplines. These included biomedical scientists (37%, n=11), clinicians (33%, n=10), public health specialists (13%, n=4), dentistry educators (10%, n=3), nursing educators (3%, n=1), and pharmacy educators (3%, n=1). The gender distribution among educators was predominantly female, with 20 women (80%) and 5 men (20%), while all five curricular committee members were female. Academic positions varied across participants, including 17 invited lecturers (57%), 9 associate professors (30%), and 4 full professors (13%). Table 2 summarises the demographic and professional characteristics of the study participants. Responses from three international curricular committee members, based in Germany, Belgium, and Armenia, were not included in the thematic analysis. Instead, their input was used exclusively to support triangulation, thereby enhancing the credibility and confirmatory depth of the findings.

Table 2. Descriptive characteristics of the study participants

Georgian Educators				
Numerical Identifier for Educators (E)	Gender	Discipline	Academic Position	Country
E1	Female	Clinician	Invited Lecturer	Georgia
E2	Female	Clinician	Invited Lecturer	
E3	Female	Biomedical Scientist	Associate Professor	
E4	Female	Biomedical Scientist	Associate Professor	
E5	Female	Biomedical Scientist	Invited Lecturer	
E6	Male	Biomedical Scientist	Invited Lecturer	
E7	Female	Clinician	Invited Lecturer	
E8	Female	Public Health Specialist	Associate Professor	
E9	Female	Clinician	Invited Lecturer	
E10	Female	Biomedical Scientist	Invited Lecturer	
E11	Female	Clinician	Invited Lecturer	
E12	Female	Public Health Specialist	Associate Professor	
E13	Female	Clinician	Invited Lecturer	
E14	Female	Dentistry Educator	Invited Lecturer	
E15	Female	Dentistry Educator	Invited Lecturer	

E16	Female	Biomedical Scientist	Associate Professor	
E17	Female	Clinician	Associate Professor	
E18	Male	Biomedical Scientist	Invited Lecturer	
E19	Female	Public Health Specialist	Full Professor	
E20	Female	Clinician	Associate Professor	
E21	Male	Biomedical Scientist	Invited Lecturer	
E22	Male	Biomedical Scientist	Invited Lecturer	
E23	Female	Pharmacy Educator	Invited Lecturer	
E24	Male	Biomedical Scientist	Invited Lecturer	
E25	Female	Clinician	Invited Lecturer	
Georgian Curricular Committee Members				
Numerical Identifier for Georgian Curricular Committee Member (C)	Gender	Discipline	Academic Position	Country
C1	Female	Biomedical Scientist	Full Professor	Georgia
C2	Female	Clinician	Associate Professor	
C3	Female	Public Health Specialist	Full Professor	
C4	Female	Nursing Educator	Full Professor	
C5	Female	Dentistry Educator	Associate Professor	
International Curricular Committee Members				
Numerical Identifier for International Curricular Committee Member (I)	Gender	Field	Academic Position	Country
I1	Female	Medicine	Vice Rector in Medicine	Belgium
I2	Male	Medicine	Vice Dean of General Surgery	Armenia
I3	Male	Medicine	Full Professor	Germany

As represented in Table 3, thematic analysis identified three major themes and six sub-themes, offering qualitative indicators for pandemic

preparedness and lessons from COVID-19. These findings provide insights into educators' perspectives on institutional readiness, public health communication, and research collaboration, highlighting key areas for strengthening pandemic preparedness in higher education.

Table 3. Thematic coding analysis of Georgian HEI educators and curricular committee members identifying qualitative indicators for pandemic preparedness

Theme	Sub-Theme	Sub-Category	Illustrative Quotes from Participants
Strengthening Institutional Readiness	Enhancing Core Curriculum for Pandemic Preparedness	Enhancing Practical Skills	“While this theoretical foundation is essential, it’s important to acknowledge that practical skills are equally crucial for effective pandemic management and we recognize the value of hands-on experiences” (International Curricular Committee Member 2, Medicine).
		Enhancing Infection Control / Epidemiology Knowledge	“More emphasis is needed on infection control, I would like to develop a separate independent module in the program in this direction” (Curricular Committee Member 5, Dentistry).
		Enhancing Preventive Medicine Teachings	“Our program tries as much as possible to develop the skills of a doctor as a health advocate in order to provide maximum support for healthy life, disease prevention, including through vaccination” (Educator 5, Medicine)
		Enhancing Pandemic Preparedness Training	“Pandemic preparedness and response issues still require special training, awareness raising, and learning, which is given less attention” (Educator 19, Public Health)
	Innovating Teaching Modalities	Optimising Hybrid Learning	“During the period of the COVID-19 pandemic we recognized the necessity to reorganize and order of our teaching courses to facilitate online learning. Technical solutions were identified and implemented to support this

			transition” (Curricular Committee Member 1, Medicine)
		Expanding Simulation-Based Learning	“Pandemic simulation exercises are also introduced into curriculum - by this students engage in mock pandemic scenarios and develop practical crisis management skills” (Curricular Committee Member 1, Medicine)
Enhancing Public Health Communication	Public Communication Strategies	Enhancing Emergency/Crises Communication	“Teach effective communication during crises. Role-play scenarios where students convey risk information to diverse audiences. Address misinformation and combat stigma” (International Curricular Committee Member 2, Medicine).
		Addressing Biopsychosocial Aspects of Community Health	“Considering that, according to the World Health Organization, human health includes not only physical well-being, but also psychological well-being, healthcare workers have to pay attention to these issues” (Educator 10, Medicine)
	Vaccination Advocacy	Training Students in Public Health Advocacy	“Involve students in community health assessments. They can participate in outbreak investigations, community education, and vaccination campaigns” (Curricular Committee Member 2, Public Health)
		Building Vaccine Trust and Awareness	“How to convince the patient to get vaccinated, how the citizen’s responsibility and motivation to comply with the established regulations can be increased” (Educator 10, Medicine)
Building Research and Collaborative Capacity	Research Integration	Encouraging Pandemic-Related Research	“Organising workshops and seminars, facilitating partnerships with local health organizations, promoting

			research opportunities, incorporating case studies in learning, encouraging peer education” (Educator 25, Medicine)
		Expanding Interdisciplinary Collaboration	“Encourage collaboration across disciplines (medicine, nursing, public health, pharmacy) to foster a holistic understanding of pandemics” (International Curricular Committee Member 3, Medicine)
		Expanding International Collaboration	“Highlight the interconnectedness of global health. Expose students to international responses, lessons from past pandemics, and the role of international organizations” (International Curricular Committee Member 2, Medicine)
	Knowledge Exchange and Lessons Learned	Applying Lessons to Future Crises	“Certain subjects need to be updated with specific considerations of pandemics, including lessons learned from COVID and future expectations” (Educator 22, Medicine)
		Facilitating Cross-Sectoral Knowledge Sharing	“Collaboration between teams such as public health, research, global health, infectious diseases, microbiology, information technology and etc. can provide students with a comprehensive understanding of pandemic management” (Curricular Committee Member 1, Medicine)
		Educator-to-Student and Peer-to-Peer Knowledge Sharing	“I see my role as a teacher in providing students with as much detail as possible. Information, article tactics, examples of existing experience” (Educator 7, Medicine)

Theme 1: Strengthening Institutional Readiness

This theme highlighted the need to equip students and faculty with essential crisis management skills. Over half of the participants (55%, n=16)

emphasised integrating pandemic preparedness training into curricula, while 48% (n=14) identified infection control and epidemiology as essential components. One educator noted: “Our unpreparedness and inadequate response to the previous pandemic demonstrate the need for curriculum revisions that incorporate lessons from COVID and future expectations” (Educator 22, Biomedical Scientist).

Additionally, 31% (n=9) prioritised enhancing practical skills and preventive medicine teachings: “The curriculum provides only theoretical knowledge, which is insufficient. It is necessary to deepen this knowledge, to add practical skills, to learn more about preventive measures” (Educator 3, Biomedical Scientist).

Furthermore, 38% (n=11) advocated for hybrid learning and simulation-based education, emphasising pandemic scenarios as crucial for real-world preparedness: “My university incorporate some emergency simulation games and scenarios into their curricula...These simulations can help students practice decision-making and response strategies in a controlled environment” (Educator 25, Clinician).

Theme 2: Enhancing Public Health Communication

Improving public health communication strategies during crises emerged as another key indicator. 45% (n=13) identified vaccine advocacy as essential, with 92% of those responses (n=12) stressing the need to train students in public health advocacy to build vaccine trust and combat misinformation: “Our program tries as much as possible to develop the skills of a doctor as a health advocate to provide maximum support for healthy life, disease prevention, including through vaccination” (Educator 5, Biomedical Scientist).

Additionally, two educators marked the importance of addressing biopsychosocial aspects, such as community well-being, to build resilience during pandemics: “The pandemic and the imposed regulations also had an impact on the emotional space of the population. We saw that people needed help in this direction as well” (Educator 10, Biomedical Scientist).

Theme 3: Building Research and Collaborative Capacity

This theme underscored advancing research and fostering collaboration. 48% (n=14) prioritised integrating pandemic-related research into curricula, while 66% (n=19) highlighted knowledge exchange, including cross-sectoral sharing (47%, n=9), as essential for strengthening collaboration: “The collaboration between teams such as public health, research, global health, infectious diseases, microbiology, information technology and etc. can provide students with a comprehensive understanding of pandemic management.” (Curricular Committee Member 1, Biomedical Scientist).

A smaller group (7%, n=2) reinforced expanding international discussions to enhance both local and global preparedness: “We are in the process of researching and identifying best practices from other universities, both national and international, that have implemented curriculum content reforms to promote preparedness and response to future pandemics.” (Curricular Committee Member 2, Clinician)

Discussion

Principle Findings and Contributions

This study explores core indicators for enhancing pandemic preparedness in undergraduate biomedical and health sciences education. It focuses on curricular reform, public health communication, and interdisciplinary collaboration, offering a context-specific perspective grounded in the experiences of Georgian educators and curricular committee members. Unlike studies that concentrate on broad institutional or policy recommendations, this research provides practical, curriculum-level strategies tailored to local realities. Pandemic preparedness has been widely addressed in educational research, particularly in relation to incorporating pandemic-related content, strengthening competency-based frameworks, and aligning training with health policy. Many biomedical and health sciences programs continue to lack structured disaster preparedness instruction, leaving students unprepared for emergency response. Prior studies emphasize that outbreak management and response skills should be embedded across the curriculum to ensure graduates are equipped with essential competencies (Martin et al., 2020; Miller et al., 2023).

Simulation and Curricular Innovation

One of the most prominent findings of this study is the need for simulation-based education. Participants identified simulation as a key tool to bridge the gap between theory and practice, enhancing students’ decision-making and crisis management in a controlled learning environment. As one international committee member noted: “Students can practice contact tracing, triage, and resource allocation. Virtual simulations allow scalability and adaptability.” This aligns with evidence showing that simulations improve teamwork, preparedness, and critical thinking in clinical scenarios (O’Byrne et al., 2020) while post-simulation debriefings help reinforce strengths and identify areas for improvement (Dalkiliç, 2023). Research further supports the use of simulation in preparing students for high-stress situations such as triage and resource distribution during pandemics (Khan et al., 2020, Shah et al., 2024). In addition to simulation, participants stressed the importance of developing flexible and continuously updated curricula that reflect evolving educational needs. One committee member suggested: “Integrate pandemic-

related content throughout the curriculum rather than confining it to specific courses. Embed discussions on outbreak investigation, infection control, and crisis communication.” Embedding these topics across the curriculum, rather than isolating them, fosters a more holistic readiness. Competency-based programs, which include mandatory training in the use PPE and hands-on exercises in full protective gear, were seen as essential components of preparedness (Boutros et al., 2023). Elective courses like the Pandemic Preparedness Summer School, which offers interdisciplinary teaching in outbreak response and vaccine confidence, demonstrate how targeted programs can strengthen institutional preparedness and could be adapted by Georgian universities (University of Antwerp, 2025).

Communication, Collaboration and Student Support

Participants consistently highlighted the need to strengthen students’ public health communication skills. Several educators stressed that COVID-19 revealed how miscommunication and misinformation undermined public trust. Elective courses in vaccine advocacy were proposed to address these gaps. Literature supports the link between improved vaccine education and professionals’ ability to effectively communicate with patients (Misztal-Okóńska et al., 2020; Sojati et al., 2024). This aligns with broader global trends that emphasize communication training as a tool to combat misinformation and vaccine hesitancy (Kelekar et al., 2021; Onello et al., 2019). Interdisciplinary collaboration and practical fieldwork were also identified as essential elements for effective pandemic preparedness. A committee member emphasised: “Internships and fieldwork opportunities with local health departments, hospitals, and public health organizations are of utmost importance to ensure and promote pandemic preparedness at the undergraduate level.” Such initiatives support real-world skill development and foster teamwork across disciplines. Team-based learning strategies involving students from medicine, nursing, and public health - have proven effective in preparing for outbreak response (Soklaridis et al., 2023; Soemantri et al., 2023). Strengthening connections between academic institutions and public health agencies was viewed as critical to long-term preparedness (Gardanova et al., 2023). Structured interdisciplinary simulations also contribute to better coordination and joint decision-making (Jordan et al., 2022). Finally, educators emphasised the need to prioritize students’ psychological well-being. The pandemic highlighted the mental health burdens faced by students in health professions, reinforcing the importance of faculty mentorship, peer support, and access to psychological resources. Addressing these needs further enhances resilience of the future workforce (West et al., 2024; Chandratre et al., 2021).

Limitations

Several limitations should be considered when interpreting the findings of this study. First, the use of written responses in place of real-time interviews may have limited the depth and spontaneity of participant insights. Second, participants did not validate the final findings, which may affect reflexivity. Third, as the study focuses on Georgia, the transferability of results to education systems in other countries may be limited by contextual differences in policy, infrastructure, and resources. Despite these limitations, the study also has notable strengths. It gathered input from educators across five disciplines, providing a broad view of curriculum challenges and reform needs. Triangulation with international perspectives strengthened the reliability and relevance of the findings. Reflexive thematic analysis allowed context-rich insights grounded in the lived experiences of educators actively engaged in pandemic-era teaching and curriculum development.

Conclusion

This qualitative study explored how pandemic preparedness can be strengthened in undergraduate biomedical and health sciences education by analysing the perspectives of Georgian educators and curricular committee members across medicine, public health, nursing, pharmacy, and dentistry. Their insights emphasize the importance of integrating targeted training in infection prevention, crisis communication, simulation-based learning, and interdisciplinary collaboration as part of a broader curricular reform agenda. These findings reinforce the central argument that curricular reform is not only an educational priority but also a strategic intervention to build a more resilient and responsive health workforce.

By presenting a contextually grounded yet scalable framework aligned with both international guidance and national priorities, this study contributes to the ongoing discourse on pandemic preparedness in health professions education, particularly in low- and middle-income countries (LMICs). The proposed interventions - such as embedding pandemic content into coursework, incorporating real-life scenarios through simulation-based learning, and promoting interdisciplinary knowledge-sharing - offer concrete strategies for institutions pursuing curricular reform. These targeted interventions not only enhance student competencies but also support the development of a resilient and adaptable healthcare workforce, capable of responding effectively to future public health emergencies. By emphasizing structured training tools - such as infection control modules and communication exercises - and active learning strategies that foster engagement and collaboration, the study further reinforces how educational reform can strengthen both preparedness and adaptability.

While some limitations apply, the perspectives captured offer valuable direction for similarly positioned countries seeking to enhance health workforce resilience and emergency readiness. Future research should aim to broaden participant representation and explore the longitudinal effects of preparedness-focused curricula on student competencies, graduate readiness, and workforce resilience.

Acknowledgment

This study is part of an ongoing doctoral research study in public health. A special thank you to Dr. Mzia Jashi for all her valuable contributions and support; permission to include her name has been obtained. Artificial Intelligence (AI) tools were used for grammatical and stylistic refinements. All research, data analysis, and interpretations remain entirely conducted by authors.

Conflict of Interest: The authors declare that they have no competing interests.

Funding Statement: The authors did not obtain any funding for this research.

Data Availability: All study questions are included in the content of the paper. Detailed participant responses are not publicly available due to ethical and privacy considerations regarding confidentiality. Anonymised transcripts or full data can be provided upon reasonable request to the corresponding author.

Declaration for Human Participants: This study has been approved by The University of Georgia School of Health Sciences Ethics Committee (Approval Number: N:11-6461). All procedures involving human participants complied with the ethics committee's guidelines and the principles of the Helsinki Declaration.

References:

1. Boutros, P., Kassem, N., Nieder, J., Jaramillo, C., Von Petersdorff, J., Walsh, F. J., Bärnighausen, T., & Barteit, S. (2023). Education and Training Adaptations for Health Workers during the COVID-19 Pandemic: A Scoping Review of Lessons Learned and Innovations. *Healthcare*, 11(21), 2902. <https://doi.org/10.3390/healthcare11212902>
2. Caruso, C. (2022, November 17). COVID-19's Lessons for Future Pandemics. *Harvard Medical School*. Retrieved June 21, 2025, from <https://hms.harvard.edu/news/covid-19s-lessons-future-pandemics>

3. Chandratre, S., Knight, C., & Dodson, L. (2021). Supporting Medical Student Mental Health during COVID-19: Strategies Implemented for an Accelerated Curriculum Medical Campus. *Journal of Medical Education and Curricular Development*, 8. <https://doi.org/10.1177/23821205211006392>
4. Connolly, N., & Abdalla, M. E. (2022). Impact of COVID-19 on medical education in different income countries: a scoping review of the literature. *Medical Education Online*, 27(1). <https://doi.org/10.1080/10872981.2022.2040192>
5. Dalkılıç, S. (2023). Evaluation of Health Management Education Curriculum in terms of Disaster Management. *Journal of International Health Sciences and Management*, 9(18), 44–51. <https://doi.org/10.48121/jihsam.1317458>
6. Dawidziuk, A., Kawka, M., Szyska, B., Wadunde, I., & Ghimire, A. (2021). Global Access to Technology-Enhanced Medical Education During the COVID-19 Pandemic: The Role of Students in Narrowing the Gap. *Global Health: Science and Practice*, 9(1), 10–14. <https://doi.org/10.9745/ghsp-d-20-00455>
7. Gardanova, Z., Belaia, O., Zuevskaya, S., Turkadze, K., & Strielkowski, W. (2023). Lessons for Medical and Health Education Learned from the COVID-19 Pandemic. *Healthcare*, 11(13), 1921. <https://doi.org/10.3390/healthcare11131921>
8. Hodgins, S., & Saad, A. (2020). Will the Higher-Income Country Blueprint for COVID-19 Work in Low- and Lower Middle-Income Countries? *Global Health: Science and Practice*, 8(2), 136–143. <https://doi.org/10.9745/ghsp-d-20-00217>
9. Jordan, S. R., Connors, S. C., & Mastalerz, K. A. (2022). Frontline healthcare workers' perspectives on interprofessional teamwork during COVID-19. *Journal of Interprofessional Education & Practice*, 29, 100550. <https://doi.org/10.1016/j.xjep.2022.100550>
10. Kelekar, A. K., Lucia, V. C., Afonso, N. M., & Mascarenhas, A. K. (2021). COVID-19 vaccine acceptance and hesitancy among dental and medical students. *The Journal of the American Dental Association*, 152(8), 596–603. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2021.03.006>
11. Khan, J. A., & Kiani, M. R. B. (2020). Impact of multi-professional simulation-based training on perceptions of safety and preparedness among health workers caring for coronavirus disease 2019 patients in Pakistan. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*, 17, 19. <https://doi.org/10.3352/jeehp.2020.17.19>
12. Lee, T. W., Damiran, D., Konlan, K. D., Ji, Y., Yoon, Y. S., & Ji, H. (2023). Factors related to readiness for practice among undergraduate

- nursing students: A systematic review. *Nurse Education in Practice*, 69, 103614. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2023.103614>
13. Marinoni, G., Van't Land, H., & Jensen, T. (2020). *The impact of COVID-19 on higher education around the world: IAU global survey report*. https://www.iau-aiu.net/IMG/pdf/iau_covid19_and_the_survey_report_final_may_2020.pdf
 14. Martin, A., Blom, I. M., Whyatt, G., Shaunak, R., Viva, M. I. F., & Banerjee, L. (2020). A rapid systematic review exploring the involvement of medical students in pandemics and other global health emergencies. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 16(1), 360–372. <https://doi.org/10.1017/dmp.2020.315>
 15. Martin, B., Kaminski-Ozturk, N., O'Hara, C., & Smiley, R. (2023). Examining the impact of the COVID-19 pandemic on burnout and stress among U.S. nurses. *Journal of Nursing Regulation*, 14(1), 4–12. [https://doi.org/10.1016/s2155-8256\(23\)00063-7](https://doi.org/10.1016/s2155-8256(23)00063-7)
 16. Miller, J. L., Rambeck, J. H., & Snyder, A. (2014). Improving Emergency Preparedness System Readiness through Simulation and Interprofessional Education. *Public Health Reports*, 129(6_suppl4), 129–135. <https://doi.org/10.1177/00333549141296s417>
 17. Miller, S., St Onge, E., Buring, S., Allen, J., Patel, P., Pullo, J., Schmittgen, J., & Whalen, K. (2023). Curricular changes in times of crisis: Lessons learned. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 15(1), 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2023.02.014>
 18. Ministry of Education, Science, Culture and Sports of Georgia. (2020). *Pandemic and general education in Georgia*. https://mes.gov.ge/mesgifs/1609844890_2020-Annual-report-ENG.pdf
 19. Misztal-Okońska, P., Goniewicz, K., Hertelendy, A. J., Khorram-Manesh, A., Al-Wathinani, A., Alhazmi, R. A., & Goniewicz, M. (2020). How medical studies in Poland prepare future healthcare managers for crises and disasters: results of a pilot study. *Healthcare*, 8(3), 202. <https://doi.org/10.3390/healthcare8030202>
 20. Mojumder, B., Uddin, M. J., & Dey, K. (2025). Perspectives, preparedness and challenges of the abrupt transition of emergency online learning to traditional methods in higher education of Bangladesh in the post-pandemic era. *Discover Education*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00417-6>
 21. O'Byrne, L., Gavin, B., & McNicholas, F. (2020). Medical students and COVID-19: the need for pandemic preparedness. *Journal of Medical Ethics*, 46(9), 623–626. <https://doi.org/10.1136/medethics-2020-106353>

22. Onello, E., Friedrichsen, S., Krafts, K., Simmons, G., & Diebel, K. (2019). First year allopathic medical student attitudes about vaccination and vaccine hesitancy. *Vaccine*, 38(4), 808–814. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2019.10.094>
23. Pandemic Preparedness | Pandemic Preparedness | Summer School | Antwerp Summer University | University of Antwerp. (n.d.). <https://www.uantwerpen.be/en/summer-winter-schools/pandemic-preparedness/>
24. Richardson, E., Tvaliashvili, M., Gviniadze, K., Roubal, T., World Health Organization, & European Observatory on Health Systems and Policies. (2025). *Health Systems in Action (HSIA) insights: Georgia*. European Observatory on Health Systems and Policies, WHO Regional Office for Europe. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/380264/9789289059770-eng.pdf?sequence=2>
25. Saeed, S., Raza, M., Kaleem, S., Qureshi, S., Hussain, A., Aslam, N., & Madhwani, A. (2023). Combatting with challenges in medical education during COVID-19 pandemic: A mixed-methods study on the effectiveness of e-learning in pediatric clinical clerkship of a university hospital, Pakistan. *E-Learning and Digital Media*, 21(3), 255–272. <https://doi.org/10.1177/20427530231156177>
26. Shah, M. H., Roy, S., & Flari, E. (2024). The critical need for disaster medicine in modern medical education. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 18. <https://doi.org/10.1017/dmp.2024.56>
27. Shrestha, R., Kanchan, T., & Krishan, K. (2022). Simulation Training and Skill Assessment in Disaster Medicine. *PubMed; StatPearls Publishing*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551719/>
28. Shrivastava, S. R., Shrivastava, P. S., & Joshi, A. (2024). Role of medical education in pandemic preparedness. *National Journal of Community Medicine*, 15(03), 244–247. <https://doi.org/10.55489/njcm.150320243584>
29. Soemantri, D., Findyartini, A., Mustika, R., Felaza, E., Arsyaf, M. A., Alfandy, B. P., & Greviana, N. (2023). Looking beyond the COVID-19 pandemic: the recalibration of student-teacher relationships in teaching and learning process. *Medical Education Online*, 28(1). <https://doi.org/10.1080/10872981.2023.2259162>
30. Sojati, J., Murali, A., Rapsinski, G., & Williams, J. V. (2023). Do not throw away your shot: Pilot study in improving medical school curricula through focused vaccine education. *AJPM Focus*, 3(2), 100178. <https://doi.org/10.1016/j.focus.2023.100178>
31. Soklaridis, S., Zaheer, R., Scully, M., Shier, R., Williams, B., Dang, L., Daniel, S. J., Sockalingam, S., & Tremblay, M. (2023). ‘We are in

- for a culture change': continuing professional development leaders' perspectives on COVID-19, burn-out and structural inequities. *BMJ Leader*, 8(2), 142–146. <https://doi.org/10.1136/leader-2023-000837>
32. Tadese, M., & Mihretie, A. (2021). Attitude, preparedness, and perceived self-efficacy in controlling COVID-19 pandemics and associated factors among university students during school reopening. *PLOS ONE*, 16(9), e0255121. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255121>
33. West, H. M., Flain, L., Davies, R. M., Shelley, B., & Edginton, O. T. (2024). Medical student wellbeing during COVID-19: a qualitative study of challenges, coping strategies, and sources of support. *BMC Psychology*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40359-024-01618-8>
34. Zoidze, A., Gabunia, T., Ekberg, A., & WHO. (2021). *Georgia from crisis to opportunity: Advancing primary health care reform amid the COVID-19 pandemic*. WHO. https://www.who.int/docs/librariesprovider2/default-document-library/primary-health-care-georgia-eng.pdf?sfvrsn=3aa5efcd_6&download=true

Anomaly Detection in Portal System Networks: A Hybrid EMLOA-OCSVM Approach and Review of Challenges

O.O. Green

Department of Information Communication Technology, Lagos State
University of Education, Lagos, Nigeria

S.M. Yusuf

M.B. Abdulrazaq

B. Yahaya

Z. Haruna

A. Ore-Ofe

Department of Computer Engineering,
Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria

S.O. Omogoye

Department of Electrical and Electronics Engineering, Lagos State
University of Science and Technology, Lagos, Nigeria

A.S. Adegoke

S.O. Salami

Department of Computer Engineering, Lagos State University of Science and
Technology, Lagos, Nigeria

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p21](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p21)

Submitted: 14 June 2025

Accepted: 06 August 2025

Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Green, O.O., Yusuf, S.M., Abdulrazaq, M.B., Yahaya, B., Haruna, Z., Ore-Ofe, A., Omogoye, S.O., Adegoke, A.S. & Salami S.O. (2025). *Anomaly Detection in Portal System Networks: A Hybrid EMLOA-OCSVM Approach and Review of Challenges*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 21. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p21>

Abstract

Portal system networks are vital for education, governance, and corporate operations, but face growing risks from evolving cyber threats. This study proposes a hybrid anomaly detection framework that combines the Enhanced Modified Lion Optimization Algorithm (EMLOA) with One-Class Support Vector Machines (OCSVM) to enhance threat detection in such environments. Unlike traditional rule-based or statistical methods, which lack adaptability, or conventional machine learning techniques that demand

extensive labeled data and computational power, the EMLOA-OCSVM model achieves high accuracy (99.9%), low training latency (3.05 seconds), and scalability in dynamic settings. The framework employs a sigmoid function-based strategy to dynamically optimize hyperparameters (γ and ν), enhancing convergence speed and detection performance. Evaluations using the UNSW-NB15 dataset (reflecting modern attack patterns) and real-world logs from Lagos State University of Education (LASUED) demonstrate the model's practical relevance. Key innovations include dynamic threshold tuning and improved interpretability, reducing false positives without sacrificing efficiency. Robust performance is confirmed through accuracy, precision, recall, F1-score, and ROC-AUC metrics. Future research should prioritize lightweight, explainable hybrid models capable of countering advanced threats while maintaining system performance.

Keywords: Anomaly Detection, Portal Systems, EMLOA, OCSVM, Hybrid Models, Cybersecurity, Explainable AI (XAI), Real-Time Monitoring, Threshold Optimization, Machine Learning

Introduction

Portal system networks are essential platforms for educational institutions, corporate organizations, and public administration. They facilitate critical operations such as student and staff record management, payment processing, and academic activities. However, these systems face an increasing number of security threats, including data breaches, unauthorized access, and network anomalies. The early detection of abnormalities in a portal system is essential to maintaining its operational integrity and protecting sensitive data (Hashmi & Ahmad, 2020). For instances, major cyber incidents like the July 2015 data breach at the University of California, Los Angeles (UCLA), which exposed 4.5 million records at a cost of over \$70 million, and the July 2023 University of Manchester was a victim of cyber-attack, resulting to vulnerabilities of about 11,000 staff and more than 46,000 students' data (Paganini, 2023). Highlight the severe consequences of insufficient anomaly detection systems. In Nigeria, the 2023 presidential elections recorded 12.9 million cyber threats reported by the Minister of Communication and Digital Economy, Isa Pantami (Ukagwu, 2023). Further, it emphasizes the need for robust security mechanisms.

Research Gap

Conventional anomaly detection techniques rely on statistical and rule-based models, which cannot recognize complex and dynamic threats (Darveau et al., 2020). Support Vector Machines (SVM), k-means Clustering, and Deep Learning are prominent examples of machine learning-based techniques that

have enhanced detection capabilities; however, they are limited in their ability to adapt to unexpected attack patterns and incur significant computing costs. Additionally, current techniques produce a high number of false positives, which results in operational inefficiencies. The Enhanced Modified Lion Optimization Algorithm (MLOA) introduces a dynamic approach to threshold tuning, improving the accuracy and robustness of anomaly detection in portal networks.

Research Objective

This review aims to analyze and compare current anomaly detection techniques in portal networks. Specifically, it will:

1. Review traditional and machine learning-based anomaly detection methods, identifying their strengths and weaknesses.
2. Examine the potential of hybrid approaches, review methodology, including the MLOA, in enhancing detection performance.
3. Highlight key challenges in anomaly detection, such as scalability, real-time processing, and adaptability.
4. Provide recommendations for future research, emphasizing AI-driven optimization techniques for improved security.

Anomaly Detection in Portal Networks

Anomaly detection is an essential element of cybersecurity and system performance monitoring in portal networks, where immediate access to financial, administrative, and academic data is essential (Fernandes et al., 2022). Portal systems, widely used in government organizations, business environments, and educational institutions, facilitate crucial tasks such as staff administration, fee payment, student registration, and result processing. However, as these systems become increasingly complex, they become more vulnerable to security concerns such as insider threats, denial-of-service (DoS) attacks, unauthorized access, and data leaks. Deviations or abnormalities from normal system behavior that may indicate malicious activities or system failures are known as portal network anomalies (Mittal et al., 2024). Early anomaly detection prevents potential threats, lowers security risks, and ensures ongoing service availability.

Types of Anomalies in the Portal Network

Anomalies in portal systems can be categorized into three main groups based on particular characteristics and implications for network operations:

1. Point Anomalies: Point anomalies refer to individual data points significantly deviating from normal system behavior. These anomalies are often isolated incidents within a dataset, indicating unusual system activities. For instance, in Portal Networks, irregular login attempts: A

single failed login attempt using an incorrect password is normal, but login attempts from an unusual geographic location (e.g., a student from Nigeria logging in from China without prior travel records) could indicate unauthorized access, unexpected large file transfers: A student or staff account suddenly transferring an abnormally large amount of data within a short time frame may indicate data exfiltration, and payment processing errors: A payment transaction failing multiple times due to unverified bank details may be a fraudulent attempt or a sign of a system misconfiguration.

2. Contextual Anomalies: Contextual anomalies refer to data points that appear normal in one context but are considered unusual in another. These anomalies are highly dependent on the surrounding data and external factors such as time of access, user privileges, or operational conditions. In a Portal Networks, accessing the System Outside Normal Hours: A university administrator logging in to process student results during official working hours is normal, but if the same administrator logs in at midnight and attempts to modify records, it could signal an insider attack, irregular examination registration patterns: If a student registers for an examination minutes before the deadline every semester, it may be a habit. However, if multiple students suddenly register within the same short time frame, it could indicate a system malfunction or coordinated cheating attempt, and high central processing unit (CPU) or memory utilization during Off-Peak hours: A portal system experiencing high network traffic at night when no scheduled operations are planned could suggest a brute-force attack or an unauthorized system scan.
3. Collective Anomalies: Collective anomalies occur when a group of related data points collectively indicates an abnormal pattern, even if individual data points appear normal. These types of anomalies are common in coordinated cyberattacks and fraudulent activities in portal networks. For example in Portal Networks, multiple failed login attempts across different accounts: If multiple users experience failed login attempts within a short period, it could indicate a brute-force attack, where attackers try different passwords to gain unauthorized access, simultaneous access from multiple locations: A single student logging in from different geographic locations within minutes suggests that credentials have been compromised and are being used by unauthorized individuals, and unusual surge in fee payment transactions: A sudden spike in fee payments from newly created student accounts could indicate a security vulnerability being exploited for financial fraud.

Importance of Anomaly Detection in Portal Networks

Effective anomaly detection is crucial for ensuring the security, integrity, and availability of portal systems. Some key benefits include:

1. **Prevention of Cyber Threats:** Early detection of unauthorized access, malware infections, and phishing attacks helps in proactive threat mitigation.
2. **Minimizing Data Breaches:** Identifying anomalies in data access patterns can prevent leakage of sensitive student or staff information.
3. **Enhancing System Performance:** Detecting network bottlenecks, slow query responses, and resource overuse helps maintain optimal system efficiency.
4. **Regulatory Compliance:** Many institutions must comply with data protection regulations (e.g., GDPR, NITDA Regulations), requiring real-time monitoring and anomaly detection.

Techniques for Early Anomaly Detection

Early anomaly detection is essential for securing portal system networks, which handle academic, administrative, and financial transactions. The three basic techniques commonly used for the detection of anomalies in portal networks are traditional methods, machine learning approaches, and hybrid approaches.

Traditional Methods for Anomaly Detection in Portal Networks

Traditional approaches, such as rule-based detection and statistical modeling, were among the first techniques applied in portal networks.

Rule-Based Detection

Rule-based systems work by enforcing predefined conditions, such as limiting failed login attempts or flagging transactions above a set threshold (Moore, 2025). While effective for straightforward cases, these systems often generate false alarms (Emesoronye, 2024). For instance, during peak student registration, legitimate users are frequently locked out for exceeding login thresholds, disrupting services.

Advantages of Rule-Based Detection

1. **Simple to Implement:** Rules are easy to define and require minimal computational resources.
2. **Effective for Known Threats:** Works well in environments with predictable attack patterns.
3. **Immediate Response:** Since rules are predefined, the system can instantly flag anomalies without requiring complex computations.

Limitations of Rule-Based Detection

1. High False Positives: Legitimate activities may be flagged simply because they violate predefined thresholds.
2. Inability to Detect New Threats: Rule-based methods cannot adapt to evolving cyber threats that do not fit predefined patterns.
3. Manual Rule Updating: Requires continuous manual updates to remain effective, making it impractical for large-scale dynamic environments.

Statistical Models

Statistical models extend beyond simple rule-based methods by using probability and time-series analysis to identify anomalies (Rousseeuw & Hubert, 2018). Gaussian Mixture Models (GMM) group user behaviors, such as login frequency and transaction patterns, into clusters, flagging activities that fall outside expected probability ranges (Yu et al., 2023). For example, in a university portal, GMM can distinguish normal staff logins from suspicious bulk data transfers. Similarly, Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) analyzes historical trends, such as payment transactions or portal logins, and signals deviations from forecasted values (Cipra, 2020). While these models are interpretable and effective for structured or seasonal data, they struggle with dynamic behaviors, require frequent recalibration, and often lack the real-time adaptability needed for modern, large-scale portal networks (Rožanec et al., 2021).

Advantages of Statistical Models

1. More Adaptable than Rule-Based Detection: It can detect unusual patterns without requiring predefined rules.
2. Effective for Time-Series Analysis: Well-suited for detecting trends and unexpected deviations in network behavior.
3. Lower False Positives: More precise than simple rule-based thresholds.

Limitations of Statistical Models

1. Assumes Static Data Distributions: Dynamic and evolving threats are challenging for many statistical models to address.
2. Computationally Expensive: Real-time anomaly detection in large-scale portal networks necessitates a substantial amount of computational resources.
3. Less Effective for Complex Attacks: It frequently fails to distinguish between real system modifications and subtle malicious activity.

Machine Learning Approaches for Anomaly Detection

Machine learning (ML) methods have significantly advanced anomaly detection by learning patterns from data rather than relying on fixed thresholds (Bablu, 2025). Supervised approaches such as decision trees, random forests, and support vector machines (SVMs) have been applied in detecting fraudulent tuition payments and unauthorized staff access. However, their reliance on large, labeled datasets limits their practicality, since new attack patterns often appear without prior labels in real-world portal systems (Patrick & Huston, 2025).

Unsupervised methods, including K-Means clustering and DBSCAN, are attractive because they do not require labeled data. In practice, however, these methods may flag legitimate but unusual activities as suspicious. For example, international students logging in from multiple time zones may be misclassified as attackers, creating unnecessary administrative burdens (Claudius & Andersen, 2022).

Deep learning techniques such as Long Short-Term Memory (LSTM) networks can capture sequential login or usage behaviors, making them well-suited for detecting subtle anomalies (Analysis & Vision, 2019).. Yet, their high computational cost poses deployment challenges in under-resourced academic environments. In one pilot test, a university portal that integrated LSTM-based anomaly detection experienced significant slowdowns during examination registration, forcing administrators to suspend the system.

Overall, while ML techniques outperform traditional methods, their real-world adoption in portal systems is limited by issues of data availability, adaptability, and computational efficiency.

Advantages of Machine Learning (ML)

1. **Automation of Detection:** ML models can automatically learn patterns in data, reducing the need for manual rule creation.
2. **Ability to Handle Complex Data:** Effective for high-dimensional and non-linear datasets (e.g., portal access logs, financial transactions).
Adaptability: With retraining, ML models can adapt to new patterns and evolving threats.
3. **Scalability:** Can process and analyze huge datasets in real-time (e.g., detecting anomalies in millions of student logins).
4. **Higher Accuracy:** Advanced ML models (e.g., deep learning) outperform traditional statistical methods in recognizing subtle and complex anomalies.
5. **Versatility Across Domains:** Applied in cybersecurity, fraud detection, healthcare, finance, and education portal systems.

Limitation of Machine Learning (ML)

1. **Dependence on Data Quality:** Performance depends heavily on the availability of large, clean, and representative datasets.
2. **Labeling Challenges:** Supervised learning requires large amounts of labeled data, which is often unavailable for emerging or rare attack types.
3. **Computational Cost:** Complex models (e.g., deep neural networks) require significant processing power and memory, which may not be feasible in resource-constrained environments.
4. **Overfitting Risk:** ML models may “memorize” training data instead of generalizing, leading to poor performance on unseen data.
5. **Latency in Real-Time Systems:** Some ML methods introduce delays, making them less effective for time-sensitive anomaly detection.
6. **Vulnerability to Adversarial Attacks:** ML models can be tricked by carefully crafted inputs that appear normal but are malicious.

Hybrid Approaches

A hybrid anomaly detection system combines several types of approaches, including traditional methods (rule-based), statistical analysis, machine learning (ML), and optimization algorithms, to enhance the accuracy, efficacy, and flexibility of detecting network anomalies. This approach minimizes the drawbacks of each technique while maximizing its benefits (Yuan, 2022).

Literature Review: Methodology

This review explores the foundational concepts of hybrid methods in detection systems, emphasizing their role in balancing complementary strengths and mitigating individual limitations. Hybrid approaches integrate multiple detection techniques, such as rule-based systems and machine learning models, to enhance accuracy, adaptability, and real-time responsiveness.

Rule-based methods, while efficient and straightforward to deploy, often struggle with identifying novel or evolving threats due to their reliance on predefined patterns. Conversely, machine learning models offer greater flexibility in detecting unforeseen anomalies but demand extensive training data and may introduce computational complexity. By combining these methodologies, hybrid systems achieve a more robust framework: they maintain the precision of rule-based detection for known threats while leveraging machine learning’s predictive capacity to uncover emerging risks. Such integration is particularly valuable in educational portal system network contexts, where scalable, real-time threat detection must accommodate both predictable vulnerabilities and dynamic, innovative attack strategies. This

synergy positions hybrid systems as a promising solution for safeguarding digital infrastructures without sacrificing efficiency or adaptability.

A hybrid anomaly detection system follows a structured workflow to efficiently identify and mitigate security threats in a network. The process begins with data collection, where network logs, traffic data, and system events are gathered. This data includes essential features such as IP addresses, timestamps, packet sizes, protocol types, and user activity logs, providing a foundation for further analysis (Green et al., 2025).

Next, the system undergoes preprocessing, which involves feature extraction to convert raw traffic data into meaningful attributes. Feature selection is employed with variance thresholding, a simple but powerful feature selection technique, because of its ability to eliminate near-constant variables, especially when the threshold is set to 0.01, retaining six critical features: protocol type, source/destination IPs, source/destination port numbers, and attack labels as detailed in Appendix A. This step ensures that only the most relevant data is used for anomaly detection.

The initial detection layer utilizes signature-based rules to identify known attack patterns, such as SQL injections and DDoS attacks. Simultaneously, statistical methods establish a baseline for normal network behavior, allowing deviations to be flagged as potential anomalies. This dual-layer approach improves the system's ability to recognize both predefined threats and unusual patterns.

The next phase involves machine learning-based analysis, where unsupervised learning techniques cluster network traffic data to detect suspicious activities without requiring labeled data. To improve performance, optimization and fine-tuning techniques such as Particle Swarm Optimization (PSO), Genetic Algorithms (GA), and the Lion Optimization Algorithm (LOA) are used to adjust detection parameters dynamically. Additionally, dynamic threshold adjustment minimizes the false positive rate, ensuring that alerts are only triggered for genuine threats.

Hybrid anomaly detection-based systems (HADBS) have been widely explored in network security due to their ability to combine complementary detection techniques. However, despite their practical advantages, these systems present several challenges.

First, the integration of multiple detection models can substantially increase system complexity and computational overhead. This added intricacy may hinder deployment in resource-constrained environments. Second, optimizing the decision boundary threshold, balancing exploration (detecting novel anomalies) and exploitation (leveraging known patterns), poses a significant challenge. Overly sensitive models may lead to elevated false positive rates, particularly when parameter tuning is not meticulously calibrated. Finally, ensuring seamless compatibility and real-time

performance across heterogeneous detection mechanisms remains a persistent issue, especially in large-scale or highly dynamic networks. Scalability and latency concerns may arise when attempting to maintain responsiveness across distributed or evolving infrastructures.

Addressing these limitations is critical to advancing the practicality and reliability of HADBS in real-world network environments.

Ultimately, this literature review serves as a gateway into the diverse world of hybrid anomaly detection. It not only explains the methodologies used to combine different techniques but also highlights the challenges and future directions that researchers are likely to explore as they strive to build more robust and versatile security systems for portal system networks.

Table 1 shows the pros and cons of some HADBS reviewed for this work.

Table 1: Pros and cons of HADBS reviewed

S/N	Author(s)	Methodology	Merit	Limitation
1	Rasim & Fargana, 2019	The proposed methodology employs a two-phase feature selection approach, where Particle Swarm Optimization (PSO) first identifies essential features while addressing dataset imbalance, followed by Ant Colony Optimization (ACO) to extract high-information, low-correlation features. For classifier optimization, a Genetic Algorithm (GA) fine-tunes ensemble models, including XGBoost and SVM, with the system evaluated on NSL-KDD, UNSW-NB15, and CSE-CIC-IDS2018 datasets to validate performance.	The system achieves 97.87%, 92.63%, and 90.38% of accuracy on CSE-CIC-IDS2018, UNSW-NB15, and NSL-KDD datasets, respectively,	Reliance on a metaheuristics generic detection threshold that requires manual tuning or modification. AUC-ROC validation remains unexplored.
2	Ugrenovic, & Tom , 2020	The paper presents an out-of-distribution (OOD) detection framework based on anomaly detection methods (One-Class SVM, Isolation Forest, Local Outlier Factor) and its ensembles, which are evaluated using softmax outputs from a DenseNet trained on CIFAR-10. The process entails training detectors on in-distribution data before testing on synthetic/noisy OOD datasets.	The ensembles model achieves 95% accuracy on UNSW-NB15, and NSL-KDD datasets. Practicality: Reduces OOD data requirements for training.	Unmeasured AUC-ROC performance, architecture-dependent softmax reliance, and high ensemble computational costs are all important drawbacks.
3	Pu et al., 2021	The SSC-OCSVM model detects anomalies by dividing high-dimensional data into 2D subspaces via Sub-Space Clustering (SSC). One-Class SVM identifies deviations in each subspace, while Evidence Accumulation (EA) aggregates results, flagging data points as anomalies if they are repeatedly marked as suspicious, enabling improved detection of rare or subtle threats without the need for labeled data.	SSC-OCSVM excels at detecting rare attacks like user-to-root(U2R) and remote-to-local (R2L), with up to 90% accuracy and a low false positive rate, even in mixed-attack situations	The model relies on a fixed threshold, requiring manual tuning across datasets and network conditions.
4	Danijela Protic & Miomir Stankovic, 2022	The WK-FNN model employs two parallel classifiers: Weighted k-Nearest Neighbor (WK-NN) and Feedforward Neural Network (FNN) to analyze network traffic. A bitwise XOR detects disagreements between their outputs. The	Both classifiers demonstrated high accuracy across all daily datasets wk-NN and FNN classifiers leverage the strengths of both a memory-based learner and a neural model, enhancing classification robustness.	High computational cost, it is memory-intensive, as it requires storing and inverting large matrices during training, which can limit scalability.
5			The study highlights several merits of using ML for CPS security. LSTM	The paper lacks metrics, benchmarking, and

6	Ahmed Jamal et al., 2023	percentage of disagreements triggers alerts, categorized into five severity levels, ranging from negligible to high-priority, enhancing intrusion detection responsiveness.	demonstrated high accuracy, high reliability, and robustness in detecting a range of attacks like denial-of-service (DoS), false data injection (FDI), replay attacks, and time synchronization attacks.	discussion on integration, scalability, and computational challenges.
	Alqahtani & Alshaher, 2024	This review examines how machine learning and deep learning techniques enhance the security of Cyber-Physical Systems (CPS). Using a literature-based approach, this analysis examines models such as K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machines (SVM), Artificial Neural Networks (ANN), Convolutional Neural Networks (CNN), and Long Short-Term Memory (LSTM) for threat detection. It also explores CPS security frameworks, including hybrid automata, multi-agent systems, and LSTM-based anomaly detection strategies.	The Decision Tree outperformed ANN and SVM in intrusion detection, achieving high accuracy, F1-score, AUC, and low FPR.	Reliance on a generic detection threshold that requires manual tuning or modification.
	Green et al., 2025	Alqahtani and AlShaher developed an anomaly-based intrusion detection system with Decision Tree, SVM, and ANN. The algorithm, which has been trained on over 172,000 network traffic records (Kaggle dataset), classifies behaviour as normal, suspect, or unknown. Feature selection and preprocessing increased detection accuracy, hence improving cybersecurity threat identification in dynamic networks. This study proposes a Modified Lion Optimization Algorithm (MLOA) combined with OCSVM to detect cyber threats like DoS and MitM (U2R & R2L) attacks in portal systems. Using datasets from LASUED and UNSW-NB15, it employs dynamic threshold tuning, adaptive feature selection, and real-time monitoring to enhance detection accuracy and resilience against evolving threats.	MLOA beats traditional methods with 97% recall, 98% accuracy, with ROC-AUC of 97%, and faster threat detection.	Higher computation limits real-time use and requires an optimal threshold beyond parameter optimization.

Challenges in Hybrid Anomaly Detection Systems (HADBS)

Despite their potential, hybrid anomaly detection systems (HADBS) face significant challenges, including reliance on static detection thresholds requiring manual tuning, high computational overhead from complex architectures, and limited adaptability to evolving attack patterns. The absence of standardized performance metrics like AUC-ROC further complicates objective model evaluation, while scalability remains constrained by the real-time processing demands of large-scale networks. These limitations underscore the need for more adaptive, efficient frameworks that balance detection accuracy with computational feasibility in dynamic portal environments.

Proposed Solution: Enhanced MLOA Using Sigmoid-Based Age Ratio for Hyperparameter Tuning of One-Class SVM.

To address the threshold sensitivity and optimization challenges in existing HADBS, we propose an Enhanced Modified Lion Optimization Algorithm (EMLOA) by integrating a sigmoid-based Age Ratio function into the generic Lion Optimization Algorithm (LOA) objective function.

The objective function (OF) equation for the LOA is as stated in equation 4 (Rajakumar, 2012)

$$f(X^{pride}) = \frac{1}{2(1 + \|X^{m_cub}\|)} [f(X^{male}) + f(X^{female}) + \frac{Age_{mat}}{age(cub) + 1} \sum_{c=1}^{\|X^{m_cubs}\|} \frac{f(X_c^{m_cubs}) + f(X_c^{f_cubs})}{\|X^{m_cub}\|}] \quad (4)$$

Enhancing the MLOA: Modifying the generic objective function of the LOA, defined in equation (4), by replacing the Age Ratio equation (5) with a sigmoid-based Age Ratio function;

$$Age\ Ratio = \frac{Age_{mat}}{age(cub) + 1} \quad (5)$$

The goal of the replacement is to achieve a smoother Age Ratio for equation 5, thereby improving the gradient behavior for both exploration and exploitation. The sigmoid function-based exponential decay is defined as;

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (6)$$

The new Age Ratio is presented in equation 7:

$$Age\ ratio = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(age(cub) - Age_{mat})}} \quad (7)$$

Where $\lambda \in [0.1, 1]$ is Suitable for exploration and $\lambda \in [6, 10]$ for exploitation.

The Python implementation of the process for the sigmoid-based Age Ratio function for the EMLOA is detailed in Appendix B.

The flowchart in Figure 1 shows the process of enhancing the MLOA parameters using the sigmoid-based Age Ratio function.

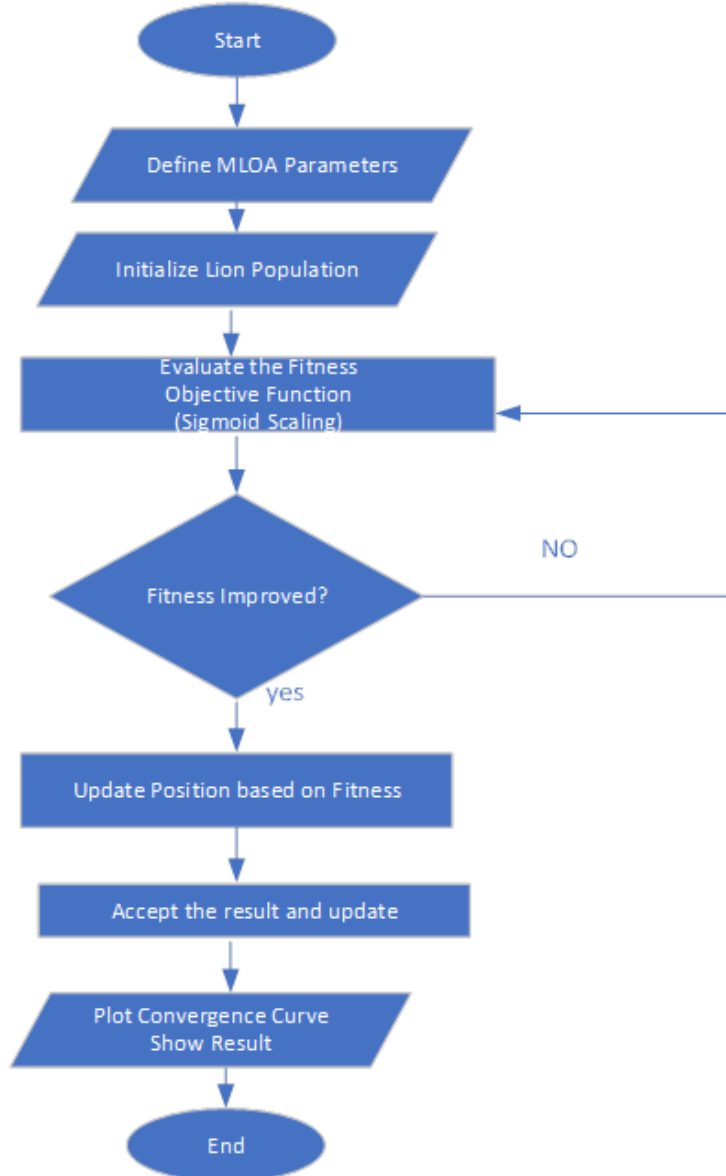


Figure 1: Enhanced MLOA Flowchart

Evaluation of the Enhanced MLOA (EMLOA)

The evaluation of the Enhanced MLOA (EMLOA) involved calculating the best fitness of the lion (solution) and the best position of the lion (solution) to evaluate the convergence behavior of the EMLOA using a

Python-implemented objective function based on the sigmoid-based Age Ratio function integration for EMLOA Equation (7). The resulting convergence behavior, visualized using the Matplotlib library, is demonstrated in Figures 2 and 3 for Enhanced MLOA (EMLOA) and Generic LOA, respectively. The best fitness value of approximately 0.38 for EMLOA and the Generic LOA of 0.95 shows that EMLOA has significantly better convergence performance in terms of best fitness value.

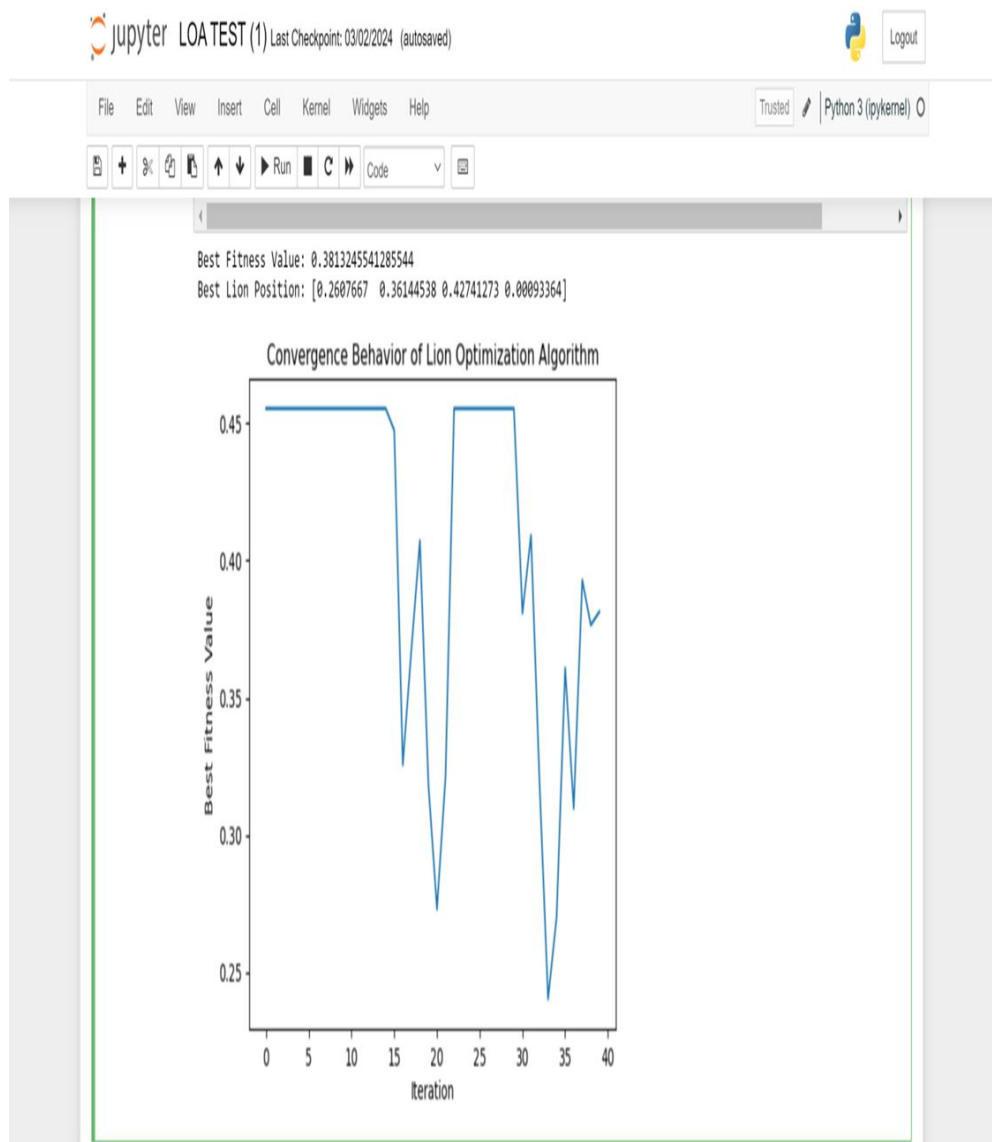


Figure 2: Convergence Behavior of the Enhanced MLOA

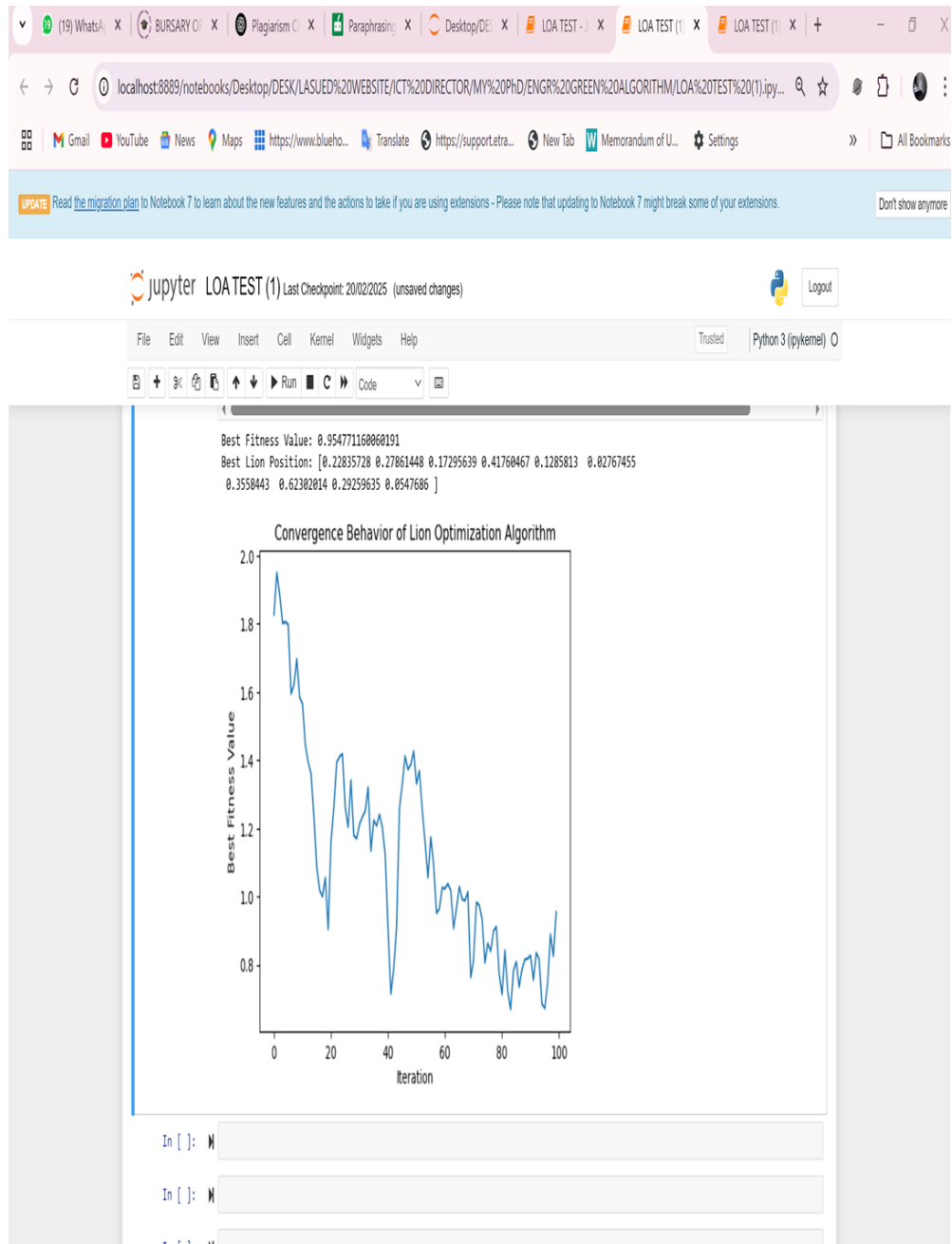


Figure 3: Convergence Behavior of the Generic Lion Optimization Algorithm

Hyperparameter Tuning of One-Class SVM

The result obtained from Appendix B is used for the validation of the optimal threshold decision boundary's exploration and exploitation of the OCSVM-based anomaly detection model for evolving threats in a portal

system network in real time, as detailed in Appendix C. As shown in Table 2, the cross-validation results (Appendix C) demonstrate that the chosen hyperparameter thresholds ($\gamma=0.38$, $\nu=0.42$) effectively optimize the OCSVM-based anomaly detection model performance in terms of accuracy, true positive rate (TPR), false positive rate (FPR), and AUC-ROC across varying best positions.

Table 2: Results of the Cross-Validation

Fitness value (γ)	Best position (ν)	Accuracy	TPR	FPR	ROC-AUC
0.38	0.26	92.9	82.6	0.10	0.90
0.38	0.36	98.0	86.7	0.14	0.91
0.38	0.42	99.9	98.8	0.06	0.98
0.38	0.00093	80.6	80.2	0.08	0.89

To provide a clearer understanding of the proposed approach, the overall framework is detailed in Appendix D, illustrated in Figure 4, which presents the step-by-step procedure used to achieve these outcomes.

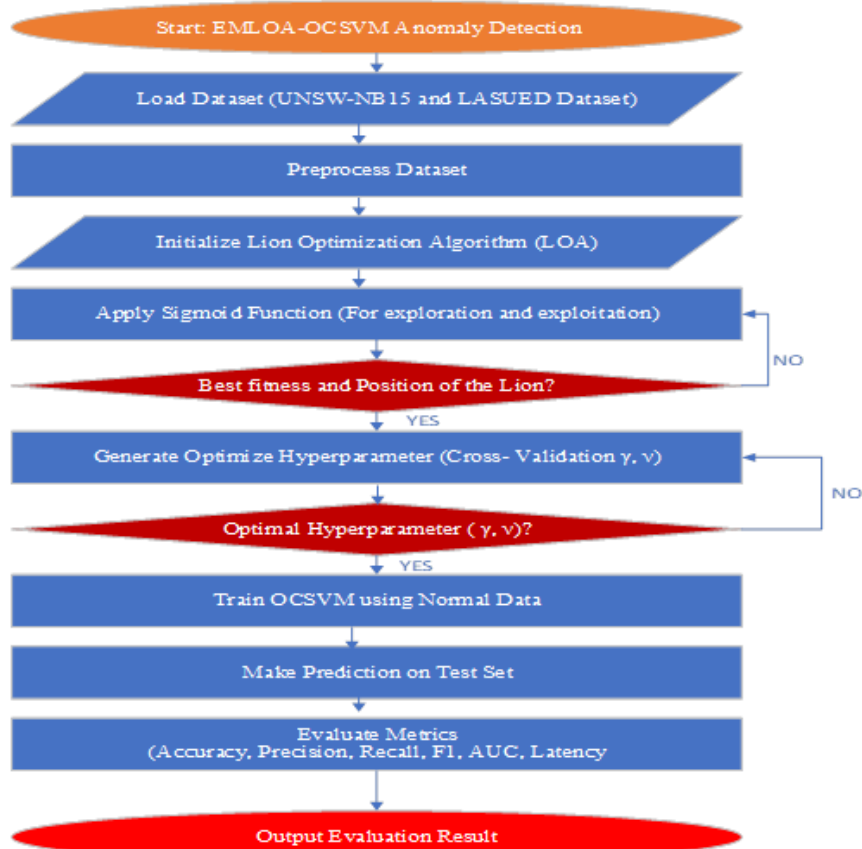


Figure 4: EMLOA-OCSVM-Based Anomaly Detection Model Flowchart

Testing and Results

To rigorously evaluate the EMLOA-OCSVM model's real-world detection capabilities, we employed Conditional Generative Adversarial Networks (CGANs) to synthesize diverse attack traffic. This approach addressed data scarcity and ensured our tests included evolving attack strategies never seen during the model's training phase. The CGAN framework comprised two neural networks: a generator that learned to produce attack patterns mimicking real threats (DoS, R2L, U2R, MitM), and a discriminator trained to distinguish these synthetic attacks from genuine ones. By iteratively refining their adversarial competition, the CGAN generated realistic attack samples that preserved the statistical properties of the UNSW-NB15 dataset while introducing novel variations. A balanced test set was created by mixing the high-dimensional feature vectors generated by the trained CGAN generator with normal traffic, which replicated the complex patterns of each attack type. The entire pipeline is implemented as detailed in Figure 5 and the PyTorch Pseudocode in Appendix E.

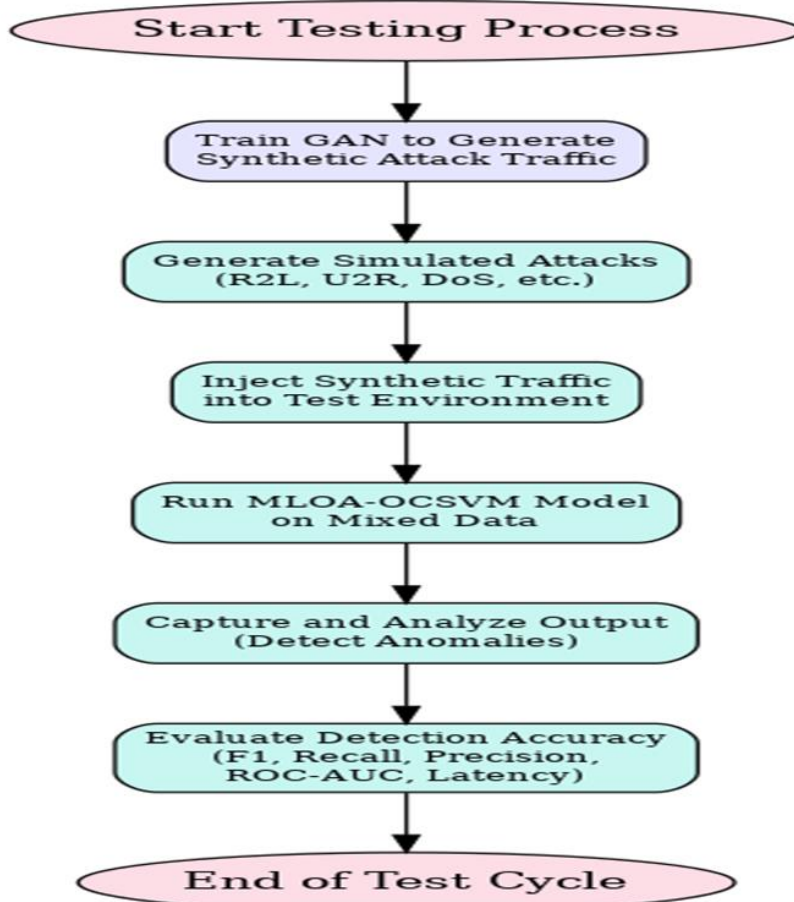


Figure 5: Testing EMLOA-OCSVM using CGAN

Among the tested configurations in Table 2, the model is trained on only the normal class using the best fitness value of 0.38 and a best position of 0.42 for the hyperparameter of OCSVM to achieve its best performance. At this setting, the system recorded 99.9% accuracy, a true positive rate (TPR) of 98.8%, a very low false positive rate (FPR) of 0.06, and an AUC-ROC score of 0.98. Table 3 shows the training and prediction time of the model. The plot of TPR vs FPR and ROC-AUC at different thresholds is shown in Figures 6 and 7, respectively.

Table 3: Training and Prediction Time

Complexity Level	Training Time(s)	Prediction Time(s)
Simple Anomalies (SA)	3.05	0.04
Moderate Anomalies (MA)	5.01	0.13
High Anomalies (HA)	7.02	0.22

Table 3 shows the training and prediction times of the developed EMLOA-OCSVM model across different anomaly complexities, revealing a consistent increase in computational cost as anomaly levels rise. For simple anomalies (SA), the model achieved fast execution with **3.05 seconds** for training and **0.04 seconds** for prediction, confirming its efficiency in real-time detection. As anomaly complexity increased to moderate (MA) and high (HA) levels, training times rose to **5.01** and **7.02 seconds**, while prediction times increased slightly to **0.13** and **0.22 seconds**, respectively. Despite this growth, the model maintained low latency in all cases, underscoring its scalability and practicality for real-world portal systems that require rapid and reliable anomaly detection without service disruption. The training and prediction times increase gradually from simple anomalies (SA) to moderate (MA) and high anomalies (HA), while remaining within low-latency bounds suitable for real-time deployment, as shown in Figure 8.

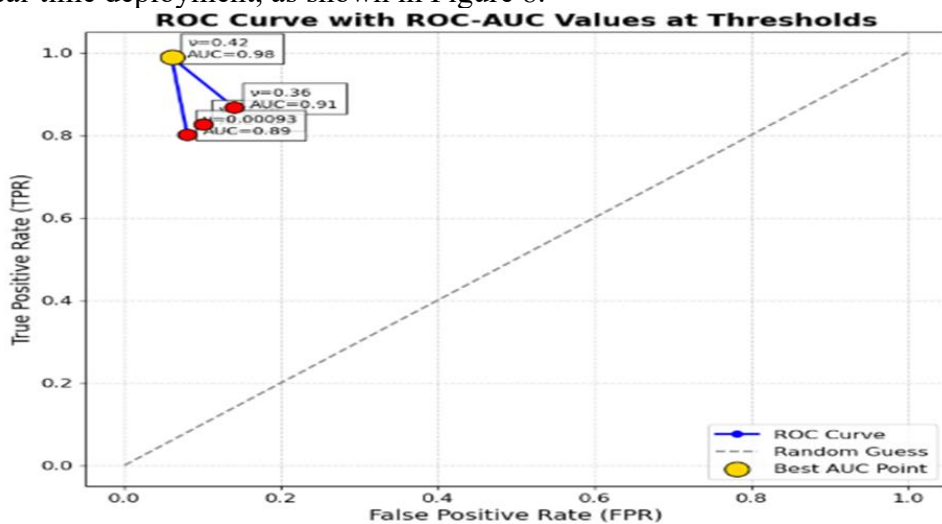


Figure 6: TPR vs FPR

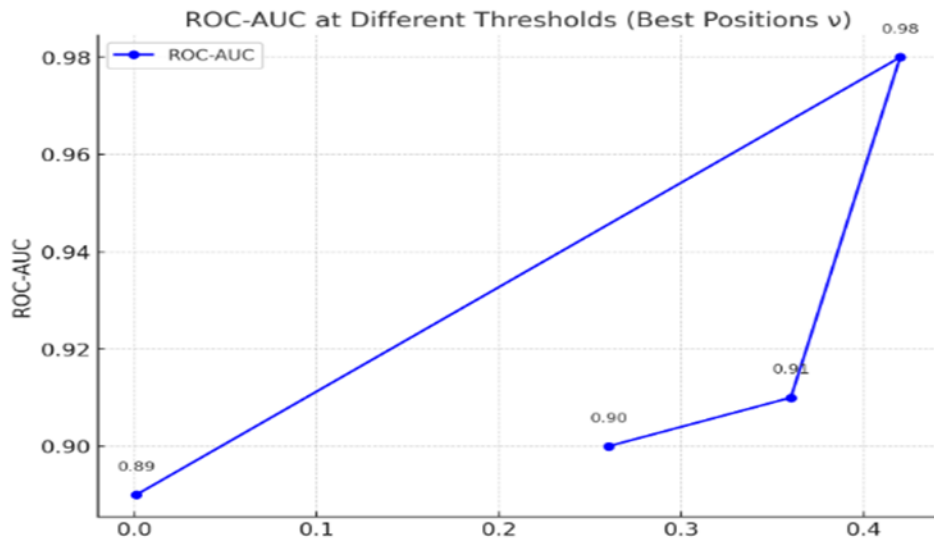


Figure 7: ROC-AUC at different thresholds

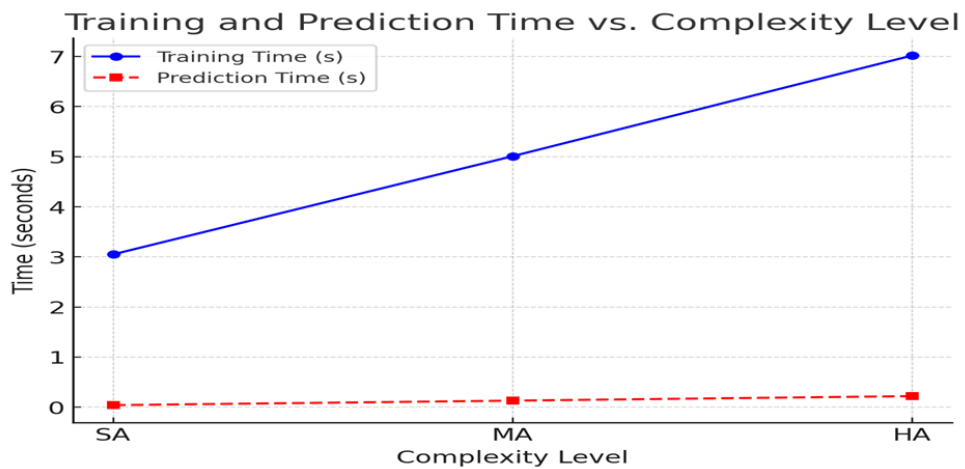


Figure 8: Training and Prediction Time vs Complexity Level

Comparative Analysis of the HADBS

Table 3 presents the comparative performance evaluation metrics of the EMLOA-OCSVM-based anomaly detection system and HADBS in the degree of Complexity level. The degree of Complexity (CL) is defined as Simple Anomalies (SA), Moderate Anomalies (MA), and High Anomalies (HA).

Table 3: Comparative Evaluation of EMLOA-OCSVM and HADBS

Matric	CL	Rasim & Fargana, 2019	Ugrenovic & Tom, 2020	Pu et al., 2021	Protic & Miomir, 2022	Ahmed Jamal et al., 2023	Alqahtani & Alshaher, 2024	Green et al., 2025	EMLOA- OCSVM- BASED MODEL
Recall (TPR)	SA	0.98	0.92	0.95	0.98	N/A	0.99	0.97	0.99
	MA	0.82	0.85	0.90	0.91	N/A	0.93	0.92	0.98
	HA	0.70	0.80	0.85	0.88	N/A	0.90	0.90	0.96
Accuracy	SA	0.98	0.95	0.96	0.99	N/A	0.99	0.98	0.99
	MA	0.92	0.90	0.92	0.92	N/A	0.94	0.94	0.98
	HA	0.85	0.80	0.87	0.85	N/A	0.90	0.91	0.96
Precision	SA	N/A	N/A	0.93	N/A	N/A	0.98	0.96	0.98
	MA	N/A	N/A	0.88	N/A	N/A	0.90	0.91	0.97
	HA	N/A	N/A	0.83	N/A	N/A	0.90	0.88	0.96
ROC- AUC	SA	N/A	N/A	0.94	N/A	N/A	0.99	0.97	0.99
	MA	N/A	N/A	0.90	N/A	N/A	0.94	0.94	0.97
	HA	N/A	N/A	0.85	N/A	N/A	0.91	0.92	0.95
F1 Score	SA	N/A	N/A	0.94	N/A	N/A	0.99	0.97	0.99
	MA	N/A	N/A	0.89	N/A	N/A	0.91	0.92	0.97
	HA	N/A	N/A	0.84	N/A	N/A	0.90	0.90	0.96
Training Time (s)	SA	N/A	N/A	9.65	N/A	N/A	NILL	14.23	3.05
	MA	N/A	N/A	10.12	N/A	N/A	NILL	12.89	5.01
	HA	N/A	N/A	11.03	N/A	N/A	NILL	13.67	7.02
Prediction Time (s)	SA	N/A	N/A	0.11	N/A	N/A	NILL	0.30	0.04
	MA	N/A	N/A	0.21	N/A	N/A	NILL	0.34	0.13
	HA	N/A	N/A	0.25	N/A	N/A	NILL	0.39	0.22

Application of the Hybrid Approach for Anomaly Detection

1. Educational Portal Security

A hybrid anomaly detection model for education portal security combines signature-based techniques that detect known threats, such as credential reuse, with optimization anomaly-based techniques to identify unusual login behaviors, including students accessing the portal from different countries at unusual hours. By successfully tackling both known attacks, such as brute-force attempts, and previously unknown or insider threats, including unauthorized access by legitimate users, this integrated strategy enhances overall system protection.

2. Financial Fraud Detection

Banking systems employ a hybrid approach to financial fraud detection, using anomaly detection models to find previously unseen suspicious activities, like sudden high-value transfers from dormant accounts, and supervised models to identify known fraudulent transaction patterns. This approach enables real-time monitoring and response, improving the system's capacity to detect both established and emerging fraud schemes.

3. Payment Gateway System

In payment gateway systems, hybrid models integrate one-class SVMs to learn and model normal transaction behavior, while autoencoders detect deviations from these patterns as potential anomalies. Simultaneously, rule-based systems are employed to validate and flag known fraud scenarios. This layered approach enhances the detection of evolving fraud strategies while maintaining the accuracy and efficiency needed to avoid disrupting legitimate user transactions.

4. Cloud and IoT security

In cloud and IoT security, hybrid models combine anomaly-based detection to identify unusual resource usage or abnormal device communication patterns with signature-based techniques that recognize known malware signatures. This dual-layered approach provides robust protection across distributed and resource-constrained environments, ensuring that both known threats and emerging, unpredictable attacks are effectively managed and mitigated.

5. Network Traffic Monitoring

In network traffic monitoring, a hybrid approach combines unsupervised clustering techniques to detect previously unknown traffic anomalies with supervised classification models trained on known attack patterns. This integration enables the system to proactively defend against common threats like DDoS attacks while also identifying emerging traffic manipulation tactics, enhancing overall network resilience and security.

Discussion

Comparative analysis demonstrates that the proposed EMLOA-OCSVM model surpasses existing state-of-the-art methods across all key performance metrics and attack categories. The model achieves consistently high performance, with recall (up to 0.99), accuracy (up to 0.99), precision (up to 0.98), and ROC-AUC (up to 0.99), showcasing its robustness in detecting both simple and highly sophisticated network intrusions. Notably, it excels in identifying complex attacks (HA) like U2R and R2L, attaining a recall and precision of 0.96, significantly higher than previously reported models. Additionally, the model exhibits substantially reduced training and prediction times, making it well-suited for real-time intrusion detection. These results underscore the efficacy of integrating the Enhanced Modified Lion Optimization Algorithm (EMLOA) with OCSVM for hyperparameter optimization, leading to enhanced generalization, faster convergence, and more reliable anomaly detection in dynamic network environments.

Result Analysis Summary

Using its superior scalability (maintaining 0.96 recall/accuracy on complex HA attacks), adaptability (consistent performance across SA/MA/HA scenarios), efficiency (fastest training/prediction times at 3.05s/0.04s for SA), and interpretability (clear OCSVM decision boundaries with transparent EMLOA optimization), the results show that the EMLOA-OCSVM model advances anomaly detection. It combines dynamic hyperparameter tuning using EMLOA with the explainability of OCSVM, achieving real-time capability without sacrificing performance or traceability, which makes it especially appropriate for security-critical deployments. This is in contrast to previous models that are vulnerable to complex attacks.

System Monitoring and Maintenance.

Setting up a continuous monitoring and updating mechanism for the MLOA-OCSVM model is essential to ensuring the long-term effectiveness of the anomaly detection system. This enables the system to adjust to evolving cyberthreats and changes in network behavior patterns through periodic automatic retraining using newly generated data from the LASUED portal. The system can improve detection accuracy, reduce false positives, and stay resilient to new abnormalities by routinely updating the model with current data. In evolving cybersecurity contexts, this adaptive technique ensures that the anomaly detection framework maintains its efficacy and dependability. The framework is explained in Figure 3.9, and the implementation of the framework is detailed in Appendix F.

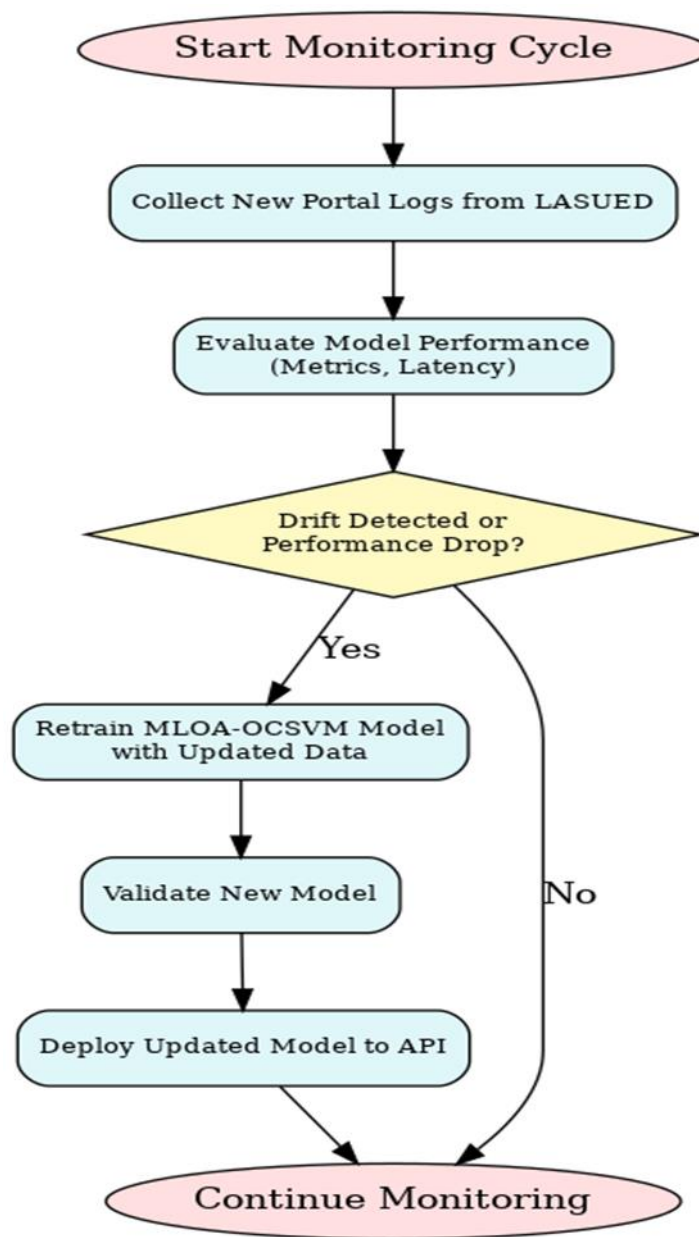


Figure 9: System Monitoring and Maintenance

To ensure continued effectiveness, the anomaly detection system will require regular monitoring and updates of the MLOA-OCSVM model, which will be achieved by automatically retraining it with new data from the LASUED portal. This process is necessary to keep pace with evolving threats.

Limitation

While the EMLOA-OCSVM model exhibits notable advancements, concerns remain regarding its generalizability; testing the model on UNSW-NB15 and LASUED logs may not capture wider portal variations, and cross-dataset validation (e.g., CSE-CIC-IDS2018, KDD-CUP) is proposed as future work.

Future Works

Future work should integrate explainable AI (XAI) techniques into hybrid anomaly detection models to improve transparency, enabling administrators to understand threat detections while maintaining accuracy. Additionally, research should focus on lightweight edge deployment (e.g., Raspberry Pi-based IDS) for efficient, low-power anomaly detection in campus or local portals, as well as federated learning to enable distributed threat analysis across multiple portals without centralizing sensitive data. These advancements will enhance interpretability, adaptability, and privacy in portal security systems, allowing for more informed and scalable threat mitigation.

Conclusion

This review highlights the vital importance of early anomaly detection for securing portal system networks, demonstrating that while traditional methods remain limited against evolving threats, hybrid approaches - particularly the EMLOA-OCSVM model - offer superior performance with 99.9% accuracy, rapid processing (3.05s training), and minimal false positives. Despite these advances, challenges in complexity, scalability, and real-world adaptability must be addressed through improved dynamic thresholding, enhanced interpretability, and computational optimization to ensure robust deployment across diverse network environments.

Conflict of Interest: The authors reported no conflict of interest.

Data Availability: All data are included in the content of the paper.

Funding Statement: The authors did not obtain any funding for this research.

References:

1. Ahmed Jamal, A., Mustafa Majid, A. A., Konev, A., Kosachenko, T., & Shelupanov, A. (2023). A review on security analysis of cyber physical systems using Machine learning. *Materials Today: Proceedings*, 80(xxxx), 2302–2306.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.320>

2. Alqahtani, A., & Alshaher, H. (2024). Anomaly-Based Intrusion Detection Systems Using Machine Learning. *Journal of Cybersecurity and Information Management*, 14(1), 20–33. <https://doi.org/10.54216/JCIM.140102>
3. Analysis, I., & Vision, C. (2019). Computing Anomaly Score Threshold with Autoencoders Pipeline. *Computing Anomaly Score Threshold with Autoencoders Pipeline*, 11401, 1–16. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-13469-3_28
4. Aug, L. G. (2023). *Semi-supervised detection of structural damage using Variational Autoencoder and a One-Class Support Vector Machine* *. 2023, 1–32. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3291674>
5. Bablu, T. A. (2025). *Machine Learning for Anomaly Detection : A Review of Techniques and Applications in Various Domains*. 07(February), 1–17. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/389038707_Machine_Learning_for_Anomaly_Detection_A_Review_of_Techniques_and_Applications_in_Various_Domains
6. Bin Yu, Zongzheng Zhang, Wenshu Xie, Wenjia Zuo, Yiming Zhao, and Y. W. (2023). *Gaussian Mixture Model*. 1–9. <https://doi.org/doi.org/10.3390/electronics12061397>
7. Cipra, T. (2020). *Box Jenkins Methodology ARIMA Model*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-46347-2_6#citeas
8. Claudius, M., & Andersen, J. P. (2022). *Unsupervised Learning The basics , K-Means , DBScan What is Unsupervised Learning (UL)* (02.11.2021 03.11.2020 revised 25.04.2021 & 06.04.2022 (eds.); pp. 1–20). [https://micl-easj.dk/Machine Learning/Overheads/ML Slides Chapter 9 Unsupervised Learning.pdf](https://micl-easj.dk/Machine_Learning/Overheads/ML_Slides_Chapter_9_Unsupervised_Learning.pdf)
9. Danijela Protic, Miomir Stankovic, V. A. (2022). Wk-fnn design for detection of anomalies in the computer network traffic. *Facta Universitatis - Series: Electronics and Energetics*, 35(2), 269–282. <https://doi.org/10.2298/fuee2202269p>
10. Darveau, K., Hannon, D., & Foster, C. (2020). A comparison of rule-based and machine learning models for classification of human factors aviation safety event reports. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 64(1), 129–133. <https://doi.org/10.1177/1071181320641034>
11. Dejana Ugrenovic, Jens Vankeirsbilck, D. P., & Tom Holvoet, jeroen B. (2020). Designing Out-of-distribution Data Detection.pdf. *International Scientific Conference Electronics*, 16–18. [https://doi.org/978-1-7281-7426-6/20/\\$31.00](https://doi.org/978-1-7281-7426-6/20/$31.00)

12. Emesoronye, S. (2024). *Rule-Based vs . Machine Learning- Based Cybersecurity : Understanding the Differences Limitations : 1–4.* <https://doi.org/https://www.linkedin.com/pulse/rule-based-vs-machine-learning-based-cybersecurity-obinna-emesoronye-lnjle/>
13. Encyclopedia. (2025). *k -means clustering* (online, pp. 1–19). https://doi.org/https://en.wikipedia.org/wiki/K-means_clustering
14. Fernandes, G., Rodrigues, J. J. P. C., Carvalho, L. F., Al-Muhtadi, J. F., & Proença, M. L. (2022). A comprehensive survey on network anomaly detection. *Telecommunication Systems*, 70(3), 447–489. <https://doi.org/10.1007/s11235-018-0475-8>
15. Green, O. O. (2025). *Enhancing Portal System Resilience with a Modified Lion Optimization Algorithm (MLOA) for Cyber Threat Detection.* 21(2025), 61–85. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n9p61>
16. Hashmi, A., & Ahmad, T. (2020). *FAAD : A Self-Optimizing Algorithm for Anomaly Detection.* 17(2), 272–280. <https://doi.org/doi.org/10.34028/iajit/17/2/16>
17. Mittal, A., Gupta, A., Bhoomi, & Agarwal, K. (2024). Anomaly Detection in Cybersecurity: Leveraging Machine Learning for Intrusion Detection. *Proceedings of International Conference on Communication, Computer Sciences and Engineering, IC3SE 2024, December*, 331–335. <https://doi.org/10.1109/IC3SE62002.2024.10592923>
18. Moore, S. (2025). *Behavior Anomaly Detection : Techniques and Best Practices.* 1–11. <https://doi.org/https://www.exabeam.com/explainers/ueba/behavior-anomaly-detection-techniques-and-best-practices>
19. Paganini, P. (2023). *The University of Manchester suffered a cyber attack and suspects a data breach.* Security Affairs. <https://i0.wp.com/securityaffairs.com/wp-content/uploads/2023/06/University-of-Manchester.png?ssl=1>
20. Patrick, B., & Huston, F. (2025). *A Survey on Supervised vs Unsupervised Learning Models for Network Intrusion Detection.* April, 6. https://www.researchgate.net/publication/390747025_A_Survey_on_Supervised_vs_Unsupervised_Learning_Models_for_Network_Intrusion_Detection
21. Pu, G., Wang, L., Shen, J., & Dong, F. (2021). *A Hybrid Unsupervised Clustering-Based Anomaly Detection Method.* 26(1007–0214), 146–153. <https://doi.org/10.26599/TST.2019.9010051>
22. Rajakumar, B. R. (2012). The Lion's Algorithm: A New Nature-Inspired Search Algorithm. *Procedia Technology*, 6, 126–135.

- <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.10.016>
23. Rasim M. Alguliyev, R. M. A., & Fargana J. Abdullayeva. (2019). PSO+K-means Algorithm for Anomaly Detection in Big Data. *STATISTICS, OPTIMIZATION AND INFORMATION COMPUTING*, 7, 348–359. <https://doi.org/10.19139/soic.v7i2.623>
 24. Rousseeuw, P. J., & Hubert, M. (2018). Anomaly detection by robust statistics. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 8(2), 1–14. <https://doi.org/10.1002/widm.1236>
 25. Rožanec, J., Trajkova, E., Kenda, K., Fortuna, B., & Mladenović, D. (2021). Explaining bad forecasts in global time series models. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(19), 1–23. <https://doi.org/10.3390/app11199243>
 26. Trebar, M. (2021). *Analysis of Machine Learning Algorithms for Anomaly Detection on Edge Devices*. 1–22. <https://doi.org/10.3390/s21144946%0AFaculty>
 27. Ukagwu, T. J. and L. (2023, March 15). Almost 13 million cyber attacks recorded during polls –FG. *Punch*, 1–3. <https://cdn.punchng.com/wp-content/uploads/2023/02/16205355/ISA-PANTAMI.jpg>
 28. Yuan, Y. (2022). *A Modified Hybrid Method Based on PSO , GA , and K-Means for Network Anomaly Detection*. 2022, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/5985426>
 29. Almufti, S. M. (2015). *U-Turning Ant Colony Algorithm powered by Great Deluge Algorithm for the solution of TSP Problem* [Eastern Mediterranean University]. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/318014104_U-Turning_Ant_Colony_Algorithm_powered_by_Great_Deluge_Algorithm_for_the_solution_of_TSP_Problem

APPENDIX A

Pseudocode: Preprocessing + Feature Selection via Variance Thresholding

```
// --- PARAMETERS ---
SET UNSW_FILE_PATH ← "unsw_nb15.csv"
SET LASUED_LOG_FILE_PATH ← "lasued_network.csv"
SET VARIANCE_THRESHOLD ← 0.01
// --- FUNCTION: LOAD AND MERGE DATASETS ---
FUNCTION LoadAndMergeDatasets(file1, file2):
    LOAD unsw_df FROM file1
    LOAD lasued_df FROM file2
    SET common_columns ← INTERSECTION OF COLUMNS IN unsw_df AND lasued_df
    FILTER unsw_df TO common_columns
    FILTER lasued_df TO common_columns
    CONCATENATE unsw_df AND lasued_df INTO merged_df
    RETURN merged_df
END FUNCTION
// --- FUNCTION: ENCODE CATEGORICAL COLUMNS ---
FUNCTION EncodeCategorical(df):
    FOR EACH column IN df:
        IF column TYPE IS 'object' OR 'category':
            ENCODE column USING LabelEncoder
        END IF
    END FOR
    RETURN df
END FUNCTION
// --- FUNCTION: VARIANCE THRESHOLD FEATURE SELECTION ---
FUNCTION SelectFeaturesByVariance(df, threshold):
    INITIALIZE VarianceSelector WITH threshold
    APPLY VarianceSelector TO df → selected_features
    EXTRACT retained_columns WHERE VARIANCE > threshold
    CREATE reduced_df WITH selected_features AND retained_columns
    RETURN reduced_df
END FUNCTION
// --- MAIN PIPELINE FUNCTION ---
FUNCTION PreprocessPipeline(unsw_path, lasued_path, threshold):
    SET data ← LoadAndMergeDatasets(unsw_path, lasued_path)
    SET data ← EncodeCategorical(data)
    PRINT "Original Feature Count:", COLUMN_COUNT(data)
    SET reduced_data ← SelectFeaturesByVariance(data, threshold)
    PRINT "Reduced Feature Count:", COLUMN_COUNT(reduced_data)

    RETURN reduced_data
END FUNCTION

// --- MAIN EXECUTION ---
CALL      PreprocessPipeline(UNSW_FILE_PATH,      LASUED_LOG_FILE_PATH,
VARIANCE_THRESHOLD)
→ RETURNS reduced_features
SAVE reduced_features TO "reduced_features.csv"
PRINT "Reduced dataset saved as 'reduced_features.csv'"
```

Result Output: Input and Output Features

Input (x)	Output (y)
Protocol	Attack
Source IP	
Destination IP	
Source port	
Destination port	

Variance thresholding, a simple but powerful feature selection technique, is used because of its ability to eliminate near-constant variables, especially when the threshold is set to 0.01, retaining six critical features: protocol type, source/destination IPs, source/destination port numbers, and attack labels as detailed in the Table above.

APPENDIX B

Pseudocode: Enhanced Lion Optimization Algorithm with Dynamic λ

```
// --- PARAMETERS ---
SET POPULATION_SIZE  $\leftarrow$  10
SET DIMENSION  $\leftarrow$  4
SET MAX_ITERATIONS  $\leftarrow$  40
SET LOWER_BOUND  $\leftarrow$  -10
SET UPPER_BOUND  $\leftarrow$  10
// --- OBJECTIVE FUNCTION: Sphere Function ---
FUNCTION ObjectiveFunction(x):
    RETURN SUM( $x_i^2$  FOR EACH  $x_i$  IN x)
END FUNCTION
// --- SIGMOID-BASED AGE RATIO ---
FUNCTION SigmoidAgeRatio(age_cub, age_mat,  $\lambda$ ):
    RETURN  $1 / (1 + \text{EXP}(-\lambda * (\text{age\_cub} - \text{age\_mat})))$ 
END FUNCTION
// --- INITIALIZE LION POPULATION ---
FUNCTION InitializePopulation(size, dimension, lb, ub):
    CREATE population AS MATRIX OF size  $\times$  dimension
    FOR EACH lion IN population:
        SET lion  $\leftarrow$  RANDOM_VECTOR_IN_RANGE(lb, ub, dimension)
    RETURN population
END FUNCTION
// --- DYNAMIC  $\lambda$  SCHEDULING ---
FUNCTION DynamicLambda(iteration, max_iterations):
    IF iteration <  $0.3 \times \text{max\_iterations}$ :
        RETURN RANDOM(0.1, 0.5)
    ELSE IF iteration <  $0.7 \times \text{max\_iterations}$ :
        RETURN RANDOM(0.5, 2)
    ELSE:
        RETURN RANDOM(4, 8)
END FUNCTION

// --- ENHANCED LOA MAIN FUNCTION ---
FUNCTION EnhancedLOA(pop_size, dim, max_iter, lb, ub):
```

```
population ← InitializePopulation(pop_size, dim, lb, ub)
fitness ← [ObjectiveFunction(ind) FOR EACH ind IN population]
lion_ages ← [0 FOR i = 1 TO pop_size]
best_fitness_history ← EMPTY LIST
// Initialize Best Lion
best_index ← INDEX_OF_MIN(fitness)
best_lion ← COPY(population[best_index])
best_fitness ← fitness[best_index]

FOR iteration FROM 1 TO max_iter:
    age_median ← MEDIAN(lion_ages)
    λ ← DynamicLambda(iteration, max_iter)
    // Update Population
    FOR i FROM 1 TO pop_size:
        age_ratio ← SigmoidAgeRatio(lion_ages[i], age_median, λ)
        random_step ← RANDOM_VECTOR(-1, 1, dim)
        // New position influenced by age ratio and best lion
        population[i] ← population[i]
            + age_ratio × random_step
            + 0.1 × (best_lion - population[i])
        population[i] ← CLAMP(population[i], lb, ub)
        lion_ages[i] ← lion_ages[i] + 1
    END FOR
    // Re-evaluate Fitness
    fitness ← [ObjectiveFunction(ind) FOR EACH ind IN population]
    // Update Best Lion
    current_best_index ← INDEX_OF_MIN(fitness)
    IF fitness[current_best_index] < best_fitness:
        best_fitness ← fitness[current_best_index]
        best_lion ← COPY(population[current_best_index])
    END IF
    APPEND best_fitness TO best_fitness_history
    PRINT "Iteration", iteration, "/", max_iter,
        " | λ:", λ,
        " | Best Fitness:", best_fitness
END FOR
RETURN best_fitness_history, best_lion
END FUNCTION

// --- EXECUTION ---
CALL EnhancedLOA(POPULATION_SIZE, DIMENSION, MAX_ITERATIONS,
LOWER_BOUND, UPPER_BOUND)
→ RETURNS best_fitness_history, best_lion
// --- OUTPUT RESULTS ---
PRINT "Final Best Fitness:", LAST_ELEMENT(best_fitness_history)
PRINT "Best Lion Position:", best_lion
// --- CONVERGENCE PLOT (CONCEPTUAL) ---
PLOT best_fitness_history WITH:
    TITLE "Fitness Convergence Curve"
    X-AXIS LABEL "Iteration"
    Y-AXIS LABEL "Best Fitness (Log Scale)"
```

```
APPLY LOG SCALE TO Y-AXIS
ENABLE GRID
END PLOT
```

APPENDIX C

Validation code of the optimal threshold decision boundary's exploration and exploitation.

Step 1: Define parameter sets

```
SET params TO [
  {gamma: 0.38, nu: 0.26},
  {gamma: 0.38, nu: 0.36},
  {gamma: 0.38, nu: 0.42},
  {gamma: 0.38, nu: 0.00093}
]
```

// Step 2: Initialize an empty list to store results
SET results TO empty list

// Step 3: Loop through each parameter set
FOR EACH param IN params DO:

```
  // Step 3.1: Train One-Class SVM model
  INITIALIZE model WITH OneClassSVM USING gamma = param.gamma AND nu =
  param.nu
  FIT model ON X_train_scaled
```

```
  // Step 4: Make predictions on test data
  SET y_pred TO model.predict(X_test_scaled)
```

```
  // Step 4.1: Convert predictions from {-1, 1} to {1, 0}
  FOR EACH value IN y_pred DO:
```

```
    IF value == -1 THEN
      REPLACE value WITH 1 // Anomaly
    ELSE
      REPLACE value WITH 0 // Normal
    END IF
```

```
  END FOR
```

// Step 5: Evaluate performance metrics

```
SET confusion_matrix TO COMPUTE_CONFUSION_MATRIX(y_test, y_pred)
SET TP TO confusion_matrix[1][1]
SET FN TO confusion_matrix[1][0]
SET FP TO confusion_matrix[0][1]
SET TN TO confusion_matrix[0][0]
IF (TP + FN) > 0 THEN
  SET TPR TO TP / (TP + FN) // True Positive Rate
ELSE
  SET TPR TO 0
END IF
IF (FP + TN) > 0 THEN
```

```

    SET FPR TO  $FP / (FP + TN)$  // False Positive Rate
ELSE
    SET FPR TO 0
END IF
SET ROC_AUC TO COMPUTE_ROC_AUC( $y_{test}$ ,  $y_{pred}$ )
// Step 6: Store result in the list
APPEND {
    gamma: param.gamma,
    nu: param.nu,
    TPR: ROUND(TPR, 4),
    FPR: ROUND(FPR, 4),
    ROC_AUC: ROUND(ROC_AUC, 4)
} TO results
END FOR
// Step 7: Display results
FOR EACH res IN results DO:
    PRINT res
END FOR

```

APPENDIX D

Pseudocode for OCSVM model using EMLOA for Hyperparameter Tuning

ALGORITHM: One-Class SVM Anomaly Detection Evaluation using MLOA

STRUCTURE ModelParameters:

```

    gamma: float
    nu: float
FUNCTION load_and_preprocess(filepath, test_size=0.3):
    dataset ← LOAD_CSV(filepath)
    features ← dataset.EXCLUDE_COLUMN("label")
    labels ← dataset["label"]
     $X_{train}$ ,  $X_{test}$ ,  $y_{train}$ ,  $y_{test}$  ← SPLIT_DATA(features, labels, test_size=test_size,
stratify=labels, random_state=42 )
    scaler ← INIT_STANDARD_SCALER()
     $X_{train\_scaled}$  ← SCALE_FIT_TRANSFORM(scaler,  $X_{train}$ )
     $X_{test\_scaled}$  ← SCALE_TRANSFORM(scaler,  $X_{test}$ )
    RETURN  $X_{train\_scaled}$ ,  $X_{test\_scaled}$ ,  $y_{train}$ ,  $y_{test}$ 
FUNCTION evaluate_models(parameters,  $X_{train\_s}$ ,  $X_{test\_s}$ ,  $y_{train}$ ,  $y_{test}$ ):
    results ← EMPTY_LIST
    FOR EACH param IN parameters:
        // Train OCSVM on normal class only
        normal_data ←  $X_{train\_s}$ [WHERE  $y_{train} == 0$ ]
        model ← INIT_OCSVM(gamma=param.gamma, nu=param.nu)
        TRAIN(model, normal_data)
        start_time ← CURRENT_TIME()
        raw_predictions ← PREDICT(model,  $X_{test\_s}$ )
        latency_ms ← (CURRENT_TIME() - start_time) / LENGTH( $X_{test\_s}$ ) * 1000
        // Convert OCSVM output: 1 → 0 (normal), -1 → 1 (anomaly)
        final_predictions ← TRANSFORM(raw_predictions, 1→0, -1→1)
        tn, fp, fn, tp ← CONFUSION_MATRIX( $y_{test}$ , final_predictions).RAVEL()
        accuracy ←  $(tp + tn) / (tp + tn + fp + fn)$ 
        precision ← IF  $(tp + fp) > 0$  THEN  $tp / (tp + fp)$  ELSE 0

```

```

    recall ← IF (tp + fn) > 0 THEN tp / (tp + fn) ELSE 0
    f1 ← IF (precision + recall) > 0 THEN 2 * precision * recall / (precision + recall)
ELSE 0
    fpr ← IF (fp + tn) > 0 THEN fp / (fp + tn) ELSE 0
    roc_auc ← TRY(ROC_AUC(y_test, final_predictions)) CATCH ValueError: 0
    results.APPEND({ 'Gamma': param.gamma, 'Nu': param.nu,
        'Accuracy': ROUND(accuracy, 4),
        'Precision': ROUND(precision, 4),
        'Recall (TPR)': ROUND(recall, 4),
        'F1-score': ROUND(f1, 4),
        'FPR': ROUND(fpr, 4),
        'ROC AUC': ROUND(roc_auc, 4),
        'Latency (ms)': ROUND(latency_ms, 4) })
    RETURN CREATE_DATA_FRAME(results)
PROCEDURE main():
    DATA_FILE ← "Preprocessed_datasets.csv"
    PARAMETER_SET ← MLOA_OPTIMIZE([
        {gamma: 0.38, nu: 0.26},
        {gamma: 0.38, nu: 0.36},
        {gamma: 0.38, nu: 0.42},
        {gamma: 0.38, nu: 0.00093}
    ]) // Optimized by Sigmoid-Tuned LOA
    X_train_s, X_test_s, y_train, y_test ← load_and_preprocess(DATA_FILE)
    evaluation_results ← evaluate_models(PARAMETER_SET, X_train_s, X_test_s, y_train,
y_test)
    PRINT "OCSVM Performance Evaluation:"
    PRINT_TABLE(evaluation_results)
EXECUTE main()

```

APPENDIX E

Pseudocode for Conditional GAN (CGAN) on UNSW-NB15

BEGIN

1. Load UNSW-NB15 Dataset
 - Read the dataset CSV
 - Select numeric features (X)
 - Extract attack class labels (y)
 - Fill missing labels with "Normal"
2. Encode Labels
 - Convert labels to integers (LabelEncoder)
 - Convert integers to one-hot vectors (OneHotEncoder)
3. Preprocess Features
 - Normalize X features to range [-1, 1] using MinMaxScaler
4. Convert Data to Tensors
 - X_tensor ← torch tensor of scaled features
 - y_tensor ← torch tensor of one-hot encoded labels
 - Create dataset = (X_tensor, y_tensor)
 - Create DataLoader for batch training
5. Define Generator Network

INPUT: random noise (latent_dim) + attack label (num_classes)

PROCESS:

- Fully connected layers with LeakyReLU
- Output size = feature_dim (number of features in dataset)
- Output activation = Tanh (range [-1,1])

OUTPUT: synthetic attack sample

6. Define Discriminator Network

INPUT: real/fake sample (feature_dim) + attack label (num_classes)

PROCESS:

- Fully connected layers with LeakyReLU
- Final output = probability (Sigmoid)

OUTPUT: probability (real or fake)

7. Initialize Models

- Generator, Discriminator
- Loss function = Binary Cross Entropy
- Optimizers = Adam

8. Training Loop (for each epoch)

FOR each batch (real_samples, labels) IN dataloader:

- a. Prepare labels
 - real_targets = 1
 - fake_targets = 0
- b. Train Discriminator
 - Compute D_loss_real using (real_samples, labels)
 - Generate fake_samples = G(noise, labels)
 - Compute D_loss_fake using (fake_samples, labels)
 - Update Discriminator
- c. Train Generator
 - Generate fake_samples = G(noise, labels)
 - Pass fake_samples to Discriminator
 - Compute G_loss (want discriminator to output "real")
 - Update Generator

END FOR

PRINT epoch number, D_loss, G_loss

9. Generate Class-Specific Attack Samples

FUNCTION generate_attack_samples(attack_name, n_samples):

- Find index of attack_name in label encoder
- Create one-hot label vector for chosen attack
- Generate noise (z)
- Pass (z, label) into Generator
- Inverse transform to original feature scale
- RETURN synthetic attack samples as DataFrame

10. Example Usage:

- generate_attack_samples("DoS", 5)
- generate_attack_samples("Generic", 5)

END

APPENDIX F

```
import time
from utils import (
    collect_portal_logs,
    evaluate_model_performance,
    detect_drift_or_degradation,
    retrain_emloa_ocsvm,
    validate_model,
    deploy_model_to_api)
# Define how often to run the monitoring loop (e.g., every 6 hours)
MONITORING_INTERVAL = 6 * 60 * 60 # seconds
def monitoring_cycle():
    print("=== Starting Monitoring Cycle ===")
    while True:
        # Step 1: Collect new logs
        logs = collect_portal_logs(source="LASUED")
        print("[INFO] New logs collected.")
        # Step 2: Evaluate current model performance
        performance = evaluate_model_performance(logs)
        print(f"[INFO] Current Performance: {performance}")
        # Step 3: Check for drift or performance drop
        if detect_drift_or_degradation(performance):
            print("[WARNING] Drift or performance drop detected. Starting retraining...")
            # Step 4: Retrain model with updated data
            new_model = retrain_emloa_ocsvm(logs)
            # Step 5: Validate new model
            if validate_model(new_model):
                print("[INFO] Model validated successfully. Deploying to API...")
                deploy_model_to_api(new_model)
            else:
                print("[ERROR] New model failed validation. Keeping existing model.")
        else:
            print("[INFO] No drift detected. Continuing monitoring...")
        # Step 6: Wait until the next monitoring cycle
        print(f"[INFO] Sleeping for {MONITORING_INTERVAL/3600} hours...\n")
        time.sleep(MONITORING_INTERVAL)
# Run the monitoring system
if __name__ == "__main__":
    monitoring_cycle()
```

Activité hypoglycémiant des feuilles de *Tridax procumbens* chez des rats rendus diabétiques par l'alloxane lors une étude comparative sur 30 jours

**Kouassi Delorme Arsène Vivien
Kamagaté Adama**

Laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée, UFR Sciences de la Nature, Université Nangui ABROGOUA, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p57](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p57)

Submitted: 20 June 2025
Accepted: 08 August 2025
Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Kouassi, D.A.V. & Kamagaté, A. (2025). *Activité hypoglycémiant des feuilles de Tridax procumbens chez des rats rendus diabétiques par l'alloxane lors une étude comparative sur 30 jours*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 57.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p57>

Résumé

Tridax procumbens est une plante connue traditionnellement en Afrique, et utilisée pour traiter de nombreuses pathologies telles que la fièvre, la dysenterie et le diabète. Cette étude visait à évaluer les propriétés hypoglycémiantes de la poudre des feuilles de *Tridax procumbens* chez des rats normaux, et des rats rendus diabétiques par l'alloxane. La glycémie (g/l) a été déterminée chaque trois (3) jours. La poudre des feuilles de *Tridax procumbens* a entraîné une baisse significative de la glycémie chez des rats à jeun qui s'est rapprochée de la normale après 30 jours d'induction du diabète. Nos résultats montrent que la poudre des feuilles de *Tridax procumbens* possède des propriétés hypoglycémiantes. Ce qui ouvre la voie de son utilisation pour élaborer des médicaments traditionnels améliorés (MTA) contre le diabète.

Mots-clés: Diabète, Glycémie, *Tridax procumbens*, MTA, Obésité

Hypoglycaemic activity of *Tridax procumbens* leaves in alloxan-induced diabetic rats during a 30-day comparative study

Kouassi Delorme Arsène Vivien

Kamagaté Adama

Laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée, UFR Sciences de la Nature, Université Nangui ABROGOUA, Côte d'Ivoire

Abstract

Tridax procumbens is a plant traditionally known in Africa and used to treat numerous pathologies such as fever, dysentery, and diabetes. The aim of this study was to evaluate the hypoglycaemic properties of *Tridax procumbens* leaf powder in normal and alloxan-induced diabetic rats. Blood glucose levels (g/l) were determined every three (3) days. *Tridax procumbens* leaf powder significantly lowered blood glucose levels in fasting rats, which were close to normal levels after 30 days of diabetes induction. Our results show that *Tridax procumbens* leaf powder has hypoglycaemic properties. This opens the way for its use in the development of improved traditional medicines (ITM) for diabetes.

Keywords: Diabetes, *Tridax procumbens*, Blood sugar, ITM, Obesity

Introduction

En Afrique, plus de 80 % de la population a recours aux traitements traditionnels pour satisfaire leurs besoins en matière de santé et de soins primaires (OMS, 2002). Les plantes constituent par excellence, les principaux moyens médicamenteux pour des soins pratiques en santé publique. Le regain d'intérêt, de plus en plus croissant pour l'utilisation des plantes médicinales en Afrique a plusieurs origines. Cet engouement s'expliquerait par des difficultés d'accès aux structures sanitaires et l'indisponibilité de certains médicaments dans les hameaux, les villages et certaines villes. Il y a aussi l'accroissement incessant de la crise économique et la paupérisation grandissante de la population. En outre, la médecine traditionnelle est fortement liée aux coutumes des peuples locaux qui la pratiquent. Il faut donc faire face à l'échec de la médecine conventionnelle contre certaines pathologies dites incurables parmi lesquelles figurent le diabète. A cela, il faudrait ajouter le coût élevé et la forte incidence des effets indésirables des médicaments pharmaceutiques.

Le diabète est une maladie métabolique caractérisée par une hyperglycémie chronique associée à une perturbation du métabolisme des

glucides, des acides gras et des protéines, résultant d'un défaut de production et/ou d'action de l'insuline (OMS, 1999). Il est devenu en moins d'un quart de siècle, un problème de santé publique (Fontbome et *al.*, 2003). En 2013, la Fédération Internationale du Diabète (FID) a dénombré 382 millions de diabétiques à travers le monde. En 2024, le nombre de personnes atteintes par cette maladie est estimé à 589 millions (FID, 2025). En Afrique, la prévalence de cette pathologie est évaluée à 19,8 millions en 2013 et pourrait atteindre 41,4 millions à l'horizon 2035 (FID, 2013). L'usage fréquent des plantes dans la médecine traditionnelle et les résultats satisfaisants qui s'ensuivent dans certains cas, ont conduit certains pays d'Afrique à mener des réflexions plus poussées pour la promotion de la médecine traditionnelle. L'OMS a préconisé une stratégie de valorisation de la médecine traditionnelle qui vise à la mise au point et à l'intégration de cette médecine dans les systèmes de soins et de santé publique. Cette stratégie repose à la fois sur l'accessibilité, l'efficacité, l'innocuité et la qualité des médicaments traditionnels (OMS, 2002). Elle est rendue possible par la modernisation des techniques analytiques en chimie des substances naturelles, l'amélioration des méthodes d'évaluation en pharmacologie et la mise en œuvre de protocoles d'essais cliniques adaptés (Graz et *al.*, 2007). Si la pratique de cette médecine semble être bien organisée au Mali, au Ghana et au Nigéria, elle demeure cependant dans la majorité des pays africains sans réglementation claire sur les méthodes de recherche et d'évaluation des plantes médicinales, (OMS, 2001). Durant ces deux dernières décennies, la recherche en phytothérapie est devenue une des plus grandes préoccupations scientifiques (Njike et *al.*, 2006).

Dans le but de contribuer à la valorisation et à la promotion de la médecine traditionnelle, une plante utilisée contre le diabète a été identifiée, il s'agit de *Tridax procumbens*. Cette plante appartient à la famille des Asteraceae (les tournesols), *Tridax procumbens* est une espèce originaire d'Amérique tropicale, introduite dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées du monde entier. Elle est fréquemment retrouvée dans les champs, les prairies et les bords de routes dans les zones tropicales. *Tridax procumbens* est une plante herbacée étalée dont les extrémités florifères sont ascendantes, sa racine est un puissant pivot. Les feuilles opposées, simples et irrégulièrement dentées sont généralement en forme de flèche ; elles sont épaisses, molles et de couleur vert foncé, Ahossi et *al.*, (2014).

En vue donc de recommander l'usage de cette plante comme un moyen alternatif dans la prise en charge du diabète en Côte d'Ivoire, l'objectif général de ce travail est d'évaluer l'activité hypoglycémiant des extraits de la poudre des feuilles de *Tridax procumbens* chez les rats rendus diabétiques par l'alloxane. Les paramètres anthropométriques et biochimiques ont été mesurés et évalués.

Matériel et méthodes

Matériel

Matériel animal

Des rats de l'espèce *Rattus norvegicus*, de souche *Wistar*, âgés de huit à douze semaines, et pesant environ 100-161 g, ont été fournis par l'animalerie du Laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée de l'Université Nangui ABROGOUA. Ces animaux sont conservés dans des cages en plastique tapis de copeaux de bois servant de couchette. Les animaux, acclimatés pendant trois jours, avaient un accès libre à l'eau et à l'aliment (granulés fournis par la société IVOGRAIN d'Abidjan). L'animalerie est maintenue à une température de $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$, et un cycle lumière /obscurité de 12 heures. Ces rats ont été utilisés pour les études pharmacologiques sur la glycémie et les paramètres anthropométriques.

Tous les protocoles expérimentaux sont conduits conformément à la directive Européenne du 24 Novembre 1986 (86/606/EEC) relatives à l'usage des animaux d'expérimentation dans la recherche (EU, 1986).

Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de *Tridax procumbens* de la famille des Asteraceae (les tournesols). Elles ont été récoltées dans la verdure de l'Université Nangui ABROGOUA (Abidjan, Côte d'Ivoire). L'identification de cette plante a été effectuée au Centre National Floristique (C.N.F.) de l'unité de formation et de recherche (U.F.R.) Biosciences de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody à Abidjan en Côte d'Ivoire.

Matériel alimentaire

Le matériel alimentaire est le granulé de la compagnie IVOGRAIN (Abidjan, Côte d'Ivoire).

Matériel de laboratoire

Plusieurs appareils ont été utilisés pour la réalisation de cette étude. Il s'agit entre autres : un broyeur de marque Retsh type SM100 GmbH (Allemagne) ; d'une balance électronique Sartorius (Allemagne) ; d'un lecteur de glycémie On Call Extra (USA) ; d'une centrifugeuse ; et de seringues (2 et 5 ml).

Méthode

Cadres d'expérimentation

Les travaux sont réalisés au Laboratoire de Physiologie, de Pharmacologie et de Pharmacopée de l'UFR-SN à l'Université Nangui ABROGOUA (Abidjan, Côte d'Ivoire).

Procédure d'extraction de la plante *Tridax procumbens*

Les feuilles de *Tridax procumbens* ont été séchées à l'ombre et broyées dans un broyeur électrique en poudre grossière. La poudre des feuilles de *Tridax procumbens* a été conservée à une température quotidienne de 20 à 22°C.

Induction de diabète expérimental

La méthode utilisée provient de celle de Nagappa et *al.*, 2003), avec une légère modification. Des rats normo-glycémiques des deux sexes ont été mis à jeun pendant 8 heures et rendus diabétiques par administration intrapéritonéale de la dose de 200 mg/kg de p.c d'alloxane (AK Scientific, USA), dilué dans du chlorure de sodium (NaCl, 0,9%). Du glucose anhydre (Sigma, USA) a été administré aux rats à la dose de 10 g/kg de p.c afin de les stabiliser et d'atténuer l'effet oxydant de l'alloxane. Après trois jours, la glycémie a été déterminée, et seuls les rats ayant une glycémie au-delà de 200 mg/dl ont été sélectionnés pour la suite de l'expérimentation. Ces rats sélectionnés ont été suivis par les mesures de la glycémie et des paramètres anthropométriques.

Constitution des lots des rats

L'échantillon était composé de 24 rats en raison de 12 rats mâles et 12 rats femelles pesant entre (100-161 g) (au début de l'expérimentation), seront divisés en 3 lots en raison de huit (08) rats par lot.

Lot 01 : Rats non diabétiques (lot témoin)

Lot 02 : Rats diabétiques non traités

Lot 03 : Rats diabétiques traités avec la poudre des feuilles de *Tridax procumbens*

Identification individuelle des rats se fait par numérotation au niveau de la queue à l'aide d'un marqueur permanent.

Préparation de la poudre de *Tridax procumbens*

Les tiges feuillées de *Tridax procumbens* ont été récoltées dans la cour de l'Université Nangui ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire en juillet 2020, lavées et séchées au Laboratoire sur la paillasse pendant trois semaines à une température ambiante de 25 ± 2 °C. Ensuite elles ont été réduites en poudre fine au moyen du broyeur électrique (CULATTI, France).

Procédure expérimentale

Ces recherches ont été conduites sur vingt-quatre (20) rats de souche *Wistar* âgés de huit à neuf semaines, et pesant environ 100-161 g composés de mâles et de femelles répartis au hasard en trois lots de huit (8) rats pour les trois types de traitements pharmacologiques. Le lot 1, rats témoins normo-

glycémiques recevant un régime standard supplémenté de 100 g de granulé et de l'eau distillée. Le lot 2, rats témoins diabétiques recevant un régime standard supplémenté de 100 g de granulé et de l'eau distillée. Le lot 3, rats expérimentaux diabétiques recevant un régime standard supplémenté de 100 g de granulé et de la poudre de *Tridax procumbens*.

Pesée

Les animaux ont été pesés à l'aide d'une balance de précision à des moments fixes avant l'induction du diabète (début de la manipulation) et chaque jour après l'induction du diabète, durant la période de 30 jours d'expérimentation.

Prélèvement sanguin pour la mesure de la glycémie

Tous les prélèvements sanguins pour le dosage de la glycémie ont été effectués au niveau de la queue des rats. Après nettoyage de la queue à l'alcool, les rats ont été piqués à l'aide d'une fine aiguille, une goutte de sang sera récupérée puis déposée sur une bandelette pour la lecture de la glycémie.

Fonctionnement du lecteur on call extra

Par simple insertion de la bandelette dans le sens des flèches, le lecteur se met en marche automatiquement. Le lecteur effectue automatiquement des contrôles d'utilisation, comme le contrôle de l'intégrité de la bandelette, ces contrôles sont rapides et instantanés.

On a vérifié que le code affiché à l'écran correspond au code du flacon des bandelettes. Le symbole d'une goutte de sang s'affiche sur l'écran, indiquant que le lecteur est prêt pour la lecture.

Mesure de la glycémie

Au toucher de l'extrémité de la bandelette, le sang a été absorbé rapidement. Les contrôles d'usage complémentaires ont été effectués automatiquement. Lorsque la quantité de sang est suffisante, le symbole clignotant d'un sablier s'affiche sur l'écran.

Le résultat s'affiche à l'écran après 5 secondes et il est automatiquement sauvegardé dans la mémoire du lecteur avec l'heure et la date.

Analyses statistiques des résultats

L'analyse statistique des données est faite grâce au logiciel GraphPad InStat 3.01 (San Diego, Californie, USA). Les résultats sont donnés sous forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). La comparaison des moyennes a été effectuée par un test de l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA1) pour vérifier la normalité des variables.

Lorsque des différences significatives sont révélées entre les moyennes testées, l'ANOVA1 est complétée par des comparaisons multiples des valeurs moyennes des différents paramètres en utilisant le test de Turkey-Kramer. Les différences sont considérées significatives à $P < 0,05$, très significatives à $P < 0,01$, extrêmement significatives à $P < 0,001$, et très extrêmement significatives à $P < 0,0001$.

Résultats

Evolution du poids corporel

La variation du poids des rats constitue un paramètre très important. Le poids des animaux a été mesuré tout au long de notre étude : avant l'injection de l'alloxane et pendant la phase de traitement. La variation du poids corporel moyen des rats des trois (03) lots est représentée par le Tableau 1.

D'après les résultats obtenus, nous avons enregistré un gain régulier du poids corporel des rats témoins normo-glycémiques, la valeur moyenne du poids corporel est passé de $158,1 \pm 3,4795$ g en début d'expérimentation à $182,3 \pm 3,4532$ g en fin de cette étude.

Quant aux rats rendus diabétiques, on note une perte de poids des rats du lot 2 (témoins diabétiques) du début jusqu'à la fin de l'expérience, la valeur moyennes du poids corporel est passé de $158,0 \pm 3,3273$ g en début d'expérimentation à $133,4 \pm 3,6797$ g à la fin de cette étude. En ce qui concerne les rats du lot 3 (lot expérimental), on note une perte de poids après l'injection de l'alloxane. La poudre des feuilles *Tridax procumbens* a entraîné une augmentation du poids moyen des animaux du lot 3 qui était faible après injection de l'alloxane, et est passé de $154,3 \pm 3,1637$ g à $165,5 \pm 3,1890$ g en fin d'expérimentation. Il n'y a pas de différences significatives entre les gains de poids des animaux des lots, témoin diabétique et expérimental au 2^e jour et 3^e jour d'expérimentation ($p > 0,05$). Par contre, il y a une différence très significative entre les gains de poids des animaux des lots, lot témoin normo-glycémique, lot témoin diabétique et lot expérimental diabétique traité par *Tridax procumbens* au 30^e jour ($p < 0,01$) (Figure 1).

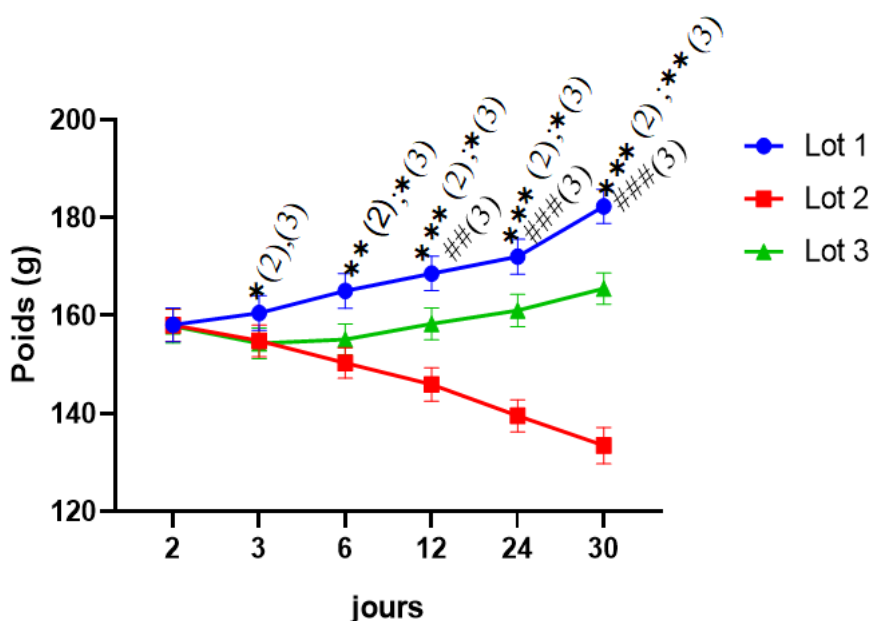
Les résultats obtenus dans notre étude ont montré que l'injection de l'alloxane induirait une perte du poids corporel dans le groupe de rats diabétiques non traité par rapport au lot témoin normo-glycémique au jour 30 d'expérimentation ($p < 0,001$). Et que la poudre des feuilles de *Tridax procumbens* permet d'augmenter le poids du lot des rats diabétiques traité très significativement par rapport au lot de rats diabétiques non traité ($p < 0,001$).

Tableau 1 : Variation du poids corporel moyen des rats des trois (03) lots sur 30 jours

	1 ^{re} semaine			2 ^e semaine	3 ^e semaine	4 ^e semaine
	2 ^e jour 1 ^{re} mesure	3 ^e jour 2 ^e mesure	6 ^e jour 3 ^e mesure	12 ^e jour 4 ^e mesure	24 ^e jour 5 ^e mesure	30 ^e jour 6 ^e mesure
Lot 1 témoin normo-glycémique	158,1 ± 3,4795	160,5 ± 3,5345	165,0 ± 3,5345	168,6 ± 3,5324	172,0 ± 3,5345	182,3 ± 3,4532
Lot 2 témoin diabétique	158,0 ± 3,3273	154,8 ± 3,2500*	150,3 ± 3,1637**	145,9 ± 3,3981***	139,5 ± 3,2673***	133,4 ± 3,6797***
Lot 3 Expérimental (rats diabétiques traités)	157,8 ± 3,4119	154,3 ± 3,1637*	155,1 ± 3,1250*	158,3 ± 3,2500* ; ##	161,0 ± 3,2673* ; ###	165,5 ± 3,1890** ; ###

Chaque valeur représente la moyenne ± SEM, n = 8 rats de souche *Wistar*. La comparaison des moyennes est effectuée par un test d'ANOVA. *P<0,05, différence significative, **P<0,01, différence très significative, ***P<0,001, différence extrêmement significative entre le lot témoin normo-glycémique et les autres lots. #P<0,05, différence significative, ##P<0,01, différence très significative, ###P<0,001, différence extrêmement significative entre le lot témoin diabétique et le lot expérimental diabétique traité.

Figure 1 : Evolution du poids corporel



Chaque valeur représente la moyenne ± SEM, n = 8 rats de souche *Wistar*. La comparaison des moyennes est effectuée par un test d'ANOVA. *P<0,05, différence significative, **P<0,01, différence très significative, ***P<0,001, différence extrêmement significative entre le lot témoin normo-glycémique et les autres lots. #P<0,05, différence significative, ##P<0,01, différence très significative, ###P<0,001, différence extrêmement significative entre lot témoin diabétique et lot expérimental diabétique traité. Les chiffres (1), (2), (3), représentent les analyses statiques sur les lots 1-3, respectivement. Lot 1 témoin normo-glycémique, Lot 2 témoin diabétique, Lot 3 expérimental diabétique traité.

Suivi de la glycémie des animaux

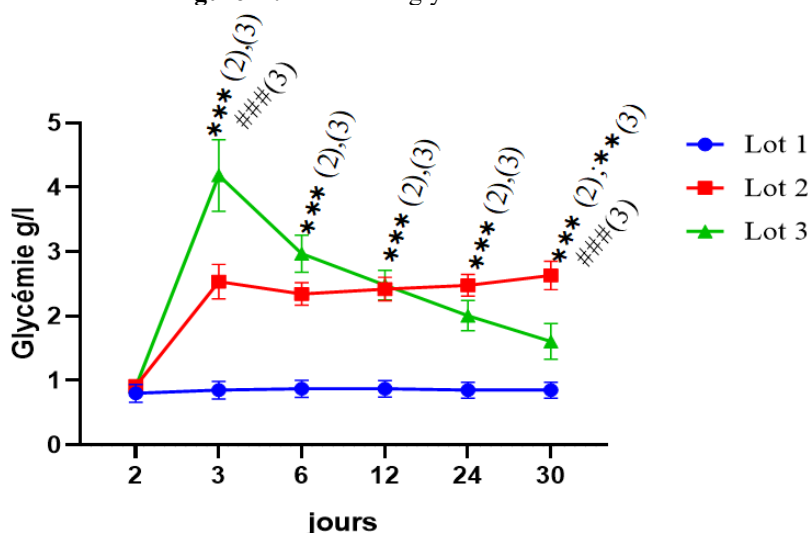
Le suivi de la glycémie nous a donné les résultats représentés par la Figure 2. La glycémie a été évaluée chez l'ensemble des rats avant induction du diabète. Ensuite chez des rats normaux et diabétiques sur période de 30 jours. On distingue les lots témoins constitués de lot 1 témoin normo-glycémique, et lot 2 témoin diabétique. On a également le lot 3 expérimental qui a été rendu diabétique. Le Tableau 2 représente la glycémie sur les 30 jours d'expérimentation. Après analyse de ces résultats, on a constaté que la glycémie des rats du lot 1 témoin normo-glycémique reste constante tout au long de l'expérience. Avant l'induction du diabète, c'est-à-dire au 2e jour, il n'y a pas de différence significative entre les glycémies des différents lots de rats ($P > 0,05$). Après induction du diabète, les glycémies des rats diabétiques sont nettement supérieures à celles des rats sains ($p < 0,001$). Elles sont de $0,8750 \pm 0,13484$ g/L, $2,525 \pm 0,2661$ g/L, $4,184 \pm 0,5561$ g/L, pour les lots 1-3, respectivement. Au 24e jour d'expérimentation, la glycémie des rats diabétiques ayant reçu la poudre des feuilles *Tridax procumbens* a baissé. Elles sont de $0,8588 \pm 0,12416$ g/L, $2,476 \pm 0,1670$ g/L, $2,008 \pm 0,2347$ g/L, pour les lots 1-3, respectivement. Le lot 3 diabétique traité a eu une baisse extrêmement significative de leur glycémie, comparé au lot 2 diabétique non traité ($p < 0,001$). Au 30e jour les glycémies des rats sont de $0,8625 \pm 0,12226$

	1 ^{re} semaine			2 ^e semaine	3 ^e semaine	4 ^e semaine
	2 ^e jour 1 ^{re} mesure	3 ^e jour 2 ^e mesure	6 ^e jour 3 ^e mesure	12 ^e jour 4 ^e mesure	24 ^e jour 5 ^e mesure	30 ^e jour 6 ^e mesure
Lot 1 témoin normo-glycémique	$0,8513 \pm 0,13953$	$0,8750 \pm 0,13484$	$0,8650 \pm 0,13024$	$0,8700 \pm 0,12803$	$0,8588 \pm 0,12416$	$0,8625 \pm 0,12226$
Lot 2 témoin diabétique	$0,9125 \pm 0,03529$	$2,525 \pm 0,2661^{***}$	$2,344 \pm 0,1750^{***}$	$2,416 \pm 0,1821^{***}$	$2,476 \pm 0,1670^{***}$	$2,633 \pm 0,2210^{***}$
Lot 3 Expérimental (rats diabétiques traités)	$0,9050 \pm 0,03445$	$4,184 \pm 0,5561^{***}$; ###	$2,970 \pm 0,2876^{***}$	$2,481 \pm 0,2292^{***}$	$2,008 \pm 0,2347^{***}$	$1,608 \pm 0,2776^{**}$; ###

g/L, $2,633 \pm 0,2210$ g/L, $1,608 \pm 0,2776$ g/L, pour les lots 1-3, respectivement. Néanmoins, Il y a une de différence significative entre les lots 1 et 3 ($P < 0,01$).

Tableau 2 : Variation de la glycémie moyenne des rats des trois (03) lots sur 30 jours
Chaque valeur représente la moyenne $\pm$ SEM, $n = 8$ rats de souche Wistar. La comparaison des moyennes est effectuée par un test d'ANOVA. * $P < 0,05$, différence significative, ** $P < 0,01$, différence très significative, *** $P < 0,001$, différence extrêmement significative entre le lot témoin normo-glycémique et les autres lots. # $P < 0,05$, différence significative, ## $P < 0,01$, différence très significative, ### $P < 0,001$, différence extrêmement significative entre le lot témoin diabétique et le lot expérimental diabétique traité.

Figure 2 : Suivi de la glycémie des animaux



Chaque valeur représente la moyenne $\pm$ SEM, n = 8 rats de souche Wistar. La comparaison des moyennes est effectuée par un test d'ANOVA. * $P < 0,05$, différence significative, ** $P < 0,01$, différence très significative, *** $P < 0,001$, différence extrêmement significative entre le lot témoin normo-glycémique et les autres lots. # $P < 0,05$, différence significative, ## $P < 0,01$, différence très significative, ### $P < 0,001$, différence extrêmement significative entre lot témoin diabétique et lot expérimental diabétique traité. Les chiffres (1), (2), (3), représentent les analyses statistiques sur les lots 1-3, respectivement. Lot 1 témoin normo-glycémique, Lot 2 témoin diabétique, Lot 3 expérimental diabétique traité.

Discussion

L'étude menée a montré une activité hypoglycémiante de la poudre des feuilles de *Tridax procumbens* chez les rats diabétiques à l'alloxane.

Une perte de poids corporel a été observée dans le diabète sucré induit par l'alloxane chez le rat et a été empêchée par un traitement avec la poudre des feuilles de *Tridax procumbens*. L'administration de la poudre des feuilles de *Tridax procumbens* dans la nourriture des rats diabétiques a entraîné une augmentation du poids corporel par rapport aux rats diabétiques non traités. Les résultats de la présente étude suggèrent que le traitement par la poudre des feuilles de *Tridax procumbens* a eu un effet positif sur le maintien du poids corporel chez les rats diabétiques. L'effet protecteur de la fraction végétale sur le poids corporel des rats diabétiques peut être dû à sa capacité à réduire l'hyperglycémie. Le diabète sucré induit par l'alloxane est caractérisé par une grave perte de poids due à une fonte musculaire (Auroba et al., 2010). Ainsi, les résultats obtenus mettent en évidence l'activité hypoglycémiante significative de la poudre des feuilles de *Tridax procumbens* chez les rats rendus diabétiques par l'alloxane. Cette activité se manifeste par une réduction progressive et significative de la glycémie, ainsi qu'un effet bénéfique sur le poids corporel des animaux traités.

L'alloxane provoque le diabète chez les animaux par sa capacité à détruire les cellules β des îlots de Langerhans du pancréas productrices d'insuline. Il inhibe les enzymes thiol-dépendants telles que la glucokinase et l'hexokinase (Munday et *al.*, 1997). L'alloxane induit la formation d'espèces réactives de l'oxygène des radicaux superoxydes, le peroxyde d'hydrogène et des radicaux hydroxyles (Duncan et *al.*, 2012). L'action des espèces réactives de l'oxygène avec une augmentation massive simultanée de concentration de calcium cytosolique provoque la destruction rapide de la cellule β des îlots de Langerhans du pancréas (Haribabu et *al.*, 2013).

En effet, la perte de poids observée chez les rats diabétiques non traités est cohérente avec les effets métaboliques du diabète sucré, notamment la néoglucogenèse accrue et la dégradation des protéines et des lipides. Ces mécanismes entraînent une fonte musculaire et une diminution des réserves énergétiques (Daisy et *al.*, 2012). En revanche, les rats traités avec *Tridax procumbens* ont montré une amélioration significative de leur poids corporel, suggérant un effet protecteur contre les altérations métaboliques induites par l'alloxane. Ce gain de poids pourrait être attribué à une meilleure utilisation du glucose, une réduction du stress oxydatif, ou encore à une modulation favorable du métabolisme énergétique. Ces résultats corroborent les travaux de Auroba et *al.* (2010), qui ont également observé une amélioration du poids corporel chez des rats diabétiques traités par des extraits végétaux.

La destruction des cellules β des îlots de Langerhans du pancréas par alloxane entraîne une diminution de la sécrétion d'insuline et une altération de l'homéostasie glucidique. L'administration de la poudre de *Tridax procumbens* a permis une réduction significative de la glycémie chez les rats diabétiques, avec des valeurs proches de la normale après 30 jours de traitement. La plante pourrait agir par plusieurs mécanismes : stimulation de la sécrétion d'insuline, amélioration de la sensibilité à l'insuline, inhibition de l' α -glucosidase, ou encore réduction de la néoglucogenèse hépatique (Pareek et *al.*, 2009). L'hyperglycémie est un symptôme important du diabète sucré (Prakasam et *al.*, 2005). Deux mécanismes fondamentaux qui causeraient une hyperglycémie lors d'un diabète sont d'une part par un mécanisme de surproduction du glucose (excès de la néoglucogenèse et la glycogénolyse) d'autre part par la diminution de l'utilisation du glucose par les tissus périphériques (Shirwaikar et *al.*, 2004). L'alloxane est connu comme étant un composé diabétogène car il induit le diabète de type 1 *in vivo* en générant des ROS (Reactive Oxygen Species.), et sélectivement en endommageant les cellules β des îlots de Langerhans du pancréas (Yuping et *al.*, 2012). Les travaux de Lenzen et *al.* (1996) ont démontré que l'alloxane induit une réponse tétra-phasique, une première phase d'hypoglycémie transitoire jusqu'à 30 min après quelques minutes d'injection de l'alloxane. Cette courte durée hypoglycémique est le résultat d'une stimulation transitoire de la sécrétion

d'insuline, et une plus grande disponibilité de l'ATP issue de la phosphorylation du glucose par inhibition de la glucokinase.

La poudre des feuilles de *Tridax procumbens* dans la nourriture des rats a régulé une activité hypoglycémiant chez les rats diabétiques. Le traitement par *Tridax procumbens* a entraîné une diminution de la perte de poids et de la glycémie. De nombreuses études *in vivo* et *in vitro* ont démontré les propriétés antihyperglycémiques de *Tridax procumbens* (Pareek et al., 2009). De nombreux mécanismes, notamment une meilleure décharge d'insuline et une meilleure sensibilité à l'insuline, une absorption accrue de glucose et une inhibition de l'activité de l' α -glucosidase, peuvent être à l'origine des actions antihyperglycémiques de *Tridax procumbens*. En plus de modifier les enzymes clés responsables de l'homéostasie du glucose dans le foie, *Tridax procumbens* pourrait également être impliqué à une diminution de la production de glucose dans l'organisme (Pareek et al., 2009).

Les effets observés dans cette étude renforcent la pertinence de l'usage traditionnel de *Tridax procumbens* dans le traitement du diabète. En plus de son efficacité hypoglycémiant, la plante est bien tolérée par l'organisme et pourrait constituer une alternative naturelle aux traitements conventionnels, souvent coûteux et associés à des effets secondaires. Ces résultats ouvrent des perspectives prometteuses pour le développement de médicaments traditionnels améliorés (MTA) à base de *Tridax procumbens*, en particulier dans les contextes africains où l'accès aux soins est limité et où la médecine traditionnelle joue un rôle central.

Conclusion

La présente étude a permis de montrer que la poudre des feuilles de *Tridax procumbens* possède des propriétés hypoglycémiantes chez les rats rendus diabétiques par l'alloxane. Cette étude fournit une justification scientifique à l'utilisation traditionnelle *Tridax procumbens* dans la prise en charge des patients diabétiques.

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 sur les animaux participants à l'étude : L'expérimentation animale s'est déroulée à l'animalerie du Laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée de l'Université Nangui ABROGOUA,

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique, Abidjan, Côte d'Ivoire. Tous les protocoles expérimentaux sont conduits conformément à la directive Européenne du 24 Novembre 1986 (86/606/EEC) relatives à l'usage des animaux d'expérimentation dans la recherche (EU, 1986).

References:

1. Ahossi, K., Kouadio, K., & N'Guessan, K. (2014). *Étude botanique et pharmacologique de Tridax procumbens : plante médicinale utilisée en Côte d'Ivoire*. Journal Africain de Botanique et de Pharmacopée, 12(2), 45–52.
2. Auroba, M., & Nibras, N. (2010). *Study Antidiabetic Effect of Momordica Charantia (bitter gourd) seeds on Alloxan Induced Diabetic Rats*. Iraqi Journal of Veterinary Medicine, 34(1) :165-170.
3. Daisy, P., Feril, G., & Kani, J. (2012). *Evaluation of antidiabetic activity of various extracts of cassia auriculata linn. Bark on streptozotocin induced diabetic wistar rats*. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 4 (4):312-318.
4. Duncan, M., Matheka, A., Morris, B., Kitua, A., Faraj, O., & Kizim, A. (2012). *Peculiar glycemic patterns in alloxan-induced diabetes animal model*. African Journal of Pharmacology and Therapeutics, 1(1): 30-34.
5. European Union. (1986). Council Directive 86/609/EEC of 24 November 1986 on the protection of animals used for experimental and other scientific purposes. Official Journal of the European Communities, L 358, 1–28. [Online] Available : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A31986L0609> (04 Août 2025).
6. Fédération Internationale du Diabète (FID) (2013). *Atlas du diabète de la FID, 6è édition*, P 46-62.
7. Fédération Internationale du Diabète (FID) (2025). *Atlas du diabète de la FID, 11è édition*, P 40-70.
8. Fontbome, A., Favier, F., Papoz, L. (2003). *Le diabète de type 2 dans le monde: analyse d'une épidémie*. Journal Annales du Diabète de l'Hôtel-Dieu, 53-64.
9. Graz, B., Elisabetsky, E., Falquet, J. (2007). *Beyond the myth of expensive clinical study: Assessment of traditional medicines*. Journal of Ethnopharmacology, 113: 382-387.
10. Haribabu, T., Divakar, K., & Divakar G. (2013). *Evaluation of anti-diabetic activity of Lycopene and its synergistic effect with Metformin hydrochloride and Glipizide in Alloxan induced diabetes in rats*. Scholars Academic Journal of Pharmacy, 2(2):119-124.

11. Lenzen, S., Tiedge, M., Jorns, A., & Munday, R. (1996). *Alloxan derivatives as a tool for the elucidation of the mechanism of the diabetogenic action of alloxan*. In: Shafrir, E., Ed., *Lessons from Animal Diabetes*. Birkhauser, Boston, 113-122. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-4112-6_8.
12. Munday, R., Tiedge, M., & Lenzen, S. (1997). *Comparative toxicity of alloxan, Nalkylalloxans and ninhydrin to isolated pancreatic islets in vitro*. *Journal of Endocrinology* 155 : 283-293.
13. Nagappa, P. A., & Thakurdesai, N.V. (2003). *Rao, and J. Singh, Antidiabetic activity of Terminalia catappa Linn fruits*. *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 88, pp. 45-50.
14. Njike, G. N., Watcho, P., Nguelefack, T., & Kamanyi, A. (2006). *Hypoglycaemic activity of the leaves of Bersama engleriana in rats*. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 1(1): 215-221.
15. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2001). *Forum Africain sur le rôle de la médecine traditionnelle dans les systèmes de santé: Harare, du 15 au 18 Février 2000*. AFRITRM/01.1, 53p
16. OMS. (2002). *Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2002-2005*. WHO /EDM /TRM /2002.1. 78p.
17. OMS. (1999). *Definition, diagnosis and classification. Report of a WHO consultation*
18. Pareek, H., Sharma, S., Khajja, B. S., Jain, K., Jain, G. C. (2009). *Evaluation hypoglycemic and anti-hyperglycemic potential of Tridax procumbens*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 9: 48.
19. Prakasam, A., Sethupathy, S., & Pugalendi, K. (2003). *Effect of Casearia esculenta root extract on blood glucose and plasma antioxidant status in streptozotocin diabetic rats*. *Indian Journal of Pharmacology*, 55: 43-49.
20. Prakasam, A., Sethupathy, S., & Pugalendi, K. V. (2005). *Antiperoxidative and Antioxidant Effects of Casearia Esculenta Root Extract in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats*. *Yale journal of biology and medicine*. 78 : 15 - 23.
21. Shirwaikar, A., Rajendran, K., Dinesh, K. C., & Bodla, R. (2004). *Antidiabetic activity of aqueous leaf extract of Annona squamosa in streptozotocin–nicotinamide type 2 diabetic rats*. *Journal of Ethnopharmacology*, 91 : 171 - 175.
22. Yuping, L., Takeki, H., Kiichiro, T., Noboru, N., Zbigniew, G., & Taichi, K. (2012). *Suppressive effects of natural reduced waters on alloxan-induced apoptosis and type 1 diabetes mellitus*. *Cytotechnology*, 64:281–297.

La fibrillation atriale : aspects épidémiologiques, cliniques, paracliniques et évolutifs au service de cardiologie du centre hospitalier universitaire de l'amitié sino-centrafricaine (CHUASC) de Bangui

***Lex Léonard Lénguébanga
Sergio Jefferson Gbayanguele
Léonard Pabingui***

Service de cardiologie, Centre Hospitalier Universitaire de l'Amitié Sino-centrafricaine de Bangui, République Centrafricaine

***Jonh Onambelé
Le Roy Gremandji
Léopold Izamo***

Service de médecine, Centre Hospitalier Universitaire Communautaire de Bangui, République Centrafricaine

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p71](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p71)

Submitted: 11 March 2025

Accepted: 11 August 2025

Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Lénguébanga, L.L., Gbayanguele, S.J., Pabingui, L., Onambelé, J., Gremandji, L.R. & Izamo, L. (2025). *La fibrillation atriale : aspects épidémiologiques, cliniques, paracliniques et évolutifs au service de cardiologie du centre hospitalier universitaire de l'amitié sino-centrafricaine (CHUASC) de Bangui*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 71. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p71>

Résumé

Objectif : la fibrillation atriale (FA) est le trouble du rythme cardiaque le plus fréquent. Elle pose un réel problème de santé publique compte tenu de la fréquence élevée et croissante. Nous avons ainsi réalisé ce travail dont l'objectif était de décrire les différents aspects de la fibrillation atriale. **Patients et méthodes :** étude rétrospective et descriptive des patients hospitalisés au CHUASC de Bangui, incluant tous les patients présentant une fibrillation atriale à l'ECG de surface quelle qu'en soit la cardiopathie causale sur une période de 21 mois (1^{er} Janvier 2021 à 30 septembre 2022). **Résultats :** quarante et cinq patients ont été enregistrés, soit une fréquence hospitalière de 9,7%. Le sex-ratio était de 0,73. L'âge moyen était de 59,13ans avec les extrêmes de 18 et 79 ans. L'hypertension artérielle était retrouvée dans 51 %

de cas, suivie de l'obésité (31%). L'insuffisance cardiaque représentait 37% des circonstances de découverte suivie des complications thromboemboliques (17,7%). L'anémie était retrouvée dans 34,1%. La fonction rénale était altérée dans 48,7%. A l'électrocardiogramme, La FA à petites mailles était plus fréquente soit 66,6% contre 33,4%. L'hypertrophie ventriculaire était retrouvée dans 31,1% des cas. 29,6% des patients avaient le rétrécissement mitral suivis de cardiopathie hypertensive (22,2%) à l'échodoppler cardiaque qui a permis de retrouver également une dilatation de l'oreillette gauche dans 88,9%. La fraction d'éjection moyenne était de 52,56% avec des extrêmes de 25% et 72%. Sur le plan thérapeutique, 80% des patients ont bénéficié d'un traitement ralentisseur et 3 patients d'une tentative de cardioversion (chimique et électrique). Tous les patients porteurs de FA valvulaires étaient sous anti vitamine K. Les complications étaient de type hémodynamique (31%) et thromboembolique (27%). Un cas de décès à la phase aiguë était noté. **Conclusion :** la fibrillation atriale pose un réel problème de santé publique. Son pronostic reste redoutable par ses complications hémodynamiques, thromboemboliques et la majoration du risque de décès.

Mots-clés: Fibrillation atriale, trouble du rythme, anticoagulant, antiarythmique, cardioversion

Atrial fibrillation: epidemiological, clinical, paraclinical and evolutionary aspects in the service de cardiologie du centre hospitalier universitaire de l'amitié sino-centrafricaine (CHUASC) Bangui

Lex Léonard Lénguébanga
Sergio Jefferson Gbayanguele
Léonard Pabingui

Service de cardiologie, Centre Hospitalier Universitaire de l'Amitié Sino centrafricaine de Bangui, République Centrafricaine

Jonh Onambelé
Le Roy Gremandji
Léopold Izamo

Service de médecine, Centre Hospitalier Universitaire Communautaire de Bangui, République Centrafricaine

Abstract

Objective: Atrial fibrillation (AF) is the most common heart rhythm disorder. It poses a real public health problem given the high and increasing

frequency. We have thus carried out this work, the objective of which was to describe the different aspects of atrial fibrillation. **Patients and methods:** Retrospective and descriptive study of patients hospitalized at the CHUSC of Bangui, including all patients presenting with atrial fibrillation (AF) on the surface ECG regardless of the causal heart disease over a period of 21 months. (January 1, 2021 to September 30, 2022). **Results:** Forty-five patients were registered, representing a hospital frequency of 9.7%. The sex ratio was 0.73. The mean age was 59.13 years, with extremes of 18 and 79 years. Arterial hypertension was found in 51% of cases, followed by obesity (31%). Heart failure represented 37% of the circumstances of discovery followed by thromboembolic complications (17.7%). Anemia was found in 34.1%. Renal function was impaired in 48.7%. On the electrocardiogram, small-mesh AF was more frequent, 66.6% versus 33.4%. Ventricular hypertrophy was found in 31.1% of cases. 29.6% of patients had mitral stenosis, followed by hypertensive heart disease (22.2%) on cardiac echoDoppler, which also found left atrial dilation in 88.9%. The mean ejection fraction was 52.56% with extremes of 25% and 72%. In terms of therapy, 80% of patients received slowing treatment and 3 patients received an attempt at cardioversion (chemical and electrical). All patients with valvular AF were on anti-vitamin K. Hemodynamic complications (31%) dominated in our series, followed by thromboembolic complications (27%). One case of death in the acute phase was noted. **Conclusion:** Atrial fibrillation poses a real public health problem. Its prognosis remains formidable due to its complications, the reduction in quality of life, and the increased risk of death. **Introduction:** Atrial fibrillation (AF) is the most common heart rhythm disorder. It poses a real public health problem given the high and increasing frequency.

Keywords: Atrial fibrillation, rhythm disorder, anticoagulant, antiarrhythmic, cardioversion

Introduction

La fibrillation atriale (FA) est le trouble du rythme cardiaque le plus fréquent [Naccarelli GV et coll, 2009]. Elle pose un réel problème de santé publique compte tenu de sa fréquence élevée et croissante ; une étude de projection montre une augmentation exponentielle de la prévalence de la FA jusqu'en 2050 ans avec une prévalence estimée à 7,5 millions aux Etats Unis [Naccarelli GV et coll, 2009].

Le diagnostic de ce trouble du rythme est surtout électrocardiographique. De par ses complications hémodynamiques, thromboemboliques ou liées au traitement, elle est responsable d'une augmentation de la morbi-mortalité cardiovasculaire [Benjamin EJ et coll,

1998]. Le traitement de cette pathologie a aussi fortement évolué ces dernières années.

Compte tenu d'élévation croissante de sa fréquence et du risque élevé de ses complications, Nous avons ainsi réalisé ce travail dont l'objectif était de décrire les aspects épidémiologique, clinique, paraclinique, thérapeutique et évolutif de la FA au service de cardiologie du Centre Hospitalier Universitaire de l'Amitié Sino-Centrafricaine (CHUASC) pour compenser le manque de données sur cette pathologie dans notre pays.

Patients et méthodes

Il s'agissait d'une étude rétrospective et descriptive portant sur les patients hospitalisés au service de Cardiologie du Centre Hospitalier universitaire de L'Amitié Sino-centrafricaine (CHUASC) de Bangui. Nous avons inclus tous les patients présentant une fibrillation atriale (FA) à l'électrocardiogramme (ECG) de surface quelle qu'en soit la cardiopathie causale sur une période de 21 mois (1^{er} Janvier 2021 à 30 septembre 2022).

Les renseignements ont été recueillis à l'aide d'une fiche de recueil de données : les données socio-démographiques (âge, sexe, profession, adresse) ; les antécédents ; les signes cliniques (fonctionnels et physiques) ; les données paracliniques comportant la biologie (une numération formule sanguine NFS, un bilan rénal, l'ionogramme sanguin, un bilan thyroïdien) et l'électrocardiogramme (ECG) de repos 12 dérivations ainsi que l'échocardiographie-Doppler et les données thérapeutiques comportant : un traitement ralentisseur (Bétabloquant, calcium bloqueur, Digoxine et Amiodarone), la restauration du rythme sinusal (Cardioversion chimique ou électrique) et le traitement anticoagulant (Aspirine, Héparine, Acenocoumarol, Warfarine, Fluindione, nouveau anticoagulant oraux) avec calcul du Score de CHA2DS2-VASs et Score de HASBLED.

Le score de CHA2DS2-VASs est un outil clinique utilisé pour évaluer le risque d'AVC et d'évènement thromboembolique chez les patients en FA. Il permet de guider la décision de débiter ou non un traitement anticoagulant.

Le score de HASBLED est utilisé pour évaluer le risque hémorragique chez les patients atteints de FA qui prennent les anticoagulants oraux. Il permet d'évaluer le rapport bénéfice /risque d'un traitement anticoagulant.

A l'évaluation à court terme (en hospitalisation), nous avons recherché l'existence de complications d'ordre hémodynamique, rythmique ou thromboembolique et la survenue de décès.

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel EPI INFO version 6.0.4. Le test de Khi carré et le test de comparaison des moyennes par analyse des variances ont été utilisés avec un seuil de significativité de $p < 0,05$.

Résultats

45 patients ont été inclus dans l'étude sur un nombre total de 463 hospitalisations, ce qui constitue une fréquence de 9,7%.

L'âge moyen était de 59,13 ans avec des extrêmes allant de 18 ans à 79 ans.

Le sexe féminin était prédominant avec 57,8% contre 42,2% des hommes et un sexratio de 0,73.

L'hypertension artérielle est le facteur de risque le plus fréquent avec 51% de cas suivie de l'obésité 14 cas (figure 1).

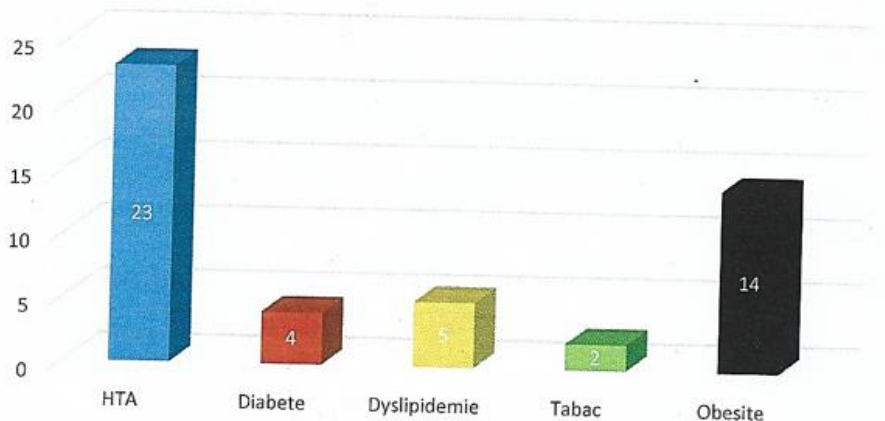


Figure 1 : Répartition selon les facteurs de risque cardiovasculaires

La majorité des patients arrivait dans un tableau d'insuffisance cardiaque (37%), la figure 2 montre la répartition des patients selon les circonstances de découverte.

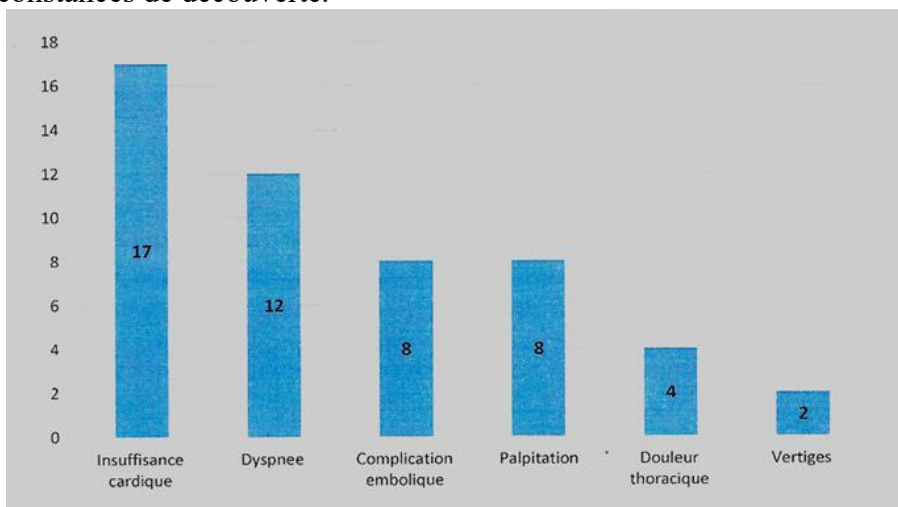


Figure 2 : répartition des patients selon les circonstances de découverte

La moyenne de la pression artérielle systolique chez nos malades était de 125mmHg et celle de la diastolique de 74 mmhg avec des extrêmes de 70 et 200mmhg pour la systolique et de 30 et 130mmhg pour la diastolique. La moyenne de la fréquence cardiaque (FC) était 102 bat/min avec les extrêmes de 60 et 167 bat/min. Les signes physiques étaient dominés par l'association arythmie complète et signes de décompensation cardiaque soit 37,7% de cas.

A la biologie : l'anémie était retrouvée dans 34%, la thrombopénie dans 2,3% à la numération formule sanguine (NFS). La fonction rénale était altérée dans 48,7% des cas sur l'ensemble des 36 patients qui avaient réalisé le bilan rénal. L'ionogramme sanguin était fait chez 22 patients et l'hyperkaliémie était plus fréquente (18,2%).

A L'électrocardiogramme de surface (figure 3), la moyenne de la fréquence ventriculaire chez les malades était de 111 bat/min avec des extrêmes allant de 40 à 160 bat/min. La FA à petite mailles était fréquente (66,6%). L'hypertrophie ventriculaire gauche (HVG) était l'anomalie électrique la plus fréquemment associée (31,1%).

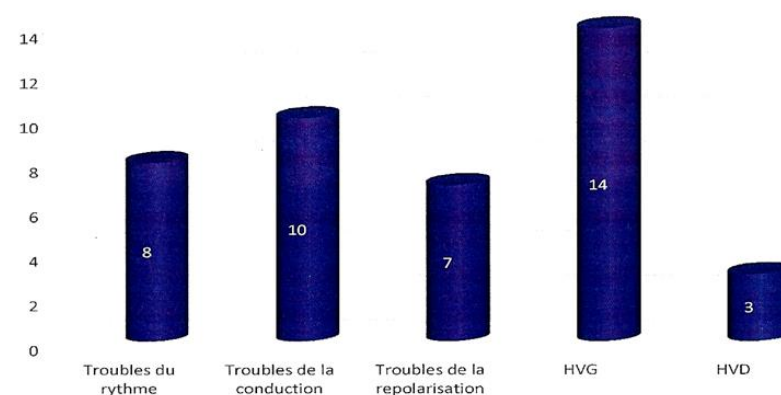


Figure 3 : anomalies électriques associées à la FA

L'échographie-Doppler cardiaque transthoracique (ETT) était réalisée chez 27 patients. Le rétrécissement mitral était la cardiopathie sous-jacente la plus représentée (29,6%) suivie de la cardiopathie hypertensive (22,2%). Cependant la FA non valvulaire était prédominant que la FA valvulaire dans notre série (66,7% contre 33,3%). Un thrombus intra cavitaire était retrouvé chez 4 patients. L'ETT avait également permis de mesurer les dimensions des oreillettes et d'évaluer la fraction d'éjection du ventricule gauche. La surface moyenne de l'oreillette gauche était de 34 cm² avec des extrêmes de 14 et 76 cm² et la surface moyenne de l'oreillette droite était de 22 cm² avec des extrêmes de 12 et 40 cm². Une dilatation de l'oreillette gauche était retrouvée

dans 88,9% et de l'oreillette droite dans 66,7%. La fraction d'éjection (FE) moyenne était de 52,56% avec des extrêmes de 25 et 72%. La fraction d'éjection ventriculaire gauche était altérée chez 44,5% des patients.

Chez les patients porteurs d'une FA non valvulaire, trois (03) patients (6,6%) ont bénéficié d'une régularisation dont deux cardioversions chimiques (amiodarone) et un choc électrique externe. Trente-six patients (36) soit 80% dans notre série ont bénéficié d'un ralentissement de la fréquence cardiaque par l'un des médicaments suivant : Les digitaliques (17 cas) et les bêtabloquants (19 cas). Chez 12 patients, l'association de plusieurs agents pharmacologiques ralentisseurs a été envisagée afin de contrôler le rythme ventriculaire.

Le choix du traitement anti thrombotique dépendait initialement du type de FA : valvulaire ou non valvulaire, mais également des scores CHA2DS2-VACs et HAAS-BLED. Tous les patients de FA valvulaires étaient sous anti vitamine K (AVK). L'héparine de bas poids moléculaires (HBPM) était utilisée à la phase aiguë chez 17 patients (37%). Le risque du mal observation aux AVK justifiait la mise sous Aspirine chez 5 patients (11%). Trois (03) patients n'avaient reçu aucun traitement anticoagulant. Les anticoagulants oraux directs n'avaient pas été utilisés dans notre étude.

Des complications à court terme (tableau I) était notées chez 28 patients soit 68% de la population. Elles étaient dominées par des complications hémodynamiques (31%) suivies de complications thromboemboliques (27%). Les complications hémodynamiques étaient constituées par un tableau d'insuffisance cardiaque et celles thromboemboliques par accident vasculaire cérébral ischémique (AVC). Un cas de décès a été noté.

Tableau I : Répartition selon les complications à court terme

Complication	Effectifs	Pourcentages (%)
Thromboembolique	12	27
Hémodynamique	14	31
Rythmique	1	2
Décès	1	2
Pas de complications	17	38
Total	45	100

Discussion

De nombreuses études présentent des données concordantes, que ce soit aux Etats-Unis, en Europe : la FA touche 1 à 2 % de la population générale [Stewart S et coll, 2011; Go AS et coll, 2020].

La prévalence de cette arythmie augmente avec l'âge : moins de 0,5% entre 40 et 50 ans ; et 5 à 15% après 80 ans [Stewart S et coll, 2011; Giugliano RP, 2013]. Dans notre travail, elle était retrouvée chez 9,7% des patients hospitalisés. Chair retrouvait dans sa série une prévalence de 17% de la FA

correspondant à 68% de l'ensemble des troubles du rythme [*Chair Idrissi T 2010*].

La tranche d'âge variait de 18 ans à 79 ans avec une moyenne d'âge de 59,13 ans.

Elle reste quasi conforme à la moyenne d'âge, retrouvée par Dannouni à 68 ans [*Yomna Dannouni T, 2015*]. La prévalence de la FA augmente avec l'âge [*Stewart S, 2011; Heeringa J et coll, 2016*]. L'apparition des pathologies cardiaques liées à la présence d'un ou de plusieurs facteurs de risque cardiovasculaire avec l'âge, pourrait expliquer la fréquence du FA vers les âges avancés.

Notre étude avait retrouvé une prédominance féminine avec un sex-ratio de 0,73. Ce résultat n'est pas conforme avec les données de la littérature mais peut être expliqué par la distribution de la population centrafricaine dans Bangui. L'étude de Framingham a montré que l'incidence de la fibrillation atriale est plus élevée chez les hommes avec un sex-ratio de 1,5 [*Joglar JA et coll, 2024 ; Benjamin EJ, 1994*]. Pour des raisons encore inconnues, les hommes ont un risque plus élevé de développer une FA par rapport aux femmes, soit une incidence plus élevée de 60% [*Heeringa J et coll, 2016*].

L'HTA était le facteur de risque le plus fréquent : 51% de la population, ceci est identique à celle de l'étude Framingham qui notait que 50% des patients qui présentaient une FA étaient hypertendus [*Joglar JA et coll, 2024*]. Pression sanguine élevée est en effet liée à l'importance de fibrose de l'oreillette gauche [*Hassink RJ, 2013*]. L'hypertrophie ventriculaire gauche (réduction de la compliance) et la taille de l'oreillette gauche peuvent expliquer le lien entre l'HTA et la FA [*Salih H et coll 2013*]. L'HTA était suivie dans notre étude par l'obésité retrouvée dans 31% des cas. Selon la cohorte de Framingham, 50% des patients obèses de la population étudiée ont une incidence de fibrillation auriculaire plus élevée [*Joglar JA et coll, 2024*]. La pathogénie reste incertaine, elle peut être due au lien entre la dysfonction diastolique et de l'épaississement du myocarde [*Becher N et coll, 2024*].

Les symptômes sont fonction de la tolérance de la FA, de l'existence d'une cardiopathie sous-jacente et de la survenue de complications [*Graham DJ et coll, 2015*].

Dans notre étude, les signes physiques étaient fortement dominés par l'association arythmie complète et signes de décompensation cardiaque soit 37,7% de fréquence, Salih et coll ont fait le même constat [*Salih H et coll 2013*].

L'anémie était l'anomalie la plus fréquente à la numération formule sanguine (34,1%). La fonction rénale était altérée dans 48,7%. Cette anémie de même que l'insuffisance rénale pourraient être plurifactorielle mais beaucoup plus probablement liée à l'insuffisance cardiaque.

La FA à petites mailles était plus fréquente 66,6% contre 33,4%. Selon Nault [Nault I et coll, 2019], les ondes F à petites mailles étaient associées à l'ancienneté de l'arythmie et à la largeur de l'oreillette gauche. L'HVG était l'anomalie électrique la plus fréquemment associée (31,1%) suivie des troubles de la conduction dans 22,2%. Ceci est la conséquence de l'hypertension artérielle qui est retrouvée dans 51% des cas.

Le Rétrécissement mitral était la cardiopathie sous-jacente la plus représentée (29,6%) suivi de la cardiopathie hypertensive (22,2 %). La valvulopathie rhumatismale principalement le rétrécissement mitral est une cause prépondérante de la fibrillation auriculaire dans les pays en voie de développement [Diallo H et coll, 2025 ; Bennani SL et coll, 2003], elle se rencontre encore dans notre pays et explique l'âge jeune d'un certain nombre de patients atteints de cette arythmie [Chair Idrissi T, 2010]. L'ETT avait également permis de retrouver une dilatation de l'oreillette gauche dans 88,9%, ce constat a été rapporté dans la majorité des études [Hindricks et coll, 2021 ; Levys S et coll, 2018].

Notre étude tend à régulariser le rythme cardiaque vu que la valvulopathie rhumatismale et l'hypertension artérielle sont les principales étiologies retenues et que la majorité de nos patients ont une fibrillation auriculaire ancienne, ce qui explique le risque élevé de l'échec de la régularisation du rythme. Néanmoins le traitement dans notre série reste conforme avec les nouvelles recommandations sur la FA [Cosedis Nielsen J et coll, 2012; Kirchhof P et coll, 2016].

Tous les patients porteurs de FA valvulaires étaient sous AVK. Le risque de mal observance aux AVK justifiait la mise sous Aspirine chez 5 patients. Selon les recommandations de la ESC 2016 dans la prise en charge de la FA [Kirchhof P et coll, 2016], une anticoagulation orale est recommandée chez les patients de sexe masculin avec un score CHA2DS2-VASc ≥ 2 et chez les patients de sexe féminin dont le score est ≥ 3 [Go AS et coll, 2020; Giugliano RP et coll, 2013]. Une monothérapie par antiagrégant plaquettaire n'est pas recommandée dans la prévention de l'AVC chez les patients en FA. Dans notre étude la mise sous aspirine est hors recommandation cependant la méta-analyse [Hart RG et coll, 2007] des six études de prévention aspirine versus placebo a montré que l'acide acétylsalicyclique (AAS) réduit le risque d'AVC de 22%.

Les complications étaient dominées par les complications hémodynamiques (31%) suivies de celles thromboemboliques (27%). Un cas de décès à la phase aiguë était noté. Dans l'étude Framingham, une plus grande mortalité a été observée chez les patients en fibrillation auriculaire par rapport aux patients en rythme sinusal. Elle retrouvait 15 à 20% d'AVC ischémique dans une population de FA [Benjamin EJ, 1994]. Chahir retrouvait 58% de complications hémodynamiques au Sénégal [Chair Idrissi T, 2010]. Cette

différence dépend de l'âge des patients, également de la découverte tardive de cette pathologie dans nos régions.

Conclusion

La fibrillation atriale (FA) est le trouble du rythme cardiaque le plus fréquent. Elle pose un réel problème de santé publique. Son pronostic reste redoutable même à court terme. Elle est responsable d'une diminution de la qualité de vie et d'une majoration du risque de décès.

Pour prévenir les complications thromboemboliques et les récives. Le traitement pharmacologique représente toujours la thérapeutique de première ligne de cette pathologie. Toutefois les techniques ablatives prennent une place de plus en plus importante dans le traitement de cette pathologie.

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 le droit de l'homme : 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.

References:

1. Naccarelli GV, Vaeker H, Lin J. Increasing prevalence of atrial fibrillation and flutter in the United States. *Am J Cardiol* 2009;104(11):1534-39.
2. Kornej J, Borschel CS, Benjalín EJ. Epidemiology of atrial Fibrillation in the 21st Century: Novel Methods and New insights. *Circ Res*. 2020;127(1):4-20
3. Stewart S, Hart CL, Hole DJ. Population prevalence, incidence, and predictors of atrial fibrillation in the Renfrew/paisley study. *Heart* 2011;86(5):516-21.
4. Go AS, Hylek EM, Phillips KA. Prevalence of diagnosed atrial fibrillation in adults : national implication for rhythm management and stroke prevention : the Anticoagulation and Risk Factors in Atrial Fibrillation (ATRIA) Study. *JAMA* 2020;285(18):2370-75.
5. Giugliano RP, Ruff CT, Braunwald P. Edoxaban versus warfarin in patients with atrial fibrillation. *N Engl J Med* 2013;36:920-24.

6. Chair Idrissi T. Prise en charge hospitalière de la fibrillation auriculaire. Données épidémiologiques et stratégies thérapeutiques, à propos de 100 patients consécutifs hospitalisés à la clinique cardiologique du CHU Aristide Le Dantec. *Cardiol Trop* 2010;12: 23-3
7. Yomna Dannouni T. Arythmie complète par fibrillation auriculaire : Etiologies et prise en charge. These Med universite cadi ayyad 2015;46:109-12.
8. Heeringa J, Van Der Kuip DA, Hofman A. Prevalence, incidence and lifetime risk of atrial fibrillation : the Rottendaù study. *Eur Heart J* 2016;27(8):949-53.
9. Joglar JA, Chung MK, Armbruster AL et coll. 2023 ACC/AHA/ACCP/HRS guideline for the diagnosis and management of atrial fibrillation: a repport of the American Collegeof Cardiology/American Heart Association Joint Committee on clinical practice guidelines. *Circulation*. 2024;149(1):1-156.
10. Benjamin, EJ. Indépendant risk factors for artial fibrillation in a population based cohort. The framingham Heart Study. *JAMA* 1994;27:8404
11. Hassink RJ. Morphology of atrial myocardium in human pulmonary veins : a postmortem analysis in patients with and without atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 2013;42:1108-14.
12. Salih H, Gabani T, Taysir S, Garadah I, Adela B, Hassan A A et coll. Prevalence of Atrial Fibrillation in Systolic Heart Failure, Pulsed and Tissue Doppler Echocardiographic Abnormalities. *Inter J Clin Med* 2013;11(4):234-40
13. Becher N, Metzner A, Toennis T, Kirchhof P, Schnabel RB. Atrial fibrillation burden: a new outcome predictor and therapeutic target. *Eur Heart J* 2024;45(31):2824–2838.
14. Graham DJ, Reichman ME, Werneck E. Cardiovascular, bleeding and mortality risks in elderly medicare patients treated with dabigatran of warfarin for nonvalvular atrial fibrillation. *Circulation* 2015;131:157-164
15. Nault I, Lellouche N, Matsho S. Clinical value of fibrillation wave amplitude on surface ECG in patients with persistent atrial fibrillation. *J Interv Card Electrophysiol* 2019;26:11-9.
16. Diallo H, Camara OM, Keita FB, Barry M, Touré AF, Diallo S. Épidémiologie de l'association entre fibrillation auriculaire et insuffisance cardiaque au service de cardiologie de l'Hôpital National Ignace Deen. *World J Card Diseases* 2025;15(2):12-4

17. Bennani SL, Loubaris M, Lahlou I. Cardiomyopathie du péri partum révélée par l'ischémie aiguë d'un nombre inférieur. *Annales de Cardiologie et d'Angéiologie* 2003;52:182-85.
18. Hindricks G, Potpara T, Dagres N, et coll. 2020 ESC guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*. 2021;42(5):373-498.
19. Levys S, Breithardt G, Cambell RW. Atrial fibrillation : current knowledge and recommandations for management. Working group on Arrthmias of the European Society of Cardiology. *European Heart journal* 2018;19:1294-320.
20. Cosedis Nielsen J, Johannessen A, Raatikainen Pl. Radiofrequency ablation as initial therapy in paroxysmal atrial fibrillation. *N Engl J Med* 2012;367:1587-95.
21. Kirchhof P, Strifano B, Dipak K, Cambell RW, Pearce LA, Breithardt G et al. Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration wlth EACTS. *European Heart Journal* 2016;37:2893-962.
22. Hart RG, Pearce LA, Aguilar MI. Meta-analysis : antithrombotic therapy to prevent stroke in patients who have non valvular atrial fibrillation. *Ann Intern Med* 2007;146:857-67.

Evolution des valeurs hématologiques des personnes vivant avec le VIH sous traitement antirétroviraux du Centre national de transfusion sanguine d'Abidjan

Abale Louise Christelle Akouasso

Nagalo Ousmane

Université Alassane Ouattara,
UFR Sciences et Technologies-Bouaké, Cote d'Ivoire

Thanou Mariam

Zougrou N'Guéssan Erneste

Université Felix Houphouët Boigny, UFR biosciences-Abidjan, Cote d'Ivoire

Abo Yao

Centre National de Transfusion Sanguin-Abidjan, Cote d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p83](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p83)

Submitted: 27 October 2022

Accepted: 06 August 2025

Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Abale, L.C.A., Nagalo, O., Thanou, M., Zougrou, N.E. & Abo, Y. (2025). *Evolution des valeurs hématologiques des personnes vivant avec le VIH sous traitement antirétroviraux du Centre national de transfusion sanguine d'Abidjan*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 83. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p83>

Résumé

Cette étude rétrospective a pour objectif d'étudier l'impact des traitements antirétroviraux sur le profil hématologique des patients infectés par le VIH à différent stade de l'infection. Elle s'est déroulée sur une période de dix-huit mois à l'unité de soins du centre de transfusion national sanguine d'Abidjan en Côte d'Ivoire. Notre étude a sur trois groupes de patients. Le premier (G1) a regroupé ceux dont le nombre de Lymphocyte T CD4 (LT4) est inférieur ou égale à 200 cellules/mm³, le deuxième groupe (G2) est constitué de ceux ayant un nombre de LT4 compris entre 201 et 350 cellules/mm³ et le troisième groupe (G3) a réuni les patients avec un nombre de LT4 compris entre 350 et 500 cellules/mm³. La mesure des nombre de lymphocytes a été réalisé à l'aide du cyrtomètre à flux et La numération formule sanguine (NFS) effectuées tous les six mois a permis de mesurer les valeurs sanguines des patients. L'analyse des résultats a révélé une anémie de type normochrome macrocytaire dans le premier groupe (G1) et une anémie

de type normochrome normocytaire dans le groupe 2 (G2). Les patients du troisième groupe ont obtenu des taux d'hémoglobines au-dessus de 12g/dl. L'anémie a été particulièrement observé chez tous les patients des groupe 1 et groupe 2 qui ont reçu la zidovudine (AZT) inclus à leur traitement. Ceux qui n'en recevait pas ont eu au contraire leur taux d'hémoglobine augmenté à plus de 12 g/dl durant le traitement. Par ailleurs les patients du groupe G3 qui ont reçu cette molécule ont connu une augmentation hautement significative ($p<0,001$) du nombre d'hémoglobine. En outre, l'AZT a induit une augmentation hautement significative ($p<0.01$; $p<0,05$) de Teneur Corpusculaire Moléculaire H, Concentration Corpusculaire moléculaire H et du Volume Globulaire Moléculaire chez les patients issus du groupe G1. Dans le groupe G2, l'AZT a induit une baisse significative ($p<0,001$) des globules blancs et une augmentation ($p<0,05$) du Volume Globulaire Moyen. La présente étude met en évidence la survenue de complications hématologique lié du nombre de LT4 au cours de du traitement à l'infection VIH.

Mots-clés: Stade, VIH, LT4, Hématologie, Traitement

Changes in Haematological Values in People Living with HIV Undergoing Antiretroviral Therapy at the National Blood Transfusion Center in Abidjan

Abale Louise Christelle Akouasso

Nagalo Ousmane

Universié Alassane Ouattara,
UFR Sciences et Technologies-Bouaké, Cote d'Ivoire

Thanou Mariam

Zougrou N'Guéssan Erneste

Université Felix Houphouët Boigny, UFR biosciences-Abidjan, Cote d'Ivoire

Abo Yao

Centre National de Transfusion Sanguin-Abidjan, Cote d'Ivoire

Abstract

This retrospective study aims to investigate the impact of antiretroviral treatments on the hematological profile of HIV-infected patients at different stages of infection. It was conducted over an 18-month period at the care unit of the National Blood Transfusion Center in Abidjan, Côte d'Ivoire. Our study involved three groups of patients. The first group (G1) included those with a CD4 T-cell count (CD4) of less than or equal to 200 cells/mm³, the second group (G2) consisted of those with a CD4 count between 201 and 350

cells/mm³, and the third group (G3) included patients with a CD4 count between 350 and 500 cells/mm³. Lymphocyte counts were measured using a flow cytometer, and blood counts were taken every six months to measure the patients' blood values. Analysis of the results revealed normochromic macrocytic anemia in the first group (G1) and normochromic normocytic anemia in group 2 (G2). Patients in the third group had hemoglobin levels above 12g/dl. Anemia was particularly observed in all patients in groups 1 and 2 who received zidovudine (AZT) as part of their treatment. Those who did not receive it, on the other hand, had their hemoglobin levels increase to above 12 g/dl during treatment. Furthermore, patients in group G3 who received this molecule experienced a highly significant ($p<0.001$) increase in hemoglobin levels. In addition, AZT induced a highly significant increase ($p<0.01$; $p<0.05$) in molecular corpuscular H content, molecular corpuscular H concentration, and molecular globular volume in patients from group G1. In group G2, AZT induced a significant decrease ($p<0.001$) in white blood cells and an increase ($p<0.05$) in mean corpuscular volume. This study highlights the occurrence of hematological complications related to LT4 levels during treatment for HIV infection.

Keywords: Stage, HIV, CD4, Hematology, Treatment

Introduction

Les résultats obtenus de la trithérapie antirétrovirale chez les personnes infectées ont été plus que satisfaisant au fil des années (Seyler et al, 2018). L'espérance de vie chez ces personnes s'est accrue avec l'introduction de la notion du traitement précoce (Ferrand et al, 2013) De sorte que l'administration du traitement initialement prévu à 200 cellules/mm³ est préconisée chez tous les patients quel que soit le stade de l'infection (OMS, 2015). Cette initiative a été d'un apport bénéfique car elle a induit la réduction significative des taux de transmission du virus grâce à une charge virale indétectable chez les plus observants (Supervie, 2013). Les nouvelles contaminations estimées à 2.1 millions en 2010 sont passées à 1,3 million de personnes en 2023 (Fond Mondial, 2024). C'est en effet à l'issue de plusieurs travaux de recherche que cette révolution en matière de prise en charge des patients du VIH a été possible. Il s'agit notamment de l'essai Temprano (ANRS 12136) et de l'essai START (Stratégique Timing of Antirétrovirale) conduit par Lundgren et al, 2015. Les auteurs ont conclu que la trithérapie administrée précocement améliorait l'état de santé et favorisait une réduction significative des risques de morbidité de 44%. En revanche, bien que cette prérogative adoptée ait prouvé son efficacité, la morbidité chez certains patients ne serait uniquement plus du fait de l'infection mais plutôt d'autres facteurs découlant des traitements antirétroviraux administrés à long terme

(Plumecocq et al, 2024). En outre, l'infection à VIH en elle-même s'accompagne de cytopénies due à une altération du système hématopoïétique par le virus. Elles sont plus importantes à des stades très avancés de l'infection notamment pour un nombre de lymphocyte TCD4 (LT4) inférieur à 200 cellules/mm³ (Attinsounon et al, 2017 ; Terras et al.,2021). Par ailleurs, ces anomalies chez les personnes infectées sont aussi du fait des antirétroviraux administrés à long terme (Aoun et Delarue ; 2013). La zidovudine (AZT) par exemple est responsable à 34 % des anémies selon les travaux de Terras et al. 2021. Ainsi, il existerait un lien entre l'effet anémiant des antirétroviraux et le stade de l'infection des patients. Ce travail a pour objectif d'étudier l'impact des traitements antirétroviraux sur le profil hématologique des patients du Centre Nationale de Transfusion Sanguine d'Abidjan en fonction du nombre de LT4.

Méthodes

L'étude a porté sur des patients VIH admis à l'unité de soin du Centre Nationale de Transfusion Sanguine d'Abidjan (CNTS). Les patients retenus étaient tous naïfs de traitement à leur admission dans les soins et ceux non observants au traitement et irréguliers à leurs rendez-vous de suivi ont été exclus de cette étude. Les informations sur les patients ont été recueillies après consultations des dossiers médicaux.

Le nombre de LT4 des patients a été mesuré dès leur admission dans les soins à l'aide du cytomètre à flux et le comptage des cellules sanguines a été réalisé à l'aide de l'automate Sysmex KX- 2IN tous les six mois sur une période de 18 mois. Ainsi, des prélèvements sanguins ont été obtenus à M0 à l'admission dans les soins, à six mois (M6), douze mois (M12) et dix-huit mois (M18).

Les échantillons obtenus ont été classés en trois groupes selon les nombres de LT4. Le premier groupe (G1) regroupait les patients ayant un nombre de LT4 inférieur ou égale à 200 cellules/mm³, le deuxième groupe (G2) a un nombre de LT4 compris entre 201 cellules/mm³ et 350 cellules/mm³ et les LT4 du troisième groupe (G3) sont entre 351 et 500 cellules/mm³. Les numérations formules sanguines dans chaque lot ont été faite en deux étapes. Premièrement, les valeurs moyennes des paramètres sanguins ont été mesurées dans chacun des lots. Deuxièmement, chaque lot a été scindé en deux sous-groupes. L'un était constitué des prélèvements de patients qui ont reçu l'AZT dans leur traitement antirétroviral et l'autre des prélèvements de ceux qui n'ont pas reçu cette molécule au cours de la période d'étude.

L'analyse des données a été faite comparativement aux valeurs initiales. En revanche, les taux d'hémoglobine ont été comparés l'un à l'autre dans les différents groupes et l'effet des molécules d'AZT sur les valeurs hématologiques a été étudié. Toutes les données obtenues ont été analysées à

l'aide du logiciel Graph pad Prism 5.01 et évaluées à l'aide de la méthode ANOVA one way suivi du test de comparaison multiples de Tukey au seuil de 5% pour apprécier les différences significatives à des p-values (P) inférieur à 0,05, à 0,01, et 0,001.

Résultats

Dans cette étude, 351 personnes vivant avec le VIH ont été retenus. Cette population était constituée de 60,68% de femmes et 39,32% hommes, soit un sexe ratio de 0,65 % en faveur des femmes. Le comptage des LT4 à l'admission dans les soins a permis de dénombrier 130 personnes dans le groupe (G1), 114 dans le deuxième groupe (G2) et 107 dans le troisième groupe (G3). La population d'étude comprise entre 18 ans et 58 ans à un âge moyen 37 ± 12 ans. Les célibataires représentent 72,08% de cette population et 96,59% des patients ont été majoritairement infectés par le VIH de type 1 contre respectivement 2,84% et 0,57% par le VIH de type 2 et de type 1 et 2. Selon le stade OMS de l'infection, ces patients étaient à 72,65% au stade I, à 17,48% au stade II, à 6,12% au stade III et à 3,75% au stade IV.

Les globules blancs et rouges, les plaquettes sanguines ainsi que les taux d'hématocrites et d'hémoglobines (Tableau 1,2,3,4,5) mesurés dans les groupes G1, G2 et G3 n'ont pas connu de changement significatifs ($p > 0,05$) au cours du traitement comparé à M0. Par ailleurs, les taux d'hémoglobine mesurés dans le groupe G3 (Tableau 5) ont été significativement élevés ($p < 0,05$) par rapport aux taux mesurés dans les groupes G1 et G2 à M0, M6, M12 et M18. En effet, les valeurs d'hémoglobines ont été supérieures à 12 g/dl dans le groupe G3, elles étaient inférieures à 12 g/dl dans les groupes G1 et G2 durant le traitement.

Les Teneurs Corpusculaires Moyennes en Hémoglobine (TCMH) mesurées respectivement dans les groupes G1 et G2 ont connu une augmentation significative ($p < 0,01$, $p < 0,05$) au-dessus des valeurs de référence (28-32 pg) par rapport à la teneur initiale (M0) (Tableau 6). Dans le groupe G1, la valeur de la TCMH initiale égale à $27,9 \pm 0,84$ pg est passée à $32,12 \pm 0,85$ pg et $32,08 \pm 0,83$ pg respectivement à M12 et M18. De même dans le groupe G2, elle est passée de $27,89 \pm 0,83$ pg (M0) à $31,44 \pm 0,88$ pg à M18, soit une augmentation significative ($p < 0,05$) de 12,97% par rapport à M0.

En ce qui concerne les valeurs de la Concentration Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (CCMH), une variation significative a été observée au niveau de G1 à M18 (Tableau 7) comparé à M0. La valeur initiale en dessous des valeurs de références égale à $31,71 \pm 0,25$ g/dl a atteint $33 \pm 0,29$ g/dl à M18. Cette augmentation de 4,06% a été significative ($p < 0,05$).

Quant au volume globulaire moyen, une augmentation significative ($p < 0,05$; $p < 0,01$, $p < 0,001$) par rapport à M0 a été uniquement observée dans le groupe G1 respectivement à M6, M12 et M18. En effet, le VGM initial est

passé de $86,2 \pm 1,89$ (fl) à $94,12 \pm 1,82$ (fl) à M6 et à $97,64 \pm 1,84$ (fl) et $96,84 \pm 1,82$ (fl) respectivement à M12 et M18 (Tableau 8).

Tableau 1 : Mesure des Globules Blancs

Groupe	LT4 initial	M0	M6	M12	M18
G1	≤ 200 cellules/mm ³	$4466 \pm 115,60$	$4231 \pm 171,00$	$4560 \pm 259,20$	$4433 \pm 179,70$
G2	[201-350] cellules/mm ³	$4231 \pm 192,60$	$4252 \pm 191,10$	$3931 \pm 143,80$	$4081 \pm 174,00$
G3	[351-500] cellules/mm ³	$4646 \pm 146,00$	$4320 \pm 115,00$	$4328 \pm 167,60$	$4355 \pm 179,70$

M0 (initiation du traitement) ; M6 (six mois de traitement) ; M12 (douze mois de traitement) M18 (dix-huit mois de traitement). G1 : taux de CD4 ≤ 200 cellules/mm³. G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/mm³ et 350 cellules/mm³. G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/mm³.

Tableau 2 : Mesure des plaquettes sanguines

Groupe	LT4 initial	M0	M6	M12	M18
G1(10 ³ /mm ³)	≤ 200 cellules /mm ³	$247,20 \pm 08,078$	$249,30 \pm 13,98$	$241,9 \pm 13,68$	$268 \pm 17,47$
G2(10 ³ /mm ³)	[201-350] cellules/mm ³	$269,90 \pm 11,92$	$269,40 \pm 12,00$	$259,30 \pm 12,37$	$256 \pm 10,60$
G3(10 ³ /mm ³)	[351-500] cellules/mm ³	$231,10 \pm 07,82$	$244,10 \pm 08,00$	$237,5 \pm 08,61$	$230,60 \pm 09,28$

M0 : initiation du traitement ; M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de CD4 ≤ 200 cellules/mm³. G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/mm³ et 350 cellules/mm³. G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/mm³.

Tableau 3 : Mesure des Globules Rouges

Groupe	LT4 initial	M0	M6	M12	M18
G1(10 ⁶ /mm ³)	≤ 200 cellules /mm ³	$4,09 \pm 0,11$	$3,17 \pm 0,11$	$3,80 \pm 0,10$	$3,79 \pm 0,10$
G2(10 ⁶ /mm ³)	[201-350] cellules/mm ³	$4,13 \pm 0,17$	$3,70 \pm 0,17$	$4,06 \pm 0,16$	$3,98 \pm 0,16$
G3(10 ⁶ /mm ³)	[351-500] cellules / mm ³	$4,59 \pm 0,10$	$4,40 \pm 0,12$	$4,54 \pm 0,14$	$4,50 \pm 0,11$

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de CD4 ≤ 200 cellules/mm³. G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/mm³ et 350 cellules/mm³. G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/mm³

Tableau 4 : Mesure des Hématocrites

Groupe	LT4 initial	M0	M6	M12	M18
G1(%)	≤ 200 cellules /mm ³	$35,28 \pm 0,83$	$33,79 \pm 0,80$	$37,37 \pm 0,80$	$38,00 \pm 0,81$
G2(%)	[201-350] cellules/mm ³	$34,88 \pm 1,89$	$35,02 \pm 1,22$	$36,81 \pm 1,24$	$38,76 \pm 1,39$
G3(%)	[351-500] cellules/mm ³	$40,08 \pm 0,84$	$38,48 \pm 0,81$	$38,95 \pm 0,94$	$39,60 \pm 0,80$

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de CD4 ≤ 200 cellules/mm³. G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/mm³ et 350 cellules/mm³. G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/mm³

Tableau 5 : Mesure de l'Hémoglobine

Groupe	LT4 initial	M0	M6	M12	M18
G1(g/dl)	≤ 200 cellules /mm ³	$11,40 \pm 0,18$	$11,70 \pm 0,23$	$11,56 \pm 0,27$	$11,81 \pm 0,25$
G2(g/dl)	[201-350] cellules/mm ³	$11,40 \pm 0,22$	$11,65 \pm 2,22$	$11,73 \pm 0,24$	$11,66 \pm 0,23$
G3(g/dl)	[351-500] cellules/mm ³	$12,11 \pm 0,18^{\#}$	$12,43 \pm 0,16^{\#}$	$12,52 \pm 0,24^{\#}$	$12,76 \pm 0,25^{\#}$

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de CD4 ≤ 200 cellules/mm³. G2 : taux de CD4

compris entre 201 cellules/mm³ et 350 cellules/mm³. G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/mm³

#: p<0,05 comparé au groupe G1 et G2.

Tableau 6 : Mesure des TCMH

Groupe	LT4 initial	M0	M6	M12	M18
G1(pg)	≤ 200 cellules /mm ³	27,9±0,84	30,78±0,82	32,12±0,85**	32,08±0,83**
G2(pg)	[201-350] cellules/mm ³	27,89±0,83	30,89±0,96	30,67±0,98	31,44±0,88*
G3(pg)	[351-500] cellules/mm ³	27,26±0,55	29,24±0,63	28,77±0,72	29,51±0,70

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de CD4 ≤ 200 cellules/mm³. G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/mm³ et 350 cellules/mm³. G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/mm³, TCMH : teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine
* : p<0,05 ; ** : p<0.01 comparés à M0.

Tableau 7 : Mesure de la CCMH

Groupe	LT4 initial	M0	M6	M12	M18
G1 (g/dl)	≤ 200 cellules /mm ³	31,71±0,25	32,52±0,35	32,6±0,29	33,00±0,29*
G2(g/dl)	[201-350] cellules/mm ³	32,07±0,39	32,83±0,36	32,89±0,37	32,89±0,44
G3(g/dl)	[351-500] cellules/mm ³	32,5±0,20	32,97±0,27	33,07±0,34	33,33±0,24

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de CD4 ≤ 200 cellules/mm³. G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/mm³ et 350 cellules/mm³. G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/mm³, CCMH : Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine ;
* : p<0,05 comparé à M0.

Tableau 8 : Mesure du VGM

Groupe	LT4 initial	M0	M6	M12	M18
G1 (fl)	≤ 200 cellules /mm ³	86,2±1,89	94,12±1,82*	97,64±1,84***	96,84±1,82***
G2(fl)	[201-350] cellules/mm ³	92,32±2,66	90,70±2,27	92,64±2,68	95,04±2,52
G3(fl)	[351-500] cellules/mm ³	83,77±1,14	88,43±1,39	86,72±1,67	88,31±1,97

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de CD4 ≤ 200 cellules/mm³. G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/mm³ et 350 cellules/mm³. G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/mm³. VGM : Volume globulaire moyenne
* : p<0,05 ; ***p<0,001 comparés à M0.

Chez les patients qui ont reçu l'AZT dans le premier groupe (G1) ; les taux de globules blancs, globules rouges, de plaquettes, d'hématocrites et d'hémoglobine n'ont pas connu de changement durant la période d'étude. Le taux d'hémoglobine est resté inférieur à 12 g/dl durant la période d'étude (Tableau 9). En revanche, les paramètres tels que la TCMH, la CCMH et le VGM ont connu des augmentations significatives au cours du traitement.

D'abord, en ce qui concerne la TCMH, sa valeur initiale est passé de 28,27±0,74 pg à 32,62±0,95 pg à M12 et 32,33±0 94 pg à M18. Cette augmentation, au-dessus de la valeur normale égale à 31 pg a été très significative (p<0,01) comparée à M0. Ensuite, la concentration corpusculaire

moyenne en hémoglobine (CCMH) égale à $31,75 \pm 0,37$ g/dl à M0 a connu une augmentation significative ($p < 0,05$) uniquement après dix-huit mois (M18) de traitement. Enfin la mesure du volume globulaire moyenne (VGM) a permis d'observer une augmentation significative ($p < 0,05$) de sa valeur à M6, M12 M18 par rapport à M0. De $87,06 \pm 2,13$ fl à M0, cette valeur est passée à $94,94 \pm 2,01$ fl ; $98,79 \pm 2,02$ fl et $97,27 \pm 2,12$ fl respectivement à M6, M12 et M18.

Par contre pour ceux issus du groupe (G1) qui n'avait pas la zidovudine incluse dans leur traitement, le taux d'hémoglobine mesuré a connu une augmentation. Il est passé en effet de $10,65 \pm 0,66$ g/dl à M0 à $12,18 \pm 0,70$ g/dl après six mois de traitement (M6). Cependant cette augmentation n'a pas été significative ($p > 0,05$) comparativement à M0.

Les taux de globules blancs et des plaquettes ont connu en revanche une augmentation hautement significative ($p < 0,001$) dès le sixième mois de traitement par rapport à M0. En ce qui concerne les globules blancs, le taux initial est passé de $3607 \pm 183.10^3/\text{mm}^3$ à $4880 \pm 184,7.10^3/\text{mm}^3$ (M6). Quant aux plaquettes, la valeur initial $233,2 \pm 11,38 10^3/\text{mm}^3$ est passée à $327,7 \pm 11,20 10^3/\text{mm}^3$ (M6).

Dans le deuxième groupe, pour les patients recevant l'AZT (Tableau 11), le taux des globules blancs a connu une diminution hautement significative ($p < 0,001$) comparé à M0 durant la période de traitement. Ce taux est passé de $4873 \pm 77,80 10^3/\text{mm}^3$ à $4327 \pm 79,70 10^3/\text{mm}^3$ de M0 à M18. Le Taux d'hémoglobine n'a pas connu de changement significatif ; il est resté inférieur à 12g/dl au cours du traitement alors que le Volume Globulaire Moyen (VGM) a augmenté au dix-huitième mois de traitement. De $80,80 \pm 3,67$ fl à M0, le VGM a atteint $95,54 \pm 2,86$ fl à M18. Cette Augmentation a été de 19% significative ($p < 0,05$) par rapport à M0.

Les valeurs obtenues chez les patients ne recevant pas cette molécule ont augmentées significativement ($p < 0,001$) (Tableau 12).

En ce qui concerne les globules blancs, ils ont connu une augmentation hautement significative ($p \leq 0,001$) comparativement à M0 durant le traitement précisément à M6, à M 12 et à M 18. Le nombre initial à M0 égale à $3027 \pm 48,07 10^3/\text{mm}^3$ est monté progressivement à $3220 \pm 37,42 10^3/\text{mm}^3$, $3467 \pm 42,16 10^3/\text{mm}^3$ et $3800 \pm 31,62 10^3/\text{mm}^3$ soit une augmentation respective de 6,37% à M6, 14,53% à M12 et 25,53% à M18.

S'agissant des plaquettes, elles ont connu une augmentation importante et hautement significative ($p \leq 0,001$) comparé à M0. Celle-ci a été de 88,53% après six mois de traitement. En effet, le taux des plaquettes est passé de $192,8 \pm 8 10^3/\text{mm}^3$ à $363,5 \pm 7,91 10^3/\text{mm}^3$. Cette augmentation est demeurée significative durant la période de traitement et a atteint les taux respectifs de $363,50 \pm 9,93 10^3/\text{mm}^3$ et $316 \pm 6,62 10^3/\text{mm}^3$ à M12 et M18.

En revanche, le VGM a diminué considérablement ($p<0,001$) au cours du traitement. Sa valeur initiale égale à $135,8\pm 3,64$ fl a atteint progressivement les valeurs de $96,98\pm 4,46$ fl, $93,2\pm 4,40$ fl et $92,37\pm 5,75$ fl respectivement à M6, M12 et M18. La réduction du VGM a été successivement de 28,58%, 31,36% et 31,98% comparé à M0.

Pour les patients du groupe G3, la présence de la zidovudine a induit une augmentation hautement significative ($p<0,001$) du taux d'hémoglobine comparé à M0 au cours du traitement (Tableau 13 et 14). En effet, ce taux égal à $10,83\pm 0,16$ g/dl est passé à $12,32\pm 0,12$ g/dl, $12,78\pm 0,13$ g/dl et $12,40\pm 0,14$ g/dl respectivement après six mois (M6), douze mois (M12) et dix-huit mois (M18) de traitement.

Tableau 9 : Effet de la zidovudine inclus dans le traitement antirétroviral sur les paramètres hématologiques des patients du groupe 1 (G1)

Paramètres	M0	M6	M12	M18
Globules blancs ($10^3/\text{mm}^3$)	$4544\pm 104,30$	$4170\pm 109,70$	$4400\pm 118,30$	$4449\pm 114,80$
Globules rouges (cellules/ mm^3)	$4,01\pm 0,11$	$3,62\pm 0,11$	$3,68\pm 0,12$	$3,71\pm 0,10$
Plaquettes ($10^3/\text{mm}^3$)	$248,60\pm 8,34$	$231,4\pm 8,16$	$277\pm 11,88$	$249\pm 11,32$
Hématocrites (%)	$34,66\pm 0,87N$	$33,65\pm 0,83$	$37,02\pm 0,85$	$37,39\pm 0,89$
Hémoglobine (g/dl)	$11,48\pm 0,19$	$11,65\pm 0,22$	$11,53\pm 0,29$	$11,88\pm 0,25$
TCMH (pg)	$28,27\pm 0,74$	$31,200,89\pm$	$32,62\pm 0,95^{**}$	$32,33\pm 0,94^{**}$
CCMH (g/dl)	$31,75\pm 0,37$	$32,72\pm 0,40$	$32,70\pm 0,34$	$33,20\pm 0,33^*$
VGM (fl)	$87,06\pm 2,13$	$94,94\pm 2,01^*$	$98,79\pm 2,02^*$	$97,27\pm 2,12^*$

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de $\text{CD4} \leq 200$ cellules/ mm^3 . G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/ mm^3 et 350 cellules/ mm^3 . G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/ mm^3 . CCMH : Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine, CCMH : Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine. VGM: Volume globulaire moyenne
* : $p<0,05$, ** : $p<0,01$ comparés à M0.

Tableau 10 : Effet du traitement antirétroviral sans la zidovudine inclus sur les paramètres hématologiques des patients du groupe 1 (G1)

Paramètres	M0	M6	M12	M18
Globules blancs ($10^3/\text{mm}^3$)	$3607\pm 183,8$	$4880\pm 184,7^{***}$	$3560\pm 194,2$	4237 ± 141
Globules rouges (cellules/ mm^3)	$4,36\pm 0,21$	$4,09\pm 0,35$	$4,23\pm 0,23$	$4,08\pm 0,20$
Plaquettes ($10^3/\text{mm}^3$)	$233,2\pm 11,38$	$327,7\pm 11,20^{***}$	$220,4\pm 11,52$	$241,6\pm 12,68$
Hématocrites (%)	$37,93\pm 1,91$	$34,65\pm 1,43$	$38,6\pm 1,49$	$39,47\pm 1,71$
Hémoglobine (g/dl)	$10,65\pm 0,66$	$12,18\pm 0,70$	$11,82\pm 0,89$	$11,41\pm 0,91$
TCMH (pg)	$26,67\pm 1,23$	$28,91\pm 1,37$	$30,36\pm 1,88$	$31,29\pm 1,79$
CCMH (g/dl)	$31,6\pm 0,45$	$31,79\pm 0,73$	$32,28\pm 0,58$	$32,61\pm 0,61$
VGM (fl)	$84,13\pm 2,90$	$90,51\pm 4,37$	$93,61\pm 4,30$	$95,46\pm 3,80$

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de $\text{CD4} \leq 200$ cellules/ mm^3 . G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/ mm^3 et 350 cellules/ mm^3 . G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/ mm^3 . CCMH : Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine, CCMH : Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine. VGM: Volume globulaire moyenne.
*** $p<0,001$ comparé à M0

Tableau 11 : Effet de la zidovudine inclus dans le traitement antirétroviral sur les paramètres hématologiques des patients du groupe 2 (G2)

Paramètres	M0	M6	M12	M18
Globules blancs ($10^3/\text{mm}^3$)	4873 $\pm$ 77,80	4338 $\pm$ 80,25***	4140 $\pm$ 76,54***	4327 $\pm$ 79,70***
Globules rouges (cellules/ mm^3)	4,22 $\pm$ 0,17	3,86 $\pm$ 0,12	4,09 $\pm$ 0,19	3,96 $\pm$ 0,18
Plaquettes ($10^3/\text{mm}^3$)	270 $\pm$ 12,34	267,5 $\pm$ 12,52	247,3 $\pm$ 10,74	250 $\pm$ 8,95
Hématocrites (%)	34,69 $\pm$ 1,87	35,29 $\pm$ 1,04	36,94 $\pm$ 1,51	38,1 $\pm$ 1,50
Hémoglobine (g/dl)	11,40 $\pm$ 0,23	11,67 $\pm$ 0,23	11,92 $\pm$ 0,21	11,48 $\pm$ 0,27
TCMH (pg)	26,77 $\pm$ 1,25	30,48 $\pm$ 1,10	30,33 $\pm$ 1,38	31,38 $\pm$ 1,30
CCMH (g/dl)	31,62 $\pm$ 0,40	32,71 $\pm$ 0,37	32,53 $\pm$ 0,39	32,67 $\pm$ 0,50
VGM (fl)	80,80 $\pm$ 3,67	89,28 $\pm$ 4,35	92,49 $\pm$ 3,22	95,54 $\pm$ 2,86*

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de CD4 $\leq$ 200 cellules/ mm^3 . G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/ mm^3 et 350 cellules/ mm^3 . G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/ mm^3 . CCMH : Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine, CCMH : Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine. VGM: Volume globulaire moyenne.
* : $p < 0,05$; *** $p < 0,001$ comparés M0.

Tableau 12 : Effet du traitement antirétroviral sans la zidovudine inclus sur les paramètres hématologiques des patients du groupe 2 (G2)

Paramètres	M0	M6	M12	M18
Globules blancs ($10^3/\text{mm}^3$)	3027 $\pm$ 48,07	3220 $\pm$ 37,42*	3467 $\pm$ 42,16***	3800 $\pm$ 31,62***
Globules rouges (cellules/ mm^3)	3,80 $\pm$ 0,27	2,94 $\pm$ 0,38	3,93 $\pm$ 0,33	4,10 $\pm$ 0,40
Plaquettes ($10^3/\text{mm}^3$)	192,80 $\pm$ 8,90	363,50 $\pm$ 7,91***	363,50 $\pm$ 9,93***	316 $\pm$ 6,62***
Hématocrites (%)	35,46 $\pm$ 3,21	33,57 $\pm$ 3,33	36,38 $\pm$ 3,01	41,40 $\pm$ 3,78
Hémoglobines (g/dl)	11,47 $\pm$ 0,50	11,36 $\pm$ 0,42	10,27 $\pm$ 0,32	12,16 $\pm$ 0,51
TCMH (pg)	31,66 $\pm$ 1,25	32,73 $\pm$ 1,81	32,03 $\pm$ 1,59	31,4 $\pm$ 1,87
CCMH (g/dl)	33,62 $\pm$ 0,61	33,45 $\pm$ 0,93	34,14 $\pm$ 0,56	33,85 $\pm$ 0,29
VGM (fl)	135,8 $\pm$ 3,64	96,98 $\pm$ 4,46***	93,2 $\pm$ 4,40***	92,37 $\pm$ 5,75***

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de CD4 $\leq$ 200 cellules/ mm^3 . G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/ mm^3 et 350 cellules/ mm^3 . G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/ mm^3 . CCMH : Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine, CCMH : Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine, VGM: Volume globulaire moyenne.
* : $p < 0,05$, *** $p < 0,001$ comparés à M0.

Tableau 13 : Effet de la zidovudine inclus dans le traitement antirétroviral sur les paramètres hématologiques des patients du groupe 3 (G3)

Paramètres	M0	M6	M12	M18
Globules blancs ($10^3/\text{mm}^3$)	4386 $\pm$ 103,3	4180 $\pm$ 102	4350 $\pm$ 104,1	4800 $\pm$ 102,1
Globules rouges (cellules/ mm^3)	4,29 $\pm$ 0,27	3,92 $\pm$ 0,29	4,10 $\pm$ 0,45	4,02 $\pm$ 0,31
Plaquettes ($10^3/\text{mm}^3$)	230,70 $\pm$ 8,19	220 $\pm$ 9,25	203,3 $\pm$ 7,78	207,80 $\pm$ 9,69
Hématocrites (%)	35,95 $\pm$ 0,80	35,83 $\pm$ 0,94	34,63 $\pm$ 0,74	36,26 $\pm$ 0,77
Hémoglobine (g/dl)	10,83 $\pm$ 0,16	12,32 $\pm$ 0,12**	12,78 $\pm$ 0,13***	12,40 $\pm$ 0,14***
TCMH (pg)	28,12 $\pm$ 1,11	31,63 $\pm$ 1,62	29,97 $\pm$ 1,82	30,86 $\pm$ 1,302
CCMH (g/dl)	33,08 $\pm$ 0,34	33,9 $\pm$ 0,52	34,33 $\pm$ 0,52	33,92 $\pm$ 0,17
VGM (fl)	86,27 $\pm$ 2,24	93,03 $\pm$ 2,95	87,6 $\pm$ 3,06	91,14 $\pm$ 2,58

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de CD4 $\leq$ 200 cellules/ mm^3 . G2 : taux de CD4

compris entre 201 cellules/mm³ et 350 cellules/mm³. G3 : taux de CD4 compris entre 351 et 500 cellules/mm³. CCMH : Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine, CCMH : Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine, VGM: Volume globulaire moyenne. **: p<0.01; ***p<0,001 comparés à M0.

Tableau 14 : Effet du traitement antirétroviral sans la zidovudine inclus sur les paramètres hématologiques des patients du groupe 3

Paramètres	M0	M6	M12	M18
Globules blancs (10 ³ /mm ³)	4866±177,40	4334±121,60	4326±175,60	4253±201
Globules rouges (cellules/mm ³)	4,65±0,11	4,50±0,13	4,60±0,14	4,63±0,12
Plaquettes (10 ³ /mm ³)	231±8,23	245±8,48	240,30±9,13	234±9,87
Hématocrites (%)	40,92±1,06	39,01±0,94	39,45±0,98	40,63±0,88
Hémoglobines (g/dl)	12,20±0,17	12,40±0,17	12,49±0,22	12,81±0,00
TCMH (pg)	27,02±0,49	28,72±0,62	28,63±0,73	29,13±0,66
CCMH (g/dl)	32,38±0,23	32,75±0,29	33±0,37	33,16±0,27
VGM (fl)	83,27±1,097	87,45±1,36	86,61±1,55	87,78±1,70

M0 : initiation du traitement, M6 : six mois de traitement, M12 : douze mois de traitement, M18 : dix-huit mois de traitement. G1 : taux de CD4 ≤ 200 cellules/mm³. G2 : taux de CD4 compris entre 201 cellules/mm³ et 350 cellules/mm³.

Discussion

L'objectif de cette étude était d'étudier l'impact des traitements antirétroviraux sur le profil hématologique des patients du VIH pris en charge au Centre National de transfusion Sanguine en fonction de leur nombre initial de T4. L'idée était de déterminer l'influence du stade de l'infection sur l'effet des antirétroviraux administrés à long terme.

La population d'étude au nombre de 351 est composée de 60,68% de femmes. Ce nombre important de femmes infectées dans cette étude est semblable à celui obtenu par Okomé et al. (2007) et Diarra (2008). En effet, le risque de transmission sexuelle du VIH est plus élevé chez la femme que chez l'homme selon Hughes et al. (2012). Thibodeau en 2014 montre que la transmission chez celle-ci est favorisée par son anatomie. L'âge moyen des patients estimé à 37 ans est semblable aux résultats de Maud en 2010 et le pourcentage de célibataire élevé dans cette étude est contraire aux résultats obtenus par Okomé et al. (2007). Leurs travaux ont en effet relevé des proportions de célibataires et de mariées respectivement à 7,6 % et 55%.

La prévalence du VIH de type 1 de 96,59% confirme les résultats de Sagna et al. (2014) et Lawson et al. (2017). Ce sous type est le plus répandu en Afrique subsaharienne (Alessandri, 2018). Le nombre de patient, à 72,65% au stade 1 de l'infection est contraire aux résultats de Diarra (2008) qui avait obtenu 41% des patients au stade IV et 54,80% au stade III de l'infection. Ce résultat de cette étude s'explique par la spécificité du Centre National de Transfusion Sanguine. Cette structure dispose d'une unité de soins destinée à la prise en charge immédiate des personnes dépistés positifs après un don de sang.

En ce qui concerne l'évolution des paramètres hématologiques mesurés dans les trois groupes (G1, G2 et G3), les valeurs moyennes des globules blancs n'ont pas montré de changement au cours du traitement contrairement à Tovi (2014). Elle a observé une augmentation significative des taux des globules blancs sous traitement antirétroviral. Les résultats obtenus de la numération des globules rouges sont conformes à ceux de Loua et al. (2011) et Trébissou et al. (2014). Bien qu'aucune variation significative ne soit observée au cours du traitement, le nombre de globules rouge a chuté en-dessous des valeurs de référence dans le groupe G1 dont le nombre de LT4 est inférieur à 200 cellules/mm³. Cela serait du fait soit de l'effet du virus ou de l'interaction médicamenteuse selon Parinitha et Pulkarni, 2012.

Les hémoglobines mesurées dans les trois groupes sont semblables à ceux de Tovi (2014). Les valeurs moyennes ont été respectivement de 11,40 g/dl, 11,44 g/dl et 12,11 g/dl dans les groupes G1, G2 et G3. Sachant que la valeur normale du taux d'hémoglobine est estimée à 12 g/dl. Ces résultats initiaux témoignent de la présence de cas d'anémie dans les groupes G1 et G2. Par ailleurs, la valeur de l'hémoglobine mesurée dans le groupe G3 a été significativement plus élevée ($p < 0,05$) comparé à celles mesurés en G1 et G2. Elles confirment les résultats de Njonkou (2014) et Bédji (2014). Ces auteurs ont observé une anémie permanente chez les patients ayant un taux de LT4 inférieur à 200 cellules/mm³ sous traitement antirétroviral. Et cette anémie a été plus importantes au fur et à mesure que le nombre de lymphocyte T4 diminuait (Attinsounon et al., 2017). Alors que Ebonyi et al. (2017) ont observé une nette amélioration des valeurs d'hémoglobine dans les mêmes conditions au cours du traitement.

Les Teneurs Corpusculaires Moyennes en Hémoglobine (TCMH) augmentées, dans les groupes G1 à $p < 0,01$) et G2 à ($p < 0,05$) sont semblables à ceux obtenues de Trébissou et al. (2014). En effet, ces auteurs ont obtenu une augmentation très significative ($p < 0,01$) du taux de TCMH dans leur population d'étude.

L'étude de la CCMH a montré une hypochromie dans le groupe G1 à l'initiation de la thérapie. Le taux initial a été égal à $37,71 \pm 0,25$ g/dl. Ce taux a augmenté significativement ($p < 0,05$) au cours du traitement et a atteint une valeur normale de $32,20 \pm 0,33$ g/dl. Quant aux patients des groupes G2 et G3, la CCMH a été normal pendant le traitement.

Concernant l'étude de l'évolution du volume globulaire moyen (VGM), le taux initial des patients du groupe G1 a connu une augmentation significative ($p \leq 0,001$) après douze mois de traitement. Il est passé en effet de $87,06 \pm 2,13$ fl. à $97,64 \pm 1,84$ fl, alors que les valeurs dans les groupes G2 et G3 n'ont pas connu de changement significatif. Ces résultats confirment ceux de Trébissou et al. 2014.

Ainsi, considérant le taux d'hémoglobine mesuré dans le groupe G1, les patients seraient en situation d'anémie hypochrome normocytaire à l'initiation du traitement. Le traitement antirétroviral aurait favorisé l'installation progressive d'une anémie de type normochrome macrocytaire après 18 mois de traitement. Ces résultats sont conformes à ceux de Trébissou et al. (2014). Ces auteurs ont également observé l'installation d'une anémie normochrome macrocytaire chez des patients atteints d'une anémie hypochrome normocytaire à l'initiation du traitement. Par ailleurs, la persistance de l'anémie dans cette population serait aussi du fait du niveau de CD4 (Zhou et al., 2012). Ezeamama et al. (2019) ont étudié l'évolution de l'anémie des patients VIH sous traitement, ils ont observé que la prévalence de cas d'anémie macrocytaire a augmenté lors de leurs études. Cette prévalence estimée au départ à 11,3% est montée à 53,3% après dix-huit mois de traitement. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus dans le premier groupe (G1).

Contrairement dans le groupe G2, l'anémie a été de type normochrome normocytaire. Ces résultats corroborent ceux de Bedji (2014). En effet, cet auteur a observé la prédominance d'une anémie normochrome normocytaire de 41,04% dans sa population d'étude. Celle-ci comptait une majorité de 52 sur 71 personnes. Dans cette population, 29,57% avait un taux de LT4 inférieur à 200 cellules/mm³ et 45,07% avait un taux de LT4 inférieur à 350 cellules/mm³. Selon Parinitha et Kulkarni (2012), l'anémie normochrome normocytaire serait le type d'anémie chez les personnes vivant avec le VIH, elle serait liée à la chronicité de l'infection.

L'étude de l'effet de la zidovudine dans chacun des groupes au cours de cette étude, a permis de mettre en évidence l'origine des anomalies observées plus haut. En effet, les patients traités avec la zidovudine dans les groupes G1, G2 et G3 avaient des taux d'hémoglobine inférieurs à 12g/dl à l'initiation de la thérapie. Ces taux sont restés inchangés après dix-huit mois de traitement dans les sous-groupes G1 et G2. Ces résultats confirment ceux de Nacoulma et al (2007). Les auteurs n'ont pas observé de variation des taux d'hémoglobine chez leurs patients en présence de AZT. Par contre dans cette étude, le taux d'hémoglobine mesuré dans le groupe G3 en présence de AZT a augmenté significativement ($p < 0,001$) dès six mois de traitement. Ces résultats sont en conformité avec ceux de Njonkou (2014). Cet auteur a montré dans ses travaux que le risque de présenter une anémie au cours du traitement avec AZT serait associé au nombre réduit de LT4 des patients. L'effet de la zidovudine serait donc inhibé par le taux de LT4 élevé.

Quant à l'effet de la zidovudine sur les autres paramètres tels que la TCMH, la CCMH, et le VGM il a été observé dans le groupe G1 une augmentation très significative de chacun de ces paramètres durant le traitement. Ainsi, la survenue de la macrocytose dans le groupe G1 au cours du

traitement est lié à la présence de la zidovudine dans les traitements thérapeutiques. Ce résultat est semblable à ceux de Kim et al. (2013). Selon ces auteurs, l'effet de la zidovudine dans l'induction de l'altération des cellules sanguines se ferait lors de son action inhibitrice de la transférase reverse sur l'ADN polymérase. Chez les patients du deuxième groupe G2, le traitement avec l'AZT a induit une augmentation du volume globulaire moyen, alors que le traitement sans AZT a entraîné une diminution significative du VGM. Ces résultats confirment ceux de Abdulqadir et al. (2018). Ils ont en effet observé une différence très significative entre le VGM des personnes sous AZT et ceux qui n'étaient pas sous AZT.

Une leucopénie profonde et hautement significative a été observée en présence de AZT dans le groupe G2. Ce résultat est semblable à ceux de Loua et al, obtenu en 2011. Quant aux plaquettes, le nombre est resté inchangé durant la période d'étude dans tous les groupes avec des traitement incluant l'AZT. Par contre, les plaquettes ont connu une augmentation significative dans les groupes G1 et G2. Ces résultats sont contraires aux résultats de Nacoulma et al. (2007) et Ziske et al. (2013) qui ont observé une augmentation des plaquettes sous AZT.

Conclusion

La présente étude traite de l'évolution des paramètres hématologiques des patients VIH au cours du traitement antirétroviral. Elle confirme la survenue de cytopénies d'origine médicamenteuse chez les patients. Cependant, Les mécanismes à l'origine des cytopénies ou des modifications des cellules sanguines sous traitement antirétroviral devrait faire l'objet d'études plus approfondies afin d'adapter ces traitements aux besoins des patients.

Remerciements

Nous adressons nos remerciements à la direction du Centre National de Transfusion Sanguine d'Abidjan et au chef du Centre de Suivi des Donneurs de Sang. Nous remercions également le personnel médical et social de cette structure pour leur contribution au déroulement de cette étude.

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 le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche scientifique et les principes de la déclaration d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. Abdulqadir, I., Ahmed, S. G., Kuliya, A. G., Tukur, J., Yusuf, A. A. & Musa, A. U. (2018). *Hematological parameters of human immunodeficiency virus positive pregnant women on antiretroviral therapy in Aminu Kano Teaching Hospital Kano, North Western Nigeria*. Journal of Laboratory Physicians, 10(1), 60-63
2. Alessandri, E. (2018). *Variants non-M du VIH-1 : Sensibilité naturelle aux inhibiteurs d'intégrase et d'attachement, réponses immunologique et virologique des patients aux antirétroviraux*. Thèse de doctorat de l'Université de Normandie, France, 187 p
3. Aoun C. & Delarue R. (2013). *Cytopénie d'origine médicamenteuse*. La revue du praticien médecine générale, 27(903) .461-66
4. Attinsounon, C. A., Dovonou, C. A., Alassani, C. A., Gomina, M., Agbodandé, K. A., Wanvoegbe F. A., Bokpè, R., Ahanhanzo-Glèlè, R., Azon-Kouanou, A., & Zannou, D. M. (2017). *Prévalence et facteurs associés à l'anémie chez les adultes infectés par le VIH à l'initiation du traitement antirétroviral*. Médecine et Maladies infectieuses, 47 (4), 135-136
5. Bédji, T. L. B. (2014) *Evaluation des micronutriments (vitamines A, E), profils hématologique et biochimique chez les personnes vivant avec le virus de l'Immunodéficience humaine*. Thèse de doctorat de l'Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 162 p
6. Diarra, I. (2008). *Etude des facteurs influençant l'évolution des lymphocytes T CD4+ au cours du traitement antirétroviral à l'Hôpital Régional Nianankoro Fomba de Ségou*. Thèse de doctorat de l'Université de Bamako, Mali, 116 p
7. Ebonyi, A. O., Oguiche, S., Ochoga, M. O., Agbaji, O. O., Anejo-Okopi, J. A., Abah, I. O., Okonkwo P. I., & Idoko J. A. (2017). *Changes in hematological parameters of HIV-1 infected children at 6 and 12 month of antiretroviral therapy in a large clinic cohort, North-Central Nigeria*. Journal of virus Eradication, 3(4), 208-211
8. Ezeamam, A. E., Sikorskii, A., Bajwa, R. K., Tuke, R., Kyeyune, R. B., Fenton, J. I., Guwatudde D. & Fawzi W. W. (2019). *Evolution of Anemia Types During Antiretroviral Therapy-Implications for Treatment Outcomes and Quality of Life Among HIV-Infected Adults*. Nutrients, 11, 755."
9. Ferrand H. Joly V. & Yazdanpanah Y. (2013). *Syndrome de restauration immunitaire chez les patients infectés par le virus de*

- l'immunodéficience humaine et traités par antirétroviraux*
Réanimation 22 :470-476 DOI 10.1007/s13546-013-0700-4
10. Hughes, J. P., Beaten, J. M., lingappa, J. R., Magaret, A. S., Wald, A., de Bruyn, G., Kiarie, J., Inambao, M., Kilembe, W., Farquhar, C., & Celum C. (2012). *Determinants of per-coital -act hiv-1 infectivity among African hiv-1 serodiscordant couples*. The Journal of infectious diseases, 205 (3), 358-365
 11. Kim, A. H., Jang, W., Kim, Y., Park, Y-J., Han, K., & Oh, E-J. (2013). *Mean Corpuscular Volume (MCV) Values Reflect Therapeutic Effectiveness in Zidovudine-Receiving HIV Patients*. Journal of Clinical Laboratory Analysis, 27, 373-378.
 12. Lawson, A. T. D., Diop, N. S. A., Diousse, P., Diop, M. M., Niang, M., & Diop, B. M. (2017). *Personne vivant avec le VIH prises en charges en hospitalisation en zone décentralisée au Sénégal, exemple de ville de Thiès*. Revue malienne d'infectiologie et de microbiologie, 10 : 26-36."
 13. Loua, A., Dramous, C. D., Haba, N. Y., Magassouba, F. B., Lamah, M., Camara, A., Cissé, M., Loua, K. M., Gamy, E. P., & Troussard, X. (2011). *Profil hématologique des patients infectés par le VIH à Conakry*. Hematology, 17(5), 365-369. "
 14. Lundgren, J. D., Babiker, A. G., Gordin, F., Emery, S., Grund, B., Sharma, S., Avihingsanon, A., Cooper, D. A., Fätkenheuer, G., Llibre, J. M., Molina, J-M., Munderi, P., Schechter, M., Wood, R., Klingman, K. L., Collins, S., Lane, H. C., Phillips, A. N., & Neaton, J. D. (2015). *Initiation of antiretroviral therapy in early asymptomatic HIV infection*. The New England Journal of Médecine, 373(9), 795-807
 15. Maud, C. (2010). *Etude comparative de la restitution immunitaire sous traitement antirétrovirale première ligne entre un pays du Nord et un pays du Sud*. Médecine humaine et pathologie. Faculté de Médecine Grenoble, Université Joseph Fournier, France, 55p
 16. Nacoulma, E. W. C., Somé, Y., Tiéno H., Diallo, I., Zougrana ,A., Bougnounou, R., Ouédraogo, C., Drabo, J. & Guiard-Schmid, J. B. (2007). *Evolution des paramètres hématologiques au cours du traitement antirétroviral chez les patients infectés par le VIH au Burkina Faso*. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, 100(4), 271-274
 17. Njonkou, B. M.-I. (2014). *Profil Evolutif de l'anémie au cours de l'infection à VIH après l'initiation des ARV au CDV (Consultation Dépistage Volontaire) service de Médecine interne au CHU de Treichville*. Thèse de doctorat de l'Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire.

18. Okomé N. M. M. L., Okomé E. R., Obiand N. P. & Okomé M. F. (2007). *Bilan clinico- biologique des patients infectés par le VIH à la fondation Jeanne Ebori de Libreville*. Médecine Tropicale, 67 : 357-362."
19. ONUSIDA. (2025). *Estimations épidémiologiques 2025*. Genève
20. OMS, 2015. *Ligne directrice unifiée sur les informations stratégiques relatives à l'infection à VIH dans le secteur de la santé*, Genève 310 p.
21. Parinitha, S. S. & Kulkarni, M. H. (2012). *Changements hématologiques dans l'infection à VIH avec corrélation avec le nombre de CD4*. Australian Medical journal, 5(3), 157-162.
22. Plumecocq S., Lesourd A., Etienne M. & Unal G (2024). *Description des causes de mortalité des personnes vivant avec le VIH entre 2018 et 2023*. Médecine et Maladies Infectieuses Formation, 3(2) ; 145.
23. Sagna, Y., Kouliadiaty, J., Diallo, I., Sanou, A. F., Bagbila, P. A., Sagna, T., Nébié, I., Guira, O., Tieno, H., & Drabo, Y. J. (2014). *Profil biologique des patients nouvellement pris en charge pour une infection à VIH à Ouagadougou (Burkina Faso)*. Médecine et Santé Tropicales, 24, 307-311.
24. Seyler L., henrard S. & Goffard J-C. (2018). *Pathologie hématologiques liées à l'infection par le VIH*. Revue Medical BRUX ; 39 : 307-11
25. Temprano ANRS 12136 Study Group (2015). *A Trial of Early Antiretrovirals and Isoniazid Preventive Therapy in Africa*. The New England Journal of Medicine, 373: 808-22.
26. Terras M., Kaabar. Y. M., cheikhrouhou M. & Guermazi S. (2021). *Hematological manifestations of HIV*. Revue Tunisienne de Biologie Clinique 28(1) : 10-15
27. Thibodeau, V. (2014). *Etude de l'immunité mucoale génitale chez les femmes béninoises hautement exposées au VIH 1 séronégatives (HESN) et séropositives*. Thèse de doctorat de l'Université de Montréal, Canada, 259 p
28. Tovi, W. M. O., 2014. *Intérêt des effets d'antirétroviraux chez les porteurs du VIH au Centre national de transfusion sanguine-Abidjan*. Thèse de doctorat de l'Université Felix Houphouët-Boigny. Abidjan, Cote d'Ivoire, 153 p."
29. Virginie Supervie, 2013. *Les moyens de prévention de l'infection à VIH à base d'antirétroviraux, Quel impact sur l'épidémie du VIH ?* Medecine Science 29 (4) 373 - 38"
30. Woldeamanue, G. G., & Wondimu, D. H. (2018). *Prevalence of anemia before and after initiation of antiretroviral therapy among HIV*

- infected patients at Black Lion Specialized Hospital, Addis Ababa, Ethiopia: a cross-sectional study.* BMC Hematology, 18, 7
31. Zhou, J., Jaquet, A., Bissagnene, E., Musick, B., Wools-Kaloustian, K., Maxwell, N., Boule, A., Wehbe, F., Masys, D., Iriundo-Perez, J., Hemingway-Foday, J. & Law, M. (2012). *Short-term risk of anemia following initiation of combination antiretroviral treatment in HIV-infected patients in countries in sub-Saharan Africa, Asia-Pacific, and central and South America.* Journal of the International AIDS Society 15, 5
32. Ziske, J., Kunz, A., Sewangi, J., Lau, I., Dugange, F., Hauser, A., Kirschener, W., Harms, G., & Theuring, S. (2013). *Hematological changes in Women Infant Exposed to AZT-containing regimen for prevention of mother to child-Transmission of HIV in Tanzania.* PLoS One, 8(2), 1-9

Connaissance, attitude et pratique des patients vis-à-vis de l'HVB à Bangui

Oumarou Youssouf

Service de médecine interne,
Centre hospitalo-universitaire communautaire de Bangui (RCA)

Jule Ngaya

Christy Ngollo

Allain Farra

Institut pasteur de Bangui (RCA)

Diallo Mamadou Sarifou

Service d'hépatogastroentérologie de l'hôpital national Donka CHU
Conakry, Guinée

Hamidine Illa

Université André Salifou, Zinder, Niger
Laboratoire Recherche Clinique et système de santé, Niger

Hourouma Sow

Kadiatou Doumbia

Service d'hépatogastroentérologie, CHU Gabriel Touré, Mali

Sanra Déborah Sanogo

Service d'hépatogastroentérologie, CHU Point G, Mali

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p101](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p101)

Submitted: 25 June 2025

Accepted: 16 August 2025

Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Youssouf, O., Ngaya, J., Ngollo, C., Farra, A., Sarifou, D.M., Illa, H., Sow, H., Doumbia, K. & Sanogo, S.D. (2025). *Connaissance, attitude et pratique des patients vis-à-vis de l'HVB à Bangui*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 101.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p101>

Résumé

Introduction : dans le monde et en Centrafrique l'hépatite virale B est l'une des principales causes des maladies graves du foie comme la cirrhose du foie et carcinome hépatocellulaire. La sensibilisation, la connaissance représentent des moyens essentiels pour lutter contre cette affection. Objectif : Evaluer les connaissances, attitudes et pratiques des patients concernant l'hépatite virale B, et déterminer les facteurs associés aux bonnes

connaissances sur cette maladie. **Patients et méthodes :** Il s'agissait d'une étude transversale de type descriptive. Elle a porté sur des personnes reçues pour des examens biologiques de janvier à décembre 2023 au Laboratoire d'Analyse Médicale de l'Institut Pasteur de Bangui. **Résultats :** sur 1049 personnes reçues, nous avons colligés 445 porteurs d'AgHbs (antigène de surface du virus de l'hépatite b) soit 42.42 %, parmi lesquelles, 365 ont accepté de répondre à nos questions. Ainsi, 210 ont entendu parler de l'hépatite B dont 107 à la radio soit 50,9% et les autres l'ont entendu soit à l'hôpital ou lors de sensibilisation. Deux cents soixante-cinq (72,6%) ne savaient pas ce que c'est que l'hépatite B, 297 (81,3%) ne connaissaient pas les moyens de prévention, 266 ne savaient pas les facteurs de risques. Parmi les porteurs d'antigènes HBs 371 étaient du niveau supérieur et 50 du secondaire. Il convient donc de préciser que la population effective de l'étude correspond uniquement aux 365 personnes ayant effectivement répondu au questionnaire, et non à l'ensemble des individus initialement reçus pour les analyses ou testées positives à l'AgHBS. Le multiple partenaire sexuel était de 118 sur les 445 soit 26,5%. **Conclusion :** l'hépatite virale b demeure un véritable problème de santé publique, en Centrafrique l'ignorance est la cause principale. Une action nationale de grande envergure est recommandée et urgente.

Mots-clés: Bangui, hépatite B, connaissance

Knowledge, attitude and practice of patients towards HVB in Bangui

Oumarou Youssouf

Service de médecine interne,
Centre hospitalo-universitaire communautaire de Bangui (RCA)

Jule Ngaya

Christy Ngollo

Allain Farra

Institut pasteur de Bangui (RCA)

Diallo Mamadou Sarifou

Service d'hépatogastroentérologie de l'hôpital national Donka CHU
Conakry, Guinée

Hamidine Illa

Université André Salifou, Zinder, Niger
Laboratoire Recherche Clinique et système de santé, Niger

Hourouma Sow

Kadiatou Doumbia

Service d'hépatogastroentérologie, CHU Gabriel Touré, Mali

Sanra Déborah Sanogo

Service d'hépatogastroentérologie, CHU Point G, Mali

Abstract

Introduction: Worldwide and in the Central African Republic, viral hepatitis B is one of the leading causes of serious illnesses (liver cirrhosis and hepatocellular carcinoma); awareness and knowledge are essential means to combat this disease. Objective: To assess patients' knowledge, attitudes, and practices regarding viral hepatitis B, and determine the factors associated with good knowledge of this disease. **Patients and Methods:** This cross-sectional and descriptive study was conducted from January to December 2023 at the Medical Analysis Laboratory of the Institut Pasteur in Bangui. Patients referred to the Institut Pasteur in Bangui for testing, including the diagnosis of hepatitis, were included. **Results:** A total of 365 out of 1,049 people responded to the questions, including 445 HBsAg (hepatitis B virus surface antigen) carriers. Of the 365, 210 had heard of hepatitis B, including 107. On the radio, 50.9%, and the other 1st heard it either in the hospital or during awareness-raising sessions. Two hundred and sixty-five (72.6%) did not know what hepatitis B was, 297 (81.3%) did not know the means of prevention, and 266 did not know the risk factors. Among the HBs antigen carriers, 371 were in higher education and 50 were in secondary education. Multiple sexual partners were 118 out of 445, or 26.5%. **Conclusion:** Viral hepatitis B remains a real

public health problem; in the Central African Republic, ignorance is the main cause. Large-scale national action is recommended and urgent.

Keywords: Bangui, hepatitis B, knowledge

Introduction

L'hépatite virale B constitue une véritable menace pour la santé publique sur le plan mondial, surtout en Afrique, de par ses complications cliniques, socio-économiques et sa fréquence (Pamatika et al, 2022). Sa forme chronique constitue la première cause de mortalité par hépatopathie dépassant l'infection par le virus de l'immunodéficience (VIH) et la tuberculose (TB) en ce qui concerne la morbi-mortalité (Pamatika et al, 2022). Sur le plan mondial, 2,5 milliards de personnes sont infectées par le VHB avec 0,5-1 million de décès par an dont 350 à 400 millions sont des porteurs chroniques du virus susceptibles de développer dans 15 à 20% des cas un CHC (Carcinome Hépatocellulaire) ou une cirrhose du foie, (DIENG N et al 2024 ; Menecier et al 2024) . Selon une étude antérieure à Bangui La prévalence de l'HVB chronique était de 70,5 %. La forme chronique était significativement associée au jeune âge (18 à 44 ans) et au sexe masculin $p < 0,05$ (Christian et al.2022). ces chiffres donnent une mauvaise image du monde pour les hépatites virale B néanmoins il y'a un espoir d'élimination possible de cette maladie (Villeret et al.2020). Par le progrès scientifique dans son traitement. Cette élimination est visée à l'horizon de 2030, par l'OMS, avec comme cibles : la réduction de 90 % le nombre de nouvelles infections par les hépatites B et C, et de 65% le nombre de décès dus à l'hépatite (<https://www.emro.who.int/fr/world-hepatitis-day/2022/index.html>). Cependant le recours au dépistage, au traitement et à la vaccination dépend des connaissances des populations sur les hépatites, d'où l'importance de renforcer la sensibilisation du grand public sur les hépatites (Dwiartama et al.2022). De tout ce qui précède, il ressort que la sensibilisation et l'éducation des centrafricains est l'un des piliers importants pour lutter contre l'hépatite virale. En 2021 une étude à Lomé par (BAWE el. 2021) a noté que Les niveaux de connaissances, d'attitudes et de pratiques étaient significativement meilleurs chez les sages-femmes ($p < 0,005$). Cette présente étude avait comme objectif d'évaluer les connaissances, des patients sur l'hépatite virale B, de déterminer les facteurs associés à une bonne connaissance.

Patients et méthodes

Il s'agissait d'une étude transversale descriptive réalisée en une phase, de janvier à décembre 2023 au sein du laboratoire d'analyse médicale de l'Institut Pasteur de Bangui. La population d'étude était constituée des patients

adressés à l'Institut Pasteur de Bangui principalement par des médecins des trois CHU de la ville pour des analyses comportant le diagnostic de l'Hépatite B, n'étaient inclus dans l'étude, tous patients reçus au laboratoire pour le dépistage de l'hépatite B, non consentants. Les données étaient recueillies dans un questionnaire préétabli pour chaque patient et l'analyse était faite par le logiciel Epi info (version 6.0). Considérations éthiques : l'étude s'était déroulée dans le strict respect de la confidentialité. Les fiches d'enquête étaient conçues sous l'anonymat.

Considération éthique : la faculté décanat de la faculté des sciences et de la santé de l'université de Bangui faisant office de comité d'éthique a donné son accord pour la réalisation de cette étude qui a fait l'objet d'une thèse de doctorat de médecine du troisième auteur (Christy Ngollo). Le mail du Vice Doyen de la faculté des sciences et de la santé: pmbelesso@yahoo.com

Résultats

Au total 1049 patients étaient enrôlés dont 445 (42.42%) porteurs d'antigène HBs positif parmi lesquels 365(82%) ont accepté de répondre aux questionnaires

Répartition des patients AgHBs positifs selon la situation matrimoniale

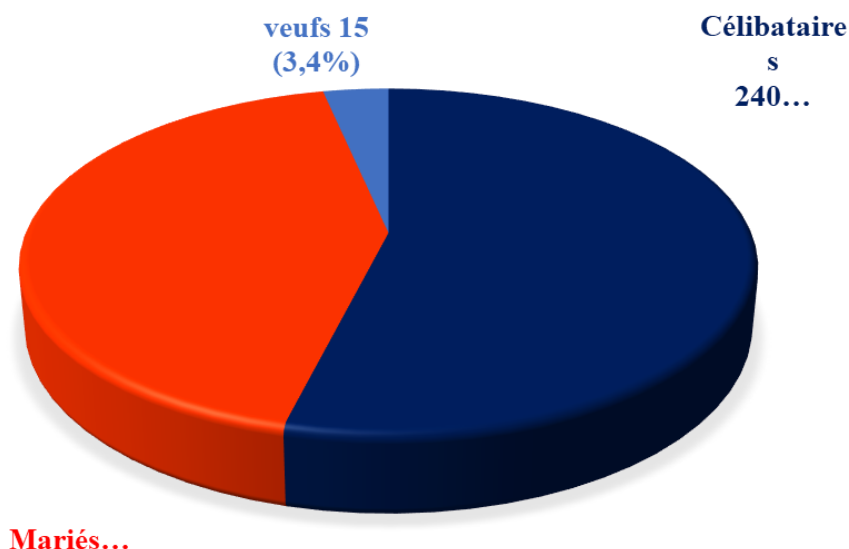


Figure 1: Répartition des patients AgHBs positifs selon la situation matrimoniale

Répartition des porteurs d'AgHBs selon la profession

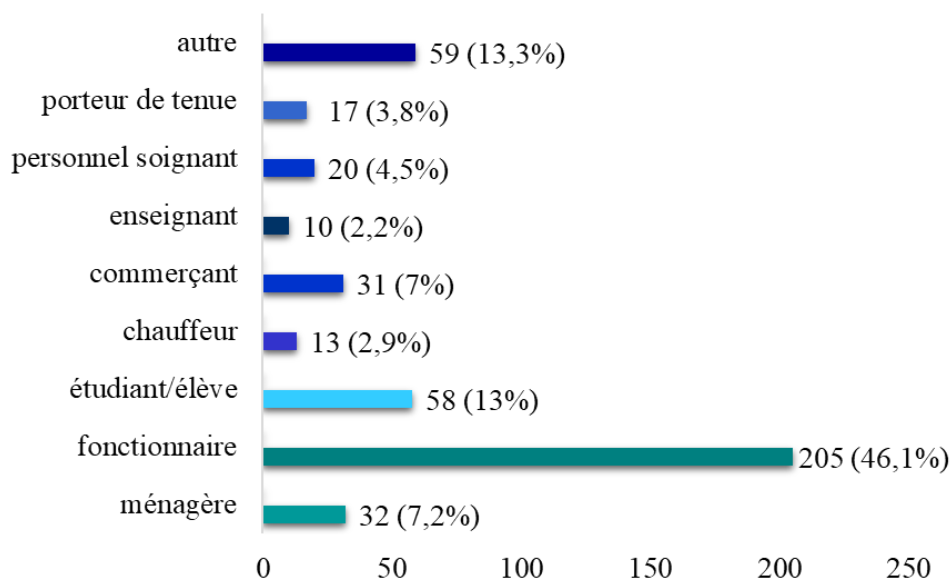
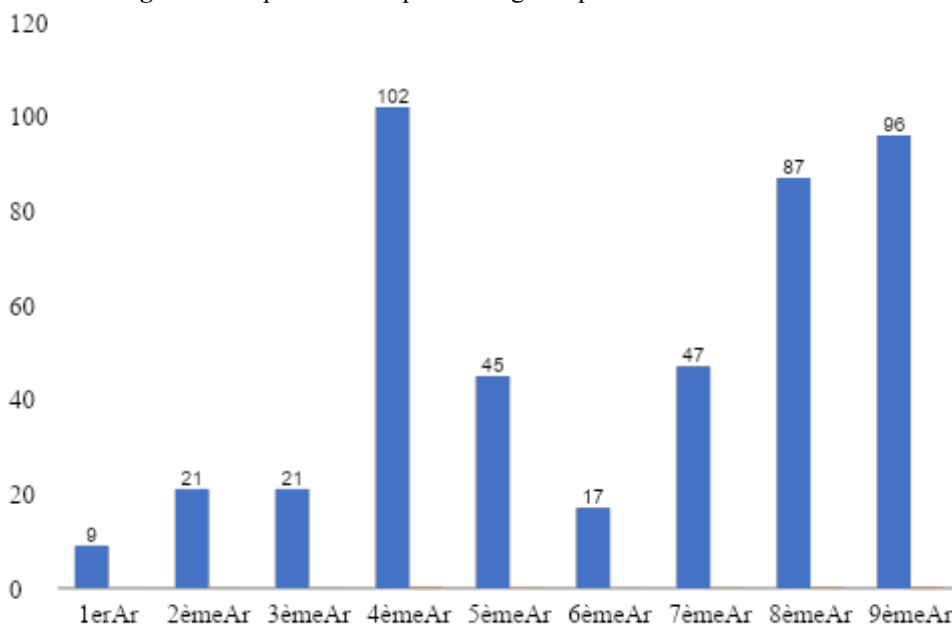


Figure 2: Répartition des porteurs d'AgHBs selon la profession

Répartition des porteurs d'AgHBs selon la résidence

Figure 3 : Répartition des patients AgHBs positifs selon la résidence



*Ar : Arrondissement

Répartition des patients AgHBs positifs selon le niveau des études : Le niveau supérieur a représenté 371 (83.37%), secondaire 50(11%), primaire 14(3.14%) et non scolarisé 10 (2.24%).

Répartition selon les facteurs de risque

Tableau I : Répartition des patients AgHBs positifs selon les facteurs de risque

Facteurs de risque	Effectif	Pourcentage
Transfusion sanguine	14	3,1
Multiple partenaire sexuel	118	26,5
Enfants nés de mères séropositives	3	0,7
Aucun	310	69,7
Total	445	100

Le multiple partenaire sexuel était majoritaire avec un effectif de 118 sur les 445 soit 26,5%.

L'auto-questionnaire concernant les connaissances des patients sur l'hépatite B

365 personnes ont répondu aux questions, parmi lesquels 210 ont entendu parler de l'hépatite B soit 57,5%. Plus de la moitié des personnes ayant entendu parler du VHB, l'ont suivi à la radio soit 50,9% et seulement 17,4% l'ont entendu soit à l'hôpital ou lors de sensibilisation. Deux cents soixante-cinq ne savaient pas ce que c'est que l'hépatite B (72,26%) et 297 (81,3%) ne connaissent pas les moyens de prévention (74,3%) ni les facteurs de risques.

Discussion

Le taux de participation était de 82%, supérieur à 76% à lomé (BAWE et al.2021), cette différence pourrait s'expliquer la taille de notre échantillon plus grand.

Les patients provenant du 4^{ème} arrondissement étaient les plus touchés avec une prévalence de 22,9%. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le 4^{ème} arrondissement était l'une des résidences les plus représentés avec le 9^{ème} arrondissement.

Les célibataires sont les plus représentés avec 53,9% des cas ce qui est inférieur à celui de (Asmae Leksif et al, 2024) en Tunisie où La majorité était célibataires (91,7%) et environ deux tiers faisaient partie de familles d'un bon niveau socio-économique . Des études faites à Brazzaville et Bangui ont rapporté le même constat probablement dû au fait que les célibataires sont sujets à des relations sexuelles occasionnelles et donc à risque (Police et al, 2020 ; Kommas et al, 2010 ;Katilé et al, 2018).Les fonctionnaires sont les plus touchés avec 46,1% des cas. La faible fréquence de l'AgHBs chez les personnels de santé (4,5%) s'expliquerait par le respect des mesures

préventives et probablement par une meilleure connaissance de la maladie. Les ménagères avaient une prévalence de 31,3% à l'antigène HBs et étaient les plus représentées dans une étude conduite par Katilé et *al.* Au Mali (Katéilé et *al.*, 2018). Le niveau supérieur était majoritaire avec 83,4% suivie du niveau secondaire avec 11,2%. Cela s'expliquerait par le fait que le niveau supérieur était le plus représenté dans l'étude. Dans une étude menée par (Zohoncon et *al.*, 2023) chez des patients infectés le niveau supérieur était le plus représenté avec 34,2%. Cents soixante-cinq ne savaient pas ce que c'est que l'hépatite B (72,26%) et 297 (81,3%) ne connaissent pas les moyens de prévention (74,3%) ni les facteurs de risques. En Tunisie Plus des deux tiers des étudiants savaient que le VHB peut se transmettre par voie sanguine et par voie sexuelle (Asmae Leksif et *al.*, 2024) et il a noté que Le niveau de connaissance sur les hépatites était significativement associé au niveau d'études, l'affiliation à la faculté de médecine, et au statut socio-économique. Taux de participation à cette enquête était de 76% avec une prédominance masculine 50,68%). Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que la totalité des enquêtés chez (BAWE et *al.*2021) était représentée par le personnel soignant.

Conclusion

Les résultats suggèrent qu'une amélioration des connaissances sur les hépatites est nécessaires, ceci par le canal des campagnes de sensibilisation d'information et d'éducation, afin de lutter contre cette maladie qui est un véritable problème de santé publique surtout dans notre pays à ressources limitées.

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. Nom de l'institution à l'origine de l'étude : INSTITUT PASTEUR DE BANGUI.

Remerciements : Nous remercions toute l'équipe de l'institut pasteur de Bangui pour leur collaboration et professionnalisme.

Déclaration relative aux participants humains : Cette étude a été approuvée par le décanat de la faculté des sciences de la santé de l'Université de Bangui, République Centrafricaine représenté par le vice Doyen, [Professeur [MBELESSO], agissant au nom du comité d'éthique, et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. ATY, et al. Prevalence of HBsAg and Antibodies to Hepatitis C Virus among Female Sex Workers in Bangui. *Open J Gastroenterol*. 2020; 10(06):144-50.
2. Dwiartama A, Nirbayati WF, Giri-Rachman EA, Niloperbowo W, Tan MI, Anin A. Knowledge, Attitude, and Practice towards Hepatitis B Infection Prevention and Screening among Indonesians. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Jan;19(8):4644. doi: 10.3390/ijerph19084644. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
3. Bawe, F Agbéko , A Kotosso, KD Némi, B Abalto, AR Moukaïlaet. Al : Connaissances, attitudes et pratiques du personnel soignant sur l'hépatite virale B au Centre Hospitalier Régional Lomé Commune en 2018.revue malienne d'infectiologie et de microbiologie.Vol. 20 No. 1 (2025)
4. DIENG N. ENDA Santé. 2023 [cité 9 févr 2024]. Journée mondiale de lutte contre l'hépatite. Disponible sur: <https://www.enda-sante.org/journee-mondiale-de-lutte-contre-lhepatite/>
5. Christian Maucier Palatka, Christian Diamant Mossoro-Kpindé, Saint-Calvaire Henri Diemer, Geoffroy Ndakouzou Kongo, Régina Edwige Lenguetama Kodia, Hyacinthe Nguida, Jean de Dieu Longo : Annales Africaines de Médecine Article original e4810 Ann. Afr. Med., vol. 15, n° 4, Septembre 2022 Prévalence de l'hépatite virale B chronique à Bangui et Bimbo en République Centrafricaine : cas des donneurs bénévoles réguliers non éligibles pour les dons de sang.
6. Komas NP, Baï-Sepou S, Manirakiza A, Léal J, Béré A, Le Faou A. The prevalence of hepatitis B virus markers in a cohort of students in Bangui, Central African Republic. *BMC Infect Dis*. 2010;10:226.
7. Katilé D, Konate I, Goita D, Kaboré M, Dicko MY, Mallé O, et al. Prévalence de l'Antigène Hbs et Profil Sérologique du Virus de l'Hépatite B en Consultation de Médecine Générale à l'Hôpital Régional de Kayes au Mali. *Health Sci Dis*. 2018;19(4):16-8.
8. Smae Lekfif, Mariam Atassi, Anass Salah, Sara Rahhaoui, Sanae Sabbar Hanane et al : Étude des connaissances, pratiques et attitudes des étudiants de l'université de Mohammed Premier d'Oujda vis-à-vis les hépatites virales au Maroc. *Tunisie Med*. 2024 Nov 5;102(11):850–857. [Article in French] doi: [10.62438/tunismed.v102i11.5165](https://doi.org/10.62438/tunismed.v102i11.5165)
9. Menecier DD. Épidémiologie de l'hépatite B < monhepatogastro [Internet]. monhepatogastro. 2022 [cité 19 févr 2024]. Disponible sur: <https://monhepatogastro.net/epidemiologie-de-lhepatite-b/>
10. Police SMC, Boua-Akélélo NP, Service G, Mofini E, Elowa B, Kalebanga, Villeret, F. Zoulim : De nouvelles cibles thérapeutiques

- pour la guérison de l'hépatite chronique B New therapeutic targets for a chronic hepatitis B cure. Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine Volume 204, Issue 8, October 2020, Pages 890-89
11. World Health Organization - Regional Office for the Eastern Mediterranean. Journée mondiale contre l'hépatite 2022. 2022 <https://www.emro.who.int/fr/world-hepatitis-day/2022/index.html>
 12. Pamatika CM, Mossoro-Kpindé CD, Dieme ACH, Kongo GN, Kongo GN, Kodja REL, et al. Prevalence of chronic viral hepatitis B in Bangui and Bimbo in the Central African Republic: cases of regular voluntary donors not eligible for blood donations. Ann Afr Med. 2022;15(4):e4810-7.
 13. Zohoncon TM, Ilboudo DP, Dahourou L, Da TRCI, Zongo L, Simpore J. Clinical and Paraclinical Profiling of Patients with Viral Hepatitis B and C Attending Saint Camille Hospital in Ouagadougou (HOSCO). J Biosci Med. 2023;11(10):225-40.

Les décès liés aux traumatismes du trafic routier au Centre Hospitalier Universitaire Yalgado Ouédraogo

I. Ouedraogo

Centre Hospitalier Universitaire Régional de Ouahigouya, secteur 1
Ouahigouya, Burkina Faso

N.M. Dabire

Hôpital Saint Camille de Ouagadougou, secteur 23 Ouagadougou,
Burkina Faso

S. Tinto

A.S. Korsaga

Service de Traumatologie Orthopédie CHU Yalgado Ouédraogo,
Ouagadougou, Burkina Faso

A.J.I. Ouedraogo

Centre Hospitalier Universitaire de Tengandogo, Ouagadougou Burkina Faso

A. Ouangre

Centre Hospitalier Universitaire Régional de Ouahigouya, secteur 1
Ouahigouya, Burkina Faso

M. Sawadogo

Service de Traumatologie Orthopédie CHU Yalgado Ouédraogo,
Ouagadougou, Burkina Faso

M. Tall

Service d'Orthopédie-Traumatologie du Centre Hospitalier Universitaire de
Bogodogo

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p111](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p111)

Submitted: 05 July 2025

Accepted: 12 August 2025

Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Ouedraogo, I., Dabire, N.M., Tinto, S., Korsaga, A.S., Ouedraogo, A.J.I., Ouangre, A., Sawadogo, M. & Tall, M. (2025). *Les décès liés aux traumatismes du trafic routier au Centre Hospitalier Universitaire Yalgado Ouédraogo*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 111. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p111>

Résumé

Introduction : Les accidents de la route sont la première cause de mortalité chez les enfants et les jeunes âgés de cinq à 29 ans. Comparés à des fléaux tels que le VIH/SIDA, la tuberculose et les maladies diarrhéiques

réunies, les accidents de la route font plus de victimes surtout dans les pays à faibles revenus. L'objectif de cette étude est de faire le point sur l'épidémiologie des décès liés aux traumatismes du trafic routier en milieu hospitalier. L'objectif de cette étude était de décrire les aspects épidémiologiques, sociodémographiques et lésionnels des décès liés aux traumatismes du trafic routier dans un hôpital de référence du Burkina.

Matériels et méthodes : Il s'est agi d'une étude descriptive à collecte de données rétrospective couvrant la période du 1er janvier 2022 au 31 décembre 2024. Elle portait sur les décès liés aux traumatismes du trafic routier dans le Service d'Orthopédie-Traumatologie du Centre Hospitalier Universitaire Yalgado Ouédraogo.

Résultats : Du 1er janvier 2022 au 31 décembre 2024, le service d'orthopédie-traumatologie a enregistré 175 cas de décès hospitaliers parmi les 10235 admissions pour traumatismes du trafic routier soit un taux de létalité de 1,7%. Cent soixante-Douze (172) cas répondaient à nos critères d'inclusion. La série comportait 145 hommes et 27 femmes. L'âge moyen des décédés était de 41,5ans avec des extrêmes de 5 et 85 ans. Les patients décédés suite aux traumatismes du trafic routier survenus le samedi représentaient 25,6 % de la série (n=44) et le dimanche 22,7 % (n=39) soit 48,3 % au cours du weekend. La tranche horaire de 18h à 24h enregistrait 50,6 % des cas (n = 87) d'accident mortels. Les victimes étaient des motocyclistes dans 79,1% des cas. Les collisions entre motocyclistes et automobilistes étaient responsables de 50,58% des décès. Les salariés du public et du privé représentaient 32,6% de la série. Le délai moyen d'admission était de 4,7h $\pm$ 8,85. Les victimes décédées présentaient un traumatisme crânien dans 78,5 % des cas (n = 135). Dans 98,5% des cas, les victimes motocyclistes n'étaient pas munis de casque au moment de l'accident. Le décès est survenu au cours de l'hospitalisation dans 71,5% des cas tandis que 31 patients (18%) sont arrivés déjà décédés et 18 patients sont décédés à l'arrivée (10,5%). La durée moyenne d'hospitalisation des patients arrivés vivants (n = 141) était de 25,2 heures avec des extrêmes de 12 minutes et de 17 jours. Les 141 patients arrivés vivants ont reçu tous un traitement médical, 115 ont reçu en plus un traitement orthopédique et 113 un traitement chirurgical, soit 65,31% de cas de décès post-opératoires.

Conclusion : Bien que les accidents de la route représentent une cause importante de morbidité et de mortalité, les données spécifiques sur les décès qu'ils provoquent demeurent peu documentées dans notre contexte. Notre étude révèle une forte mortalité hospitalière liée aux traumatismes du trafic routier au Burkina Faso, touchant majoritairement les jeunes hommes en occurrence les motocyclistes ne portant pas de casque. Les lésions sont multiformes mais le tableau clinique est presque toujours celui d'un polytraumatisme. La présente étude souligne l'urgence de renforcer les mesures de sécurité routière, en particulier le port du casque, et d'améliorer la

prise en charge des cas graves. Ces résultats appellent à mettre en place des politiques de prévention ciblées et de systèmes de secours plus efficaces.

Mots-clés: Décès, traumatismes, trafic routier, épidémiologie

Deaths Linked to Road Traffic Injuries at the Yalgado Ouédraogo University Hospital Center

I. Ouedraogo

Centre Hospitalier Universitaire Régional de Ouahigouya, secteur 1
Ouahigouya, Burkina Faso

N.M. Dabire

Hôpital Saint Camille de Ouagadougou, secteur 23 Ouagadougou,
Burkina Faso

S. Tinto

A.S. Korsaga

Service de Traumatologie Orthopédie CHU Yalgado Ouédraogo,
Ouagadougou, Burkina Faso

A.J.I. Ouedraogo

Centre Hospitalier Universitaire de Tengandogo, Ouagadougou Burkina Faso

A. Ouangre

Centre Hospitalier Universitaire Régional de Ouahigouya, secteur 1
Ouahigouya, Burkina Faso

M. Sawadogo

Service de Traumatologie Orthopédie CHU Yalgado Ouédraogo,
Ouagadougou, Burkina Faso

M. Tall

Service d'Orthopédie-Traumatologie du Centre Hospitalier Universitaire de
Bogodogo

Abstract

Introduction: Road accidents are the leading cause of death among children and young people aged between five and 29. Compared with scourges such as HIV/AIDS, tuberculosis, and diarrhoeal diseases combined, road traffic injuries claim more victims, especially in low-income countries. The aim of this study was to review the epidemiology of road traffic injury-related deaths in hospitals. The aim of this study was to describe the epidemiological, sociodemographic and lesion-related aspects of deaths related to road traffic injuries in a referral hospital in Burkina Faso. **Materials and Methods:** This was a descriptive study with retrospective data collection covering the period from 1 January 2022 to 31 December 2024. It focused on deaths related to

road traffic injuries in the Orthopaedics-Traumatology Department of the Yalgado Ouédraogo University Hospital. **Results:** From 1 January 2022 to 31 December 2024, the orthopaedics-traumatology department recorded 175 cases of in-hospital death among the 10,235 admissions for road traffic injuries, representing a case-fatality rate of 1.7%. One hundred and seventy-two (172) cases met our inclusion criteria. The series comprised 145 men and 27 women. The mean age of the deceased was 41.5 years, with extremes of 5 and 85 years. Patients who died as a result of road traffic injuries on Saturdays accounted for 25.6% of the series (n=44) and on Sundays 22.7% (n=39), i.e. 48.3% during the weekend. The 6pm to midnight period accounted for 50.6% of fatal accidents (n=87). Motorcyclists were the victims in 79.1% of cases. Collisions between motorcyclists and car drivers accounted for 50.58% of fatalities. Public and private sector employees accounted for 32.6% of the series. The average admission time was 4.7 ± 8.85 hours. The victims who died suffered head injuries in 78.5% of cases (n = 135). In 98.5% of cases, the motorcyclist victims were not wearing a helmet at the time of the accident. Death occurred during hospitalisation in 71.5% of cases, while 31 patients (18%) arrived already dead and 18 patients died on arrival (10.5%). The average length of hospitalisation for patients who arrived alive (n = 141) was 25.2 hours, with extremes of 12 minutes and 17 days. All 141 patients who arrived alive received medical treatment, 115 also received orthopaedic treatment, and 113 received surgical treatment, representing 65.31% of cases of post-operative death. **Conclusion:** Although road accidents are a major cause of morbidity and mortality, specific data on the deaths they cause remain poorly documented in our context. Our study reveals a high in-hospital mortality rate from road traffic injuries in Burkina Faso, mainly affecting young men, in this case, motorcyclists not wearing helmets. The injuries are multifaceted, but the clinical picture is almost always that of a polytrauma. This study highlights the urgent need to reinforce road safety measures, in particular the wearing of helmets, and to improve the management of serious cases. These results call for targeted prevention policies and more effective emergency systems.

Keywords: Death, trauma, road traffic, epidemiology

Introduction

Un accident de la circulation routière (ACR) est une collision non désirée, non prévue et mal anticipée, qui a lieu sur le réseau routier entre un engin roulant (notamment automobile, moto, vélo) d'une part et toute autre chose ou personne fixe ou mobile d'autre part qui engendre des blessures humaines et/ou des dégâts matériels (Goswami A. 2009) Selon le dernier rapport de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) en 2023, ces accidents

causent environ 50 millions de blessés et 1,19 million de décès par an, soit plus de 3 200 décès par jour et plus de deux décès par minute, surpassant ainsi les décès annuels dus au paludisme, estimés à moins de 600 000 (WHO 2023). Les accidents de la route demeurent ainsi la première cause de mortalité chez les enfants et les jeunes âgés de cinq à 29 ans (WHO 2023)

Dans son poème « Autogeddon », William Heathcote compare la situation actuelle à « une troisième guerre mondiale que personne n'a pris la peine de déclarer » (Williams ID 2023). Comparés à des fléaux tels que le VIH/SIDA, la tuberculose et les maladies diarrhéiques réunies, les accidents de la route font plus de victimes (GBD 2013). Les pays à revenu faible ou intermédiaire concentrent 90 % de la mortalité due aux accidents de la circulation, bien qu'ils ne détiennent qu'un pour cent de l'ensemble des véhicules à moteur. Le risque de décès y est trois fois plus élevé que dans les pays à revenu élevé. L'Afrique présente les taux les plus alarmants, avec une moyenne de 27,5 décès pour 100 000 habitants, soit plus de trois fois le taux observé dans les pays développés (WHO 2023). Les routes des pays les moins développés, plus particulièrement en Afrique de l'Ouest, sont les plus meurtrières (Bonnet E 2015). En 2022, au Mali, l'Agence Nationale de la Sécurité Routière (ANASER) a recensé 8 189 accidents, causant la mort de 684 personnes (Haidara A 2024). Le Burkina a enregistré 81 960 accidents de la circulation entre 2021 et 2023, entraînant 3 328 décès, soit une moyenne annuelle de 1 109 décès (Nikiema A 2025).

A notre connaissance, aucune étude n'a spécifiquement porté sur les décès aux CHUYO. C'est la raison pour laquelle nous avons jugé pertinent de centrer notre travail sur les décès liés aux ACR en milieu hospitalier, afin d'en apprécier la fréquence, les facteurs associés et les lésions causales

Matériels et Méthode

Il s'agissait d'une étude transversale, descriptive avec collecte de données rétrospective menée au centre hospitalier Universitaire Yalgado OUEDRAOGO et couvrant la période de Janvier 2022 à Décembre 2024 (3 ans).

Elle portait sur les patients des deux sexes et de tout âge dont le décès a été constatée au Service d'Orthopédie-Traumatologie du CHUYO. Seuls les patients. Les différentes données ont été recueillies à partir des dossiers cliniques des patients, des registres d'admission aux urgences et au moyen d'une fiche de collecte conçue à cet effet.

Les variables étudiées étaient : l'âge, le sexe, la provenance, la profession du patient, le moyen de transport, le port de casque, la date et l'heure de l'accident, le type d'accident, le port du casque, le délai de consultation, la topographie des lésions, la nature des lésions, le score de Glasgow à l'entrée, les examens complémentaires (radiographie,

tomodensitométrie, échographie), le délai entre l'accident et le décès (durée d'hospitalisation), le type de traitement (chirurgical ou non) reçu avant le décès.

En cas de traumatisme crânien, l'état de conscience était évalué à l'aide du score de Glasgow (tableau I). Ce score, qui va de 3 à 15, permet de distinguer les traumatismes crâniens légers lorsque le score est compris entre 13 et 15, modérés pour un score de 9 à 12, et graves lorsque le score est inférieur ou égal à 8. Il constitue également un indicateur pronostique : la mortalité est inférieure à 1 % dans les formes légères, estimée entre 10 et 15 % dans les formes modérées, et peut atteindre entre 20 et 80 % dans les traumatismes graves.

L'équipe est composée d'un professeur titulaire, de deux maîtres de conférences agrégés, de quatre chirurgiens orthopédistes. Ces chirurgiens sont assistés aux urgences par douze infirmiers et onze garçons et filles de salle ; au bloc opératoire par vingt attachés de santé aide-opérateurs, vingt infirmiers anesthésistes attachés de santé, et treize garçons et filles de salle. Le personnel du Service d'hospitalisation est composé 10 infirmiers et trois garçons et filles de salle

Tableau I : Score de Glasgow [8]

Score	Réponse oculaire	Réponse verbale	Réponse motrice
6			Normale
5		Normale	Orientée à la douleur
4	Yeux spontanément ouverts	Confuse	Evitement à la douleur
3	Ouverture à la demande	Incohérente	Décortication
2	Ouverture à la douleur	Incompréhensible	Décérébration
1	Pas d'ouverture des yeux	Pas de réponse	Pas de mouvement

Analyse statistique

Les données recueillies ont été dépouillées manuellement, saisies sur un micro-ordinateur puis analysées avec le logiciel Epi info version 7.2.1.0 dans sa version française. Les graphiques ont été réalisés avec le logiciel Microsoft Excel 2016 et le texte saisi sur Microsoft Word 2016.

Méthode statistique

L'échantillon a été décrit grâce aux statistiques descriptives usuelles. Les proportions ont été utilisées pour les variables qualitatives. Les variables quantitatives ont été résumées par la moyenne et l'écart type lorsque la distribution était normale, et par la médiane suivie du minimum et du maximum pour les distributions asymétriques

Considérations éthiques

Cette étude a été conduite en respectant le protocole de bonnes pratiques cliniques et les principes de la déclaration d'Helsinki. L'anonymat

des fiches de collectes et la confidentialité des informations ont été respectés. En effet, ni le nom, ni le prénom permettant d'identifier les patient(e)s ne figurait sur la fiche de collecte. Le caractère secret de toutes les informations recueillies a été préservé. Nous avons eu l'autorisation écrite de la direction générale de l'hôpital pour la collecte et le traitement des données

Résultats :

Aspects sociodémographiques :

Du 1er janvier 2022 au 31 décembre 2024, le service d'orthopédie-traumatologie a enregistré 175 cas de décès hospitaliers parmi les 10235 admissions pour traumatismes du trafic routier soit un taux de létalité de 1,7%. Cent-soixante-douze cas de décès répondaient à nos critères d'inclusion. Vingt-sept d'entre eux étaient de sexe féminin (15,7 %), et 145 de sexe masculin (84,3%), soit un sex-ratio de 5,4. La moyenne d'âge était de 41,5ans avec des extrêmes de 5 ans et de 85 ans. Les décédés de la tranche d'âge de 25 à 35 ans représentaient 25,6 % des cas (Tableau II). Les salariés du public et du privé représentaient 32,6% des cas (n= 56), les commerçants 20,9% des cas (n=36) et les élèves et étudiants 11,1% des cas (n=19). Les patients résidant à Ouagadougou représentaient 78,4 % des décès (n = 135). Dans 9% et 3% de cas, il s'agissait de référence respectivement d'autres villes et des campagnes. L'année 2023 a enregistré 37,8% des décès et les années 2022 et 2024 ont enregistré respectivement 34,9 et 27,3% des cas.

Tableau II : Répartition des victimes selon la tranche d'âge (n=172)

Tranches d'âge de 10 ans	Effectif	Fréquence (%)
[5-15[	2	1,1
[15-25[	22	12,8
[25-35[	44	25,6
[35-45[	32	18,6
[45-55[	30	17,4
[55-65[	22	12,8
[65-75[	19	11
[75-85[	1	0,7
Total	172	100

Répartition selon la période de survenue de l'accident causal

Les mois de mars et de février ont enregistré respectivement 12,2 % (n = 21) et 10,5 % (n = 18) des décès liés aux traumatismes du trafic routier (figure 1).

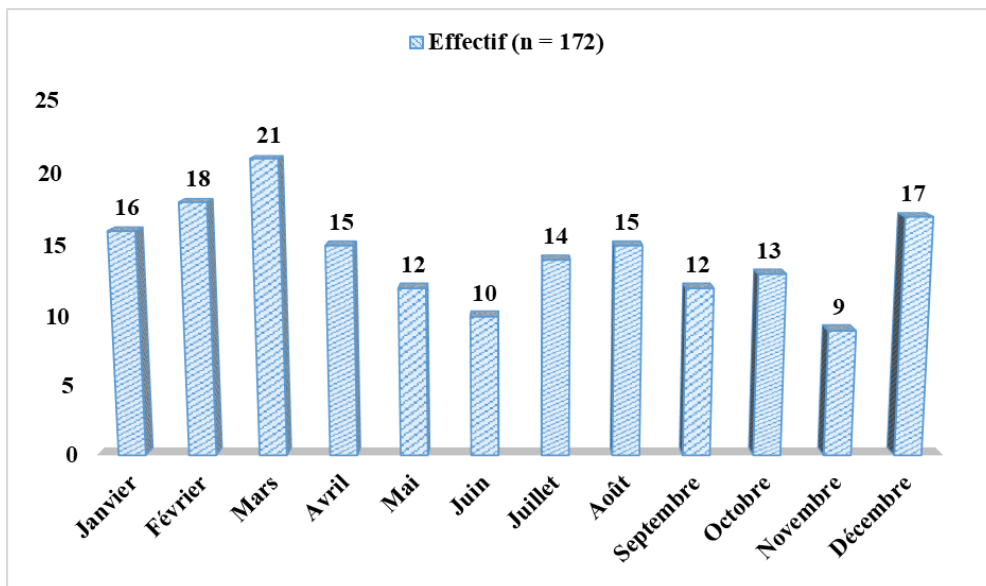


Figure 1: Répartition des décès par ACR selon le mois (n=172)

Les patients décédés suite aux traumatismes du trafic routier survenus le samedi représentaient 25,6 % de la série (n=44) et le dimanche 22,7 % (n=39) soit 48,3 % au cours du weekend (tableau III).

Tableau III : Répartition des décès selon le jour de la semaine (n = 172)

Jour du traumatisme	Effectif	Fréquence (%)
Samedi	44	25,6
Dimanche	39	22,7
Vendredi	22	12,8
Jeudi	21	12,2
Mercredi	17	9,9
Mardi	15	8,7
Lundi	14	8,1
Total	172	100

Répartition selon la tranche horaire

La tranche horaire de 18h à 24h représente 50,6 % des cas (n = 87) (figure 2). Rapporté aux jours de survenue, Les ACR mortels sont survenus les samedis et dimanche entre 18h et 24h dans 52,8% des cas.

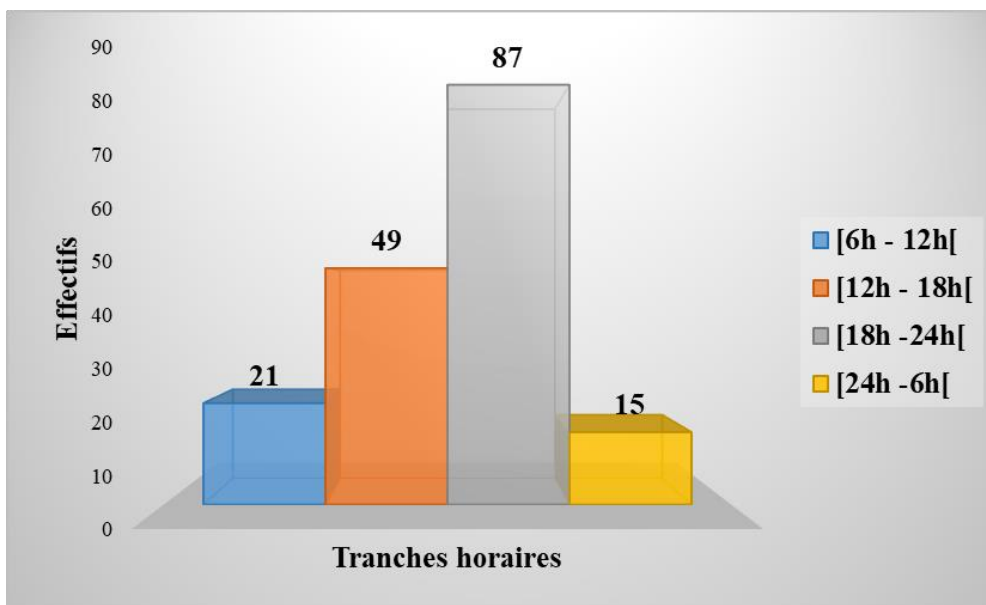


Figure 2 : Répartition des décès selon la tranche horaire de survenue des accidents (n = 172)

Aspects lésionnels

Les motocyclistes et les piétons représentaient respectivement 79 % (n = 136) et 11,6 % (n = 20) des décès suites aux traumatismes du trafic routier (tableau IV).

Tableau IV : Répartition des décès selon le moyen de locomotion (n=172)

Type d'utilisateur	Effectif	Fréquence (%)
Moto	136	79,1
Piéton	20	11,6
Vélo	10	5,8
Voiture	4	2,3
Camion	1	0,6
Tricycle	1	0,6
Total	172	100

Les décès étaient dus aux collisions entre motocyclistes et automobilistes et entre deux motocyclistes dans respectivement 50,6 % (n = 87) et 15,7 % (n = 27) des cas (tableau V).

Tableau V : Répartition des décès selon le type de collision (n = 172)

Type de collision	Effectif	Fréquence (%)
moto-auto	87	50,6
moto-moto	27	15,7
moto-obstacle	14	8,1
moto-piéton	10	5,8
auto-piéton	9	5,1
moto-tricycle	7	4,1
moto-vélo	7	4,1

auto-vélo	6	3,5
auto-obstacle	2	1,2
auto-auto	1	0,6
auto-tricycle	1	0,6
tricycle-piéton	1	0,6
Total	172	100

Le délai d'admission moyen était de 4,7 heures, $\pm$ 8,85 heures avec des extrêmes d'une heure et 96 heures. Ce délai était compris entre trois et cinq heures dans 54,1 % des cas. Nous avons recensé 71,5 % (n = 123) de patients décédés au cours de l'hospitalisation, 31 cas (18%) d'arrivés décédés et 18 cas de patients décédés à l'arrivée (10,5%). Tous les patients arrivés vivants à l'hôpital (n=141) sont entrés dans un tableau de polytraumatisme. La durée moyenne d'hospitalisation des patients arrivés vivants (n = 141) était de 25,2 heures avec des extrêmes de 12 minutes et de 17 jours. Les patients décédés sont arrivés avec une conscience normale dans 14,5 % des cas (n = 25). Le score de Glasgow moyen était de 8,9 avec un écart-type de 4,2 et des extrêmes de 3 et 15 (figure 3)

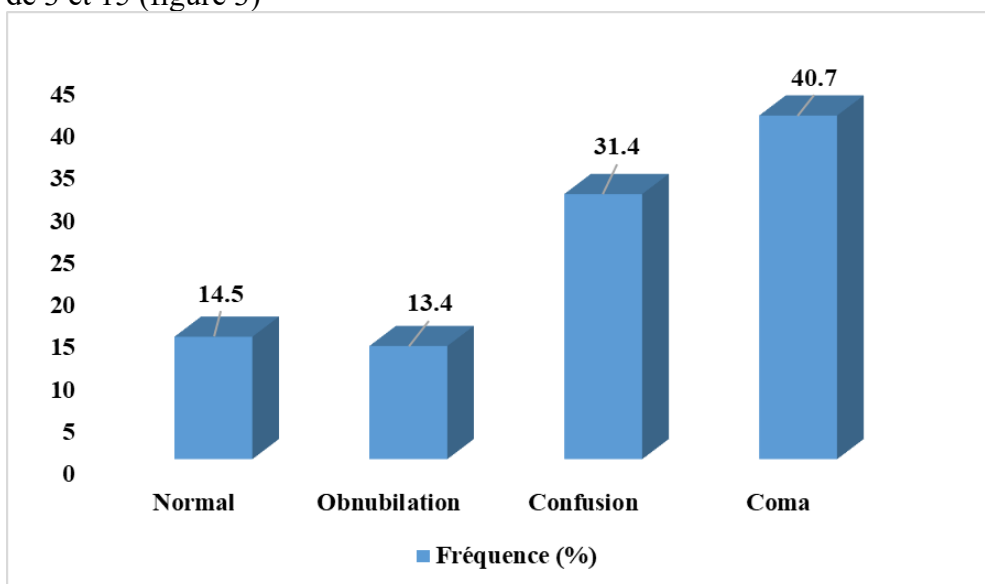


Figure 3 : Répartition des décès selon le score Glasgow à l'arrivée (n = 172)

Les traumatismes du membre pelvien et du thorax représentaient respectivement 86,6 % et 80,8 % des cas (figure 4).

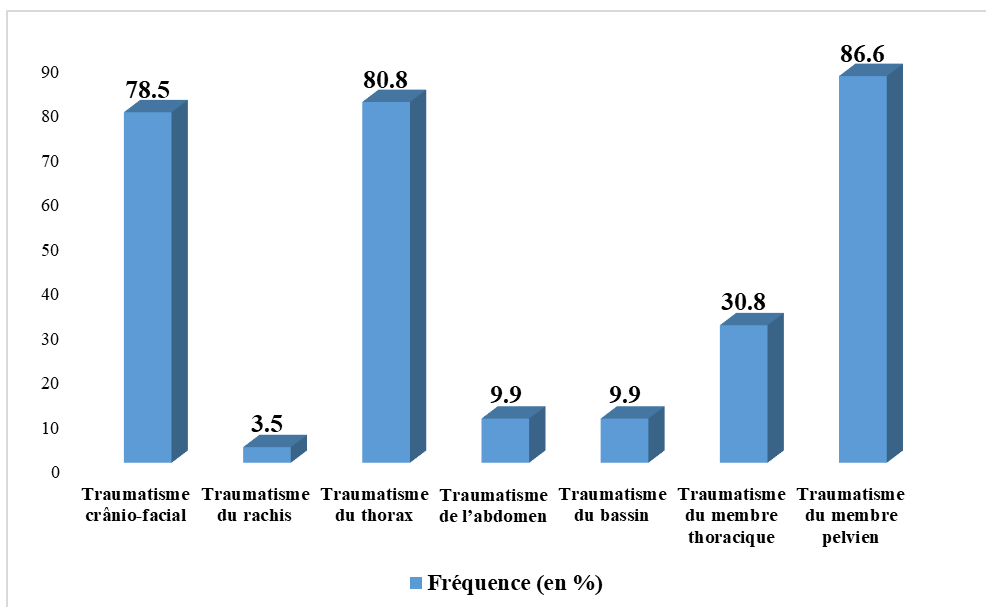


Figure 4 : Répartition des victimes selon le siège du traumatisme (n = 172)

Les victimes décédées présentaient un traumatisme crânien dans 78,5 % des cas (n = 135). Dans 51,2 % des cas (n = 88), les lésions retrouvées chez les traumatisés crâniens décédés étaient des plaies (tableau VI).

Tableau VI : Répartition des traumatisés crâniens décédés selon le type de lésions (n = 135)

Type de traumatisme crânien	Effectif	Fréquence (%)
Plaies	88	51,2
hématome intra-crânien	63	36,6
fracture des os de la face	21	12,2
Contusion	15	8,7
fracture des os du crâne	13	7,6
hématome sous-cutané	12	7
Embarrures	3	1,7

Cent trente-neuf patients décédés avaient des traumatismes thoraciques dont 33 ont pu réaliser un bilan paraclinique pour déterminer le type de lésions. Dans 14,5 % des cas (n = 25), les lésions retrouvées étaient des fractures de côtes.

Des traumatismes du rachis ont été recensés dans six cas. Il s'agissait de traumatisme du rachis cervical dans cinq cas et du rachis lombaire dans un cas. Un traumatisme abdominal a été retrouvé dans 17 cas. Sur les 17 cas observés, 13 correspondaient à des contusions abdominales contre quatre cas de plaies. Un traumatisme du bassin a été retrouvé dans 17 cas. Les lésions résultantes sont des ruptures de l'anneau pelvien dans 13 cas.

Les lésions rachidiennes étaient des fractures dans quatre cas et des luxations dans deux cas, des fractures parcellaires du bassin dans 3 cas de des

fractures du coccyx dans 1 cas. Dans 30,8 % des cas (n = 53), les patients décédés présentaient des traumatismes du membre thoracique dont l'avant-bras dans 13,4 % des cas (n = 23). (Tableau VII)

Tableau VII : Répartition des victimes selon le segment du membre thoracique atteint (n = 53)

Segment du traumatisme	Effectif	Fréquence (%)
Avant-bras	23	13,4
Bras	17	9,9
Main	7	4,1
Poignet	7	4,1
Coude	7	4,1
Epaule	4	2,3

Les traumatismes du membre pelvien étaient retrouvés chez 86,6 % (n = 149) des victimes et concernaient la cuisse dans 52,3 % des cas (n = 78) et la jambe dans 47,7% des cas (figure 4).

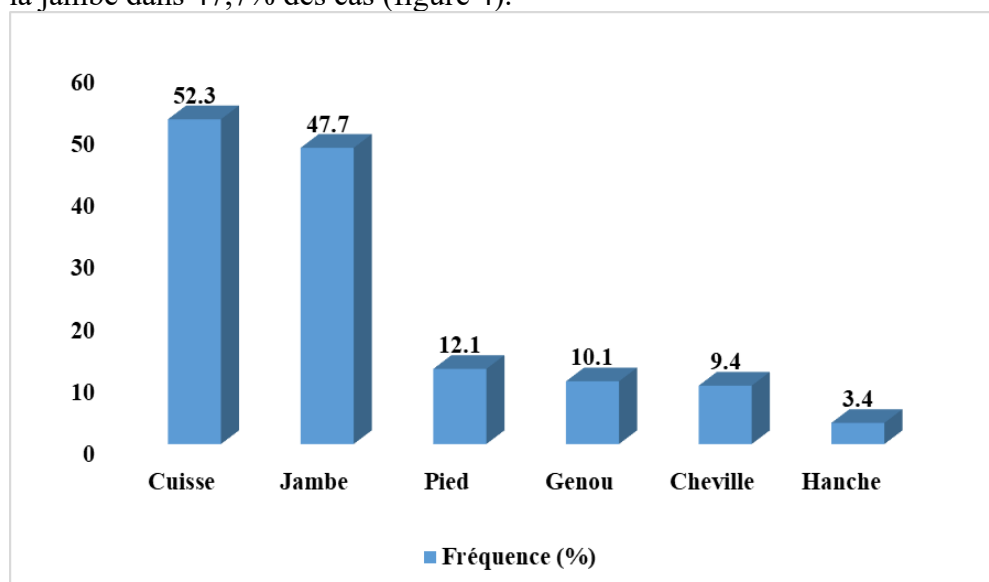


Figure 4 : Répartition des victimes selon le segment du membre pelvien atteint (n=149)

Les bilans paracliniques réalisés étaient constitués de la radiographie standard dans 93 cas, la tomodensitométrie dans 59 cas et l'échographie dans 3 cas. Les 141 patients arrivés vivants ont reçu tous un traitement médical, 115 ont reçu en plus un traitement orthopédique et 113 un traitement chirurgical, soit 65,31% de cas de décès post-opératoires

Discussion

Le taux de mortalité des ACR est sensiblement uniforme pour les grandes villes africaines, bien que des écarts parfois importants peuvent être observés selon la période et la population d'étude, ainsi que les critères

d'inclusion des séries (Aboubacar S 2020, Tékpá BJ 2019). Les pays à revenu faible ou intermédiaire concentrent 90 % de la mortalité due aux accidents de la circulation, bien qu'ils ne détiennent qu'un pour cent de l'ensemble des véhicules à moteur. Les raisons peuvent être la violence des chocs et le faible équipement des hôpitaux notamment l'absence de trauma center.

Les caractéristiques sociodémographiques de notre échantillon concordent avec celles des précédentes séries. La prédominance de sujets jeunes (Onyemaechi NO 2020, Mogaka EO 2011, Zafar SN 2018), fait tout le caractère alarmant du phénomène qui décime une jeunesse autant chère à nos pays. Les sujets de sexe masculin semblent adopter plus de comportements à risque d'accidents mortels justifiant une prédominance masculine dans grand nombre de séries (Sadeghian F 2023, Sisimwo PK 2014, Onyemaechi NO 2020) Les sujets jeunes surtout de sexe masculin devront alors constituer la cible de choix de toute politique de prévention des décès liés aux accidents de la route. S'agissant des données temporelles, les weekends concentrent à eux seuls plus de la moitié des accidents mortels. D'autres séries (Onyemaechi NO 2020, Mphekgwana PM 2022, Renzi F 2022) corroborent ce constat soulignant l'intensification du volume du trafic routier et des embouteillages liés aux déplacements fréquents observés en fin de semaine en lien avec les activités récréatives ou sociales, lesquelles favorisent également la consommation d'alcool durant leur déroulement. La tranche horaire de 18h et 24h concentrent plus de la moitié des accidents responsables de décès. Cette tranche horaire, correspondant aux fins de journées, est caractérisée par un trafic intense, une visibilité réduite et une fatigue accumulée chez les usagers, et représente une période à haut risque pour de survenue d'accidents graves ou mortels d'où la nécessité de renforcer la régulation de la circulation par une forte présence policière aux heures de descente et les weekends. Nombre d'études (Dedewanou L 2019, Schlottmann F 2017) à l'instar du notre, rappellent que la motocyclette est le moyen de transport le plus dangereux en circulation. Bien que la collision ait lieu fréquemment avec des automobilistes (Sisimwo PK 2014, Osifo OD 2012), les motocyclistes restent les moins nantis en matière de maîtrise du code de la route dans notre contexte où aucun permis n'est exigé pour la conduite. Pourtant la motocyclette constitue le principal moyen de transport dans de nombreux pays à revenu faible ou intermédiaire et par la vulnérabilité accrue des motocyclistes, souvent exposés sans protection adéquate aux risques de collision. Par ailleurs, les collisions entre une moto et une automobile semblent particulièrement meurtrières, probablement en raison de la violence de l'impact, liée à la différence de masse et de puissance entre les deux moyens de déplacement. Le risque de décès est d'autant plus notable étant donné que ces motocyclistes sont rarement munis de casque en circulation (Osifo OD 2012).

Au plan lésionnel, quoique la totalité des patients arrivés vivants dans notre structure soit des cas de polytraumatisme avec association fréquente de lésions des membres, les lésions cranio-encéphaliques sont les plus en causes dans les décès liés aux traumatismes du trafic routier dans notre contexte. Plusieurs études rapportent le même constat

Conclusion

Les traumatismes liés au trafic routier constituent un fléau sanitaire majeur au Burkina Faso, à l'instar de nombreux pays à revenu faible ou intermédiaire. Ils représentent une cause importante de morbidité et de mortalité. Les données spécifiques sur les décès liés à ces accidents demeurent peu documentées dans notre contexte. Nos résultats révèlent également une fréquence accrue des accidents durant les weekends, principalement en soirée, et identifient les collisions moto-automobile comme les plus meurtrières pour les motocyclistes. Le contexte du décès est classiquement le tableau clinique de polytraumatisme. Un constat alarmant est le non-port quasi systématique du casque chez les motocyclistes décédés, soulignant une lacune majeure en matière de sécurité routière.

Ces constats rappellent la nécessité de renforcer les stratégies nationales de prévention et appellent à des campagnes de sensibilisation sur les comportements à risque, à un renforcement de l'application des réglementations en vigueur, notamment le port obligatoire du casque, et à l'amélioration des infrastructures routières. Notre travail vise à constituer une base solide pour des études plus approfondies afin de mieux contenir cette "guerre silencieuse" qui continue de décimer notre jeunesse sur les routes, tout en s'inscrivant dans la dynamique des objectifs des Nations Unies visant à réduire de moitié le nombre de décès routiers d'ici 2030.

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.

Declaration pour les participants humains : Cette étude a été approuvée par la direction de l'hôpital Yalgado et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été suivis.

References:

1. Goswami A, Sonowal R. A statistical analysis of road traffic accidents in Dibrugarh city, Assam, India. Division of Epidemiology and Nutrition, Regional Medical Research Centre (Indian Council of Medical Research), North-East Region, Dibrugarh, Assam, India; 2009
2. World Health Organization (WHO). Global Status Report on Road Safety 2023. 1st ed. Geneva: World Health Organization; 2023. 100 p.
3. Williams ID, Blyth M. Autogeddon or autoheaven: Environmental and social effects of the automotive industry from launch to present. *Sci Total Environ.* 1 févr 2023;858(Pt 3):159987.
4. GBD 2013 Mortality and Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national age-sex specific all-cause and cause-specific mortality for 240 causes of death, 1990-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet.* 10 janv 2015;385(9963):117-71.
5. Bonnet E, Ridde V, Ouattara F. C'est sur les routes des pays les plus pauvres qu'on meurt le plus. Montréal : Les Presses de l'Université de Montréal. 2015.
6. Haidara A, Doumbia B. Utilisation du CODE X pour Anticiper les Accidents de la Route au Mali. *MSAS Editions.* 2024;2:229-35.
7. Nikiema A, Sigué O, Christophe Y. La sécurité routière au Burkina Faso : regards croisés. Presses Universitaires; 2025.
8. François V, Pierre-Hugues R. Collège de neurochirurgie. 3ème édition. 65, rue Camille-Desmoulins, 92442 Issy-les-Moulineaux cedex, France: Elsevier Masson SAS; 2022. 372 p.
9. Aboubacar Sidiki Sangaré, Mathias Diassana, Cheik Tidiani Mamoudou Keita, Mamoudou Keita, Fatoumata Maiga, Ibrahima Djire, Salif Kone. Prise en charge des accidents de la circulation routière dans la région de Mopti au Mali, *Rev Chir orth*, vol 106 (4) 2020, p429-433
10. Tékpá BJ, Diemer HC, Mapouka PI, Ngatchopo VN, Gassima B, Nali MN. La mortalité au cours des accidents de la circulation routière à Bangui, République centrafricaine. *Médical Santé Trop.* 2017 ; 27 :427-30
11. Onyemaechi NO. Road traffic injuries in a Nigerian referral trauma center: Characteristics, correlates, and outcomes. *Int J Crit Illn Inj Sci.* 2020;10(2):64-9
12. Mogaka EO, Ng'ang'a Z, Oundo J, Omolo J, Luman E. Factors associated with severity of road traffic injuries, Thika, Kenya. *Pan Afr Med J.* 2011;8:20.

13. Zafar SN, Canner JK, Nagarajan N, Kushner AL, SOSAS4 Research Group. Road traffic injuries: Cross-sectional cluster randomized countrywide population data from 4 low-income countries. *Int J Surg.* avr 2018;52:237-42.
14. Sadeghian F, Mehri A, Ghodsi Z, Baigi V, Bardsiri MS, Sharif-Alhoseini M, et al. Road traffic injuries and associated mortality in the Islamic Republic of Iran. *East Mediterr Health J.* 1 nov 2023;29(10):796-803.
15. Sisimwo PK, Mwaniki PK, Bii C. Crash characteristics and injury patterns among commercial motorcycle users attending Kitale level IV district hospital, Kenya. *Pan Afr Med J.* 2014;19:296.
16. Mphekgwana PM. Influence of Environmental Factors on Injury Severity Using Ordered Logit Regression Model in Limpopo Province, South Africa. *J Environ Public Health*; 2022:5040435.
17. Renzi F, Reitano E, Franca D, Chiara O, Cimbanassi S. Trauma, alcohol and drugs misuse in car and motorcycle drivers: a prevalence study in a level one trauma center. *Updates Surg.* juin 2022;74(3):1129-36.
18. Dedewanou L, Yanogo PK. Profil épidémiologique et clinique des accidentés de la voie publique dans la commune de Porto-Novo au Bénin. *Science et technique.* 2019;42(2):87-97.
19. Schlottmann F, Tyson AF, Cairns BA, Varela C, Charles AG. Road traffic collisions in Malawi: Trends and patterns of mortality on scene. *Malawi Med J.* déc 2017;29(4):301-5.
20. Osifo OD, Osagie TO, Iribhogbe PE. Pediatric road traffic accident deaths presenting to a Nigerian referral center. *Prehosp Disaster Med.* avr 2012;27(2):136-41.

Examining Variations in Sensitivity of Cereal Crop Yield to Climate Change Variables across the Regions in Northern Ghana using Multilevel and Bayesian Multilevel Modeling

William Kofi Nkegbe

Alhassan Faisal

Abukari Alhassan

Department of Statistics,

University for Development Studies, Tamale, Ghana

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p127](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p127)

Submitted: 20 June 2025

Accepted: 14 August 2025

Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Nkegbe, W.K., Alhassan, F. & Alhassan, A. (2025). *Examining Variations in Sensitivity of Cereal Crop Yield to Climate Change Variables across the Regions in Northern Ghana using Multilevel and Bayesian Multilevel Modeling*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 127. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p127>

Abstract

The study applied both the multilevel and the Bayesian multilevel model approaches to investigate variations in the effects of climate variables on cereal crop yield in Northern Ghana with respect to the region of cultivation and year (time), and to compare the performance of the two models. Thirty-one years of data points on some climate variables and the annual yield of some selected cereal crops from the Meteorological Agency and the Ministry of Food and Agriculture of Ghana, respectively, were used. Results indicated significant variations in climate change impact across the regions and years of cultivation. Also, the study showed that the significant effect of humidity and sunshine ($p \leq 0.0001$ and $p = 0.0069$ respectively) on crop yield varies from one region to another, with humidity having the most variation. The study further revealed that the Bayesian Multilevel model performed better in its model scores and predictive ability. It concluded that there are variations in the impact of climate change on cereal crop yield in the regions in Northern Ghana and recommends that the climate characteristics of these regions should be taken into account in predicting future yield and adopting mitigation strategies.

Keywords: Bayesian, Multilevel, Statistics, Multilevel Regression, Climate Change, Northern Ghana

Introduction

Agriculture, energy, and forestry are sectors that the Ghanaian economy depends heavily on. These sectors are climate sensitive (EPA, 2021). Consequently, any climatic anomaly tends to impact the economy, especially the vulnerable populations. The insufficient utilization of irrigation resources and a heavy reliance on adverse climatic conditions for successful harvests lead to considerable fluctuations in the standard of living of individuals.

Ghana is at significant socioeconomic risk from climate change, particularly in the northern sector, which has sporadic drought and flooding and a lengthy dry season lasting around seven months, followed by a shorter rainy season lasting roughly five months (Arndt et al., 2015). In addition to being the most agricultural region of Ghana, the northern sector is a major source of sorghum and millet and makes significant contributions to the production of rice and maize (MoFA-IFPRI, 2020; USDA/IPAD, 2024). It has a high proportion of farmers who grow food crops for subsistence. Floods, late rains before planting season, and ongoing droughts during planting season are examples of climate instability (Ahiamadia et al., 2024; Dumenu & Obeng, 2016). In addition to its other commercial use in sectors like the poultry and brewing industries (Gage et al., 2012), cereals (maize, rice, sorghum, and millet) constitute the main source of staples in Northern Ghana in particular and the nation overall (Darfour & Rosentrater, 2016). Therefore, doing this study in Northern Ghana is justified.

Additionally, climate change is having a worsening impact on food crop production (Anang & Amikuzuno, 2015). It is even having an impact on the United Nations Sustainable Development Goal Two, which aims to eradicate all forms of hunger, achieve food security, enhance nutrition, and advance sustainable agriculture by 2030 (Hwang & Kim, 2017; UNOSD, 2020). Because of this, every effort to sustain food production to feed the nation's growing population and economy, especially in the northern part of the country, is essential.

The effects of climate change on livelihoods and adaptation methods of rural communities in Ghana have been evaluated by several researchers (McCarthy et al., 2021; Yaro, 2013). Nevertheless, research on the differences in the impact of climate factors on cereal crop yield in Northern Ghana's various regions is scant or nonexistent. Additionally, the research area is hierarchical and structured, and its cereal crop yield data is insufficient, which makes the Multilevel and Bayesian Multilevel approaches the most appropriate (Flor et al., 2020; Gelman et al., 2013; Smid et al., 2020). Furthermore, no research has been found on the use of these models to

comprehend the circumstances in these areas. Also, the effects of climate change on crop yield may vary depending on local climate conditions (Mohammadi et al., 2023). Moreover, climate impacts in Ghana are observed to differ by region (Asante et al., 2024). However, there is no known study, to the best of the researchers' knowledge, on whether this varying impact of climate change occurs in the three regions of Northern Ghana, and on the sensitivity of the yield of the selected cereal crops. It is therefore necessary to look into how the selected cereals vary in their sensitivity to the effect of these three northern regions' climate variables. This raises the question of whether climate-dependent cereal crop output is sensitive to the time and location of cultivation and whether the effects of these factors vary by region. Thus, the study aimed to address these problems by identifying potential differences in cereal crop yields by time (year) and cultivation region, as well as by evaluating the differences in their susceptibility to climate change variables among Northern Ghanaian regions.

The study would explore the application of Bayesian Multilevel Modeling and Multilevel Modeling techniques to the problem-solving process and to suggest which of the two models fits the model the best. It also contributes to the body of knowledge that guides mitigation strategies for the effects of climate change in the studied region.

Climate change refers to alterations in climate resulting from human activities that modify the composition of the global atmosphere, in addition to natural climate variability observed over similar timeframes (UNFCCC, 2011).

According to Amikuzuno and Donkoh (2012), Northern Ghana's poverty is attributed to its susceptibility to climate change and other unfavorable climatic conditions, such as the lengthy dry season, recurrent intermittent droughts, and floods during the planting season. Temperatures and evapotranspiration have increased, while precipitation has marginally decreased, with the delayed commencement of the rainy season (USDA/GAIN, 2023). Amikuzuno and Donkoh (2012) noted that the yields of specific staple crops are influenced by the total quantity of rainfall during the planting season.

Multilevel modeling extends regression models, enabling the analysis of data with clustered or hierarchical structures (Cubillos et al., 2021; Roback & Legler, 2021). Its primary advantage lies in the ability to aggregate information across clusters, thereby enhancing the accuracy of model parameter estimates (McElreath, 2020). Dessie et al. (2020) iterated that hierarchical multivariate assumptions can be effectively handled using a multivariate multilevel model, which is not feasible with univariate models. Multilevel modeling has been utilized across various research domains, including public health (Diez-roux, 2000), child characteristics and

developmental factors (Smith & Shively, 2019), cross-cultural studies (Nezlek, 2010), and management (Molina-azorín et al., 2019), as well as numerous other fields and methodological concerns (Bolin et al., 2019; González-Romá & Hernández, 2023; Lin et al., 2019; Yamana, 2021).

Cubillos et al. (2021) noted that the application of multilevel models is constrained when confronted with limited data, resulting in erroneous estimates. In such instances, Bayesian estimation is frequently advocated as a substitute for frequentist estimates to address this issue. Research shows that Bayesian estimation performs well with complex models, small sample sizes, or significant missing data, and provides a clearer interpretation than frequentist estimates (Cubillos et al., 2021; Hox, 2019). Bayesian data analysis has gained prominence across various disciplines and is often favored over the conventional frequentist methodology, particularly in scenarios involving small sample sizes is due to Bayesian estimation's independence from the asymptotic properties of the data, allowing for interpretation and validation regardless of sample size (Kaplan, 2014; Smid et al., 2020). The Bayesian methodology facilitates the incorporation of a priori information through prior distributions of model parameters, which are subsequently conditioned on the data, proving particularly advantageous when expert knowledge is accessible. Furthermore, the adaptability of a Bayesian model allows for the explicit quantification of the uncertainty associated with the outcome's modeling. This adaptability can accommodate diminished sample sizes and may even encompass intricate frameworks such as multilevel modeling (Cubillos et al., 2021; Kaplan, 2014). Cubillos et al. (2021) determined that Bayesian multilevel models surpassed other models in predictive accuracy, as indicated by the leave-one-out information criterion. They compared the Bayesian technique with its frequentist counterpart and concluded that the Bayesian approach exhibited greater conservatism in its coefficient estimate.

Additional domains in which research utilizing Bayesian Multilevel Modeling has been conducted encompass comparative journalism studies and the calibration of process-based maize phenology (Adesina, 2021; Chan & Rauchfleisch, 2023; Viswanathan et al., 2022).

Materials and Methods

Study Area

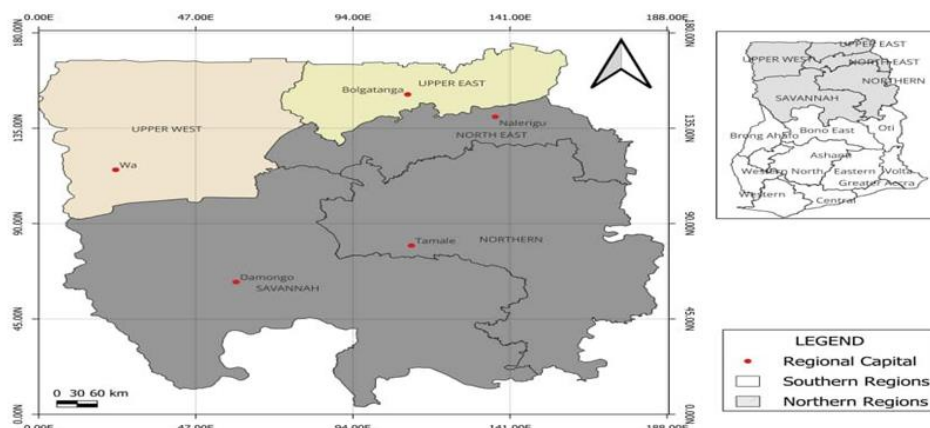


Figure 1. A Map of Northern Ghana (Insert: Map of Ghana)

Figure 1 shows the study area, which comprises Northern (Northern, Savanna, North East), Upper East, and Upper West regions, with the map of Ghana inserted. The area is one of the most agricultural parts of Ghana, with a high percentage of subsistence food crop farmers, covering about 36% of the nation's cereal (maize, rice, and sorghum) yield (MoFA, 2020). It is sensitive and vulnerable to climate change and unpredictable climatic variability, especially erratic rainfall.

Data Sources

The research utilized secondary data from state agencies responsible for its collection and management. Data on climate variables (rainfall, temperature, hours of sunshine, relative humidity, and wind speed) for Northern Ghana were obtained from seven weather stations (Bole, Salaga, Tamale, Wa, Yendi, Walewale, and Bawku) from 1992 to 2022, sourced from the Ghana Meteorological Agency (GMA). Annual cereal crop yield data were obtained from the Statistics, Research and Information Directorate (SRID) of Ghana's Ministry of Food and Agriculture (MoFA) for the period 1992 to 2022 in the research region.

Bayesian Data Modeling

Bayesian inference is the basis of the Bayesian perspective to data modeling. The Bayesian inference has its main characteristic as each parameter of a model is a random variable (Cubillos et al., 2021a; Gelman et al, 2013). This feature enables Bayesian models to comprehensively represent the inherent uncertainty in estimating a given parameter. In this case, Bayes'

theorem is used to model the probability of a parameter θ given a data set y as

$$p(\theta|y) = \frac{p(y|\theta)p(\theta)}{p(y)}, \quad (1)$$

The probability distribution of a parameter, $p(\theta|y)$, which represents the relative plausibility of different values of the parameter conditional on the data and the model (McElreath, 2020a; Ropero et al., 2019), can be estimated using this approach. The outcome of Bayesian analysis indicates that the probability distribution of a parameter, $p(\theta|y)$, known as the posterior distribution, is proportional to the product of the data's information (likelihood), $p(y|\theta)$, and the information accessible before the observation (prior), $p(\theta)$. The posterior distribution encompasses all the requisite information for conducting Bayesian inference.

Multilevel Regression Modeling

Multilevel modeling, also known as hierarchical linear or mixed-effects modeling, is a statistical method employed to evaluate data characterized by a hierarchical or nested structure (Roback & Legler, 2021). Data points are organized into clusters across many levels. Multilevel modeling facilitates the representation of variation across many hierarchical levels, encompassing both intra-group and inter-group variability. It is essential when basic linear regression assumptions are breached due to correlated data points or when the focus is on how group-level factors affect individual-level results (Dash, 2023). This model offers multiple advantages over conventional regression models, including enhanced inference from grouped data, a reduced number of parameters needed to represent groups, and the ability to estimate group effects, such as the regional impact on crop yield influenced by climate change (Smith & Shively, 2019).

In multilevel models, the intercept and coefficient are allowed to vary. The regression parameters delineating the overall associations between predictor and responder variables are identified, and the variances of the coefficients allowed to fluctuate among groups at elevated levels are also assessed. Typically, two multilevel models are examined: the random intercept model and the random coefficient model. The random intercept model, known as the unconditional means model, is typically the initial model applied in nearly all multilevel contexts. This model lacks predictors at both levels to evaluate the variation at each level, hence comparing intra-subject variability to inter-subject variability. Enhanced models will further elucidate the origins of both between-subject and within-subject variability. It can be specified using formulas at both tiers as

Level 1:

$$Y_{ij} = a_i + \varepsilon_{ij}, \quad \varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2) \quad (2)$$

Level 2:

$$a_i = a_0 + u_i, \quad u_i \sim N(0, \sigma_u^2) \quad (3)$$

or as a composite model:

$$Y_{ij} = a_0 + u_i + \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

Where a_i is the true mean response of all observations for subject i , and a_0 denotes the grand mean, which is the true mean of all observations throughout the whole population. The primary focus of the unconditional means model is the variance components, where σ^2 represents within-person variability and σ_u^2 denotes between-person variability. For a_i from (3), each subject's intercept is presumed to be a stochastic value drawn from a normal distribution centered a_0 with variance σ_u^2 . Thus, it is referred to as the random intercepts model (Roback & Legler, 2021).

The relative levels of between-subject and within-subject variabilities can be compared through the intraclass correlation coefficient:

$$\hat{\rho} = \frac{\text{Between subject variability}}{\text{Total variability}} = \frac{\hat{\sigma}_u^2}{\hat{\sigma}_u^2 + \hat{\sigma}^2} \quad (5)$$

In a random coefficient model, the slope is allowed to vary across the groups. In certain instances, the random intercept alone may be inadequate to account for heterogeneity among the groups. Hence, a random slope model will be required where each group will have different slopes along with different intercepts (González-Romá & Hernández, 2023; Yamana, 2021).

It is formulated as:

$$y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}x_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

$$\beta_{1j} = \beta_1 + u_{1j} \quad (7)$$

$$\beta_{0j} = \beta_0 + u_{0j} \quad (8)$$

The composite model becomes;

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x_{ij_Fixed Part} + u_{1j} x_{ij} + u_{0j} + \varepsilon_{ij_Random Part} \quad (9)$$

where $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Two random variables, u_{1j} and u_{0j} , for the slope and intercept, are introduced, respectively. The u_{1j} term, representing the disparity between the mean slope of the regression line and the slopes of various groups, accounts

for variations in slopes. The fixed part determines the overall regression line, while the variances and covariances of the slopes and intercepts are estimated for the random part. The slopes and intercepts are correlated. A positive covariance between these two indicates diverging regression lines, while a negative covariance suggests the lines are converging. A zero covariance suggests that there is no fixed pattern (Dash, 2023; Roback & Legler, 2021). The statistical test employed is contingent upon the parameter being examined. Standard z-tests and t-tests may be employed for the fixed effect parameters. Likelihood ratio testing is, however, required to test for the random effects (Dash, 2023; Yamana, 2021).

Bayesian Multilevel Modeling

We try to predict an outcome y_i (crop yield) by a linear combination of an intercept α and a slope β that measures the impact of a predictor x_i (climate change variables) by

$$\begin{aligned} y_i &\sim \text{Normal}(\mu_i, \sigma_e) \\ \mu_i &= \alpha + \beta x_1 \end{aligned} \quad (10)$$

In Bayesian terms, (10) describes the likelihood of the model, which is the assumption made about the generative process from which the data is issued. It is assumed that the outcomes, y_i , are distributed normally around a mean μ_i with some error σ_e . By adding a varying intercept, (10) can be extended to the multilevel model as

$$\begin{aligned} y_i &\sim \text{Normal}(\mu_i, \sigma_e) \\ \mu_i &= \alpha_{ji} + \beta x_i \end{aligned} \quad (11)$$

Where α_{ij} indicates that each group j is given a unique intercept issued from a Gaussian distribution centered on α , the grand intercept, which implies that there might be different mean scores for each class (Nalborczyk et al., 2022a).

It can be seen from (11) that besides the residual standard deviation, σ_e , an additional variance component, σ_α , which is the standard deviation of the distribution of varying intercepts, is being estimated. The variation of the parameter α between groups j can be interpreted by considering the intra-class correlation (ICC);

$$\frac{\sigma_\alpha^2}{(\sigma_\alpha^2 + \sigma_e^2)}, \quad (12)$$

which goes to 0 if the grouping conveys no information, and to 1 if all observations in a group are identical (Gelman & Hill, 2006). The next in the

Bayesian framework is the a priori distribution, which describes the population of intercepts and therefore models the dependency between these parameters. By adding a varying slope, which allowed to vary according to the group j , we have

$$\begin{aligned} y_i &\sim \text{Normal}(\mu_i, \sigma_e) \\ \mu_i &= \alpha_{ji} + \beta_{ji}x_i \\ \alpha_j &\sim \text{Normal}(\alpha, \sigma_\alpha) \\ \beta_j &\sim \text{Normal}(\beta, \sigma_\beta), \end{aligned} \tag{13}$$

This indicates that the effects of the climate variables are allowed to differ from one region to another. The varying slopes are assigned a prior distribution centered on the grand β , and with a standard deviation σ_β .

Model Evaluation

The most common methods for model comparison are the Bayesian information criterion (BIC), the deviance information criterion (DIC), the Akaike information criterion (AIC), the widely applicable information criterion (WAIC), also referred to as the widely available information criterion or the Watanabe-Akaike; which is an extension of the Akaike information criterion (AIC) that is more fully Bayesian than the deviance information criterion (DIC) (Watanabe, 2010), and the leave-one-out information criterion (LOOIC) (Cubillos et al., 2021; Vehtari & Gelman, 2016). This part of the study checks the prediction accuracy of the fitted model and will therefore use the LOOIC method, which estimates pointwise out-of-sample prediction accuracy using the log-likelihood evaluated at the posterior simulations of the parameter values. The Bayesian LOOIC predictive fit estimate is

$$LOOIC = \sum_{i=1}^n p(y_i|y_{-i}) \tag{14}$$

Where $(y_i|y_{-i})$ is the leave-one-out predictive density obtained by fitting the data without the i^{th} data point? Lower LOOIC values denote better out-of-sample predictive accuracy performance (Cubillos et al., 2021).

Model Comparison

Model performance of the two models was assessed by comparing the values of their AIC, BIC, log-likelihood scores, WAIC, and LOOIC scores, depending on which is applicable. The smaller the value, the better the performance.

Statistical Software Employed

The study employed R version 4.3.3 software from the Comprehensive R Archive Network (CRAN) project, with its corresponding R packages. The brms package, which implements Bayesian multilevel models in R using the probabilistic programming language Stan, which was developed by Bürkner (2017), and its accompanying packages for the modeling processes were used.

Results and Discussions

Multilevel Regression Modeling

The study sought to test the hypothesis that there is no variation in the effects of climate change variables on cereal crop yield with time (year), and region of cultivation, using the available data. This investigates whether the relationship between crop yield and climate change is sensitive to time and region. A multilevel model fit to assess this assumption was generated (see Tables 1 and 2).

Table 1: Random Effects

Groups	Name	Variance	SD	Effect Prop
Year	(Intercept)	3.98E+11	630663	0.9532
Residual		1.95E+10	139757	0.0468

Table 2: Fixed Effects

	Estimate	Std. Error	df	t -value	Pr(> t)
(Intercept)	467240.75	114208.51	30.01	4.091	0.000297 ***

Table 1 provides estimates for the random effects in the form of variances and standard deviations (SD). It also provides the proportion of the random effect variance attributable to each random effect. It reveals that about 95% of the total variance of the random effects is attributed to the year effect. This makes time (year) an important factor that should be considered in fitting our model. This observation is further confirmed by the output on the fixed effect in Table 2, which provides the estimates. It provides a significant effect of time (years) on the yield at all levels of significance. This also confirms its significant effect on cereal crop yield; hence, the relationship between cereal crops and climate data is sensitive to time (years). This further confirms the fact that cereal crop yield and climate variables are dynamically related and should therefore be investigated by taking time (years) into account.

The study considered the year, region as the group, and the climate variables. It is shown in Table 3 that the year again accounts greatly for the variation, with a negative correlation between the year and region. It confirms the earlier conclusion that the relationship is sensitive to time.

Table 3: Random Effect

Groups	Name	Variance	SD	Corr
Year	(Intercept)	1.06719	1.03305	
	Region	0.00158	0.03975	-1.00
Residual		0.01235	0.11112	

Estimates of the fixed effect model are presented in Table 4. The region shows a significant difference at all levels of significance. This indicates that the effect of climate on crop yield is sensitive to the region of cultivation, with a negative relationship. That is, the differences in the effects of climate change on crop yield in these regions are not zero. It is also revealed from the table that humidity and sunshine indicate significant variations ($p \leq 0.0001$ and $p = 0.0069$, respectively) in their relationship with cereal crop yield in the regions. However, the other climate variables have not shown significance in the data as modeled.

Table 4: Fixed Effect

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.263063	0.188779	1.393	0.17323
Region	-0.130701	0.017825	-7.332	1.34e-09 ***
Temperature	0.009728	0.019633	0.495	0.62201
Rainfall	0.019374	0.018947	1.023	0.31049
Humidity	0.210892	0.018522	11.386	< 2e-16 ***
Windspeed	-0.021932	0.019699	-1.113	0.26985
Sunshine	0.053416	0.019096	2.797	0.00687 **

Model Diagnostics:

AIC = 45.9 BIC = 73.7 $\alpha = 0.05$

It can be seen from the results that the effect of climate change on cereal crop yield in Northern Ghana is influenced by time (year), the region within the North where it is cultivated, and also humidity and sunshine hours vary in their effects in the regions. Cereal crop yield is therefore sensitive to the aforementioned.

Bayesian Multilevel Modeling

The Bayesian Multilevel model approach generated Table 5. It contains the effects at the various levels, with the posterior mean as the 'Estimate' and the 'Est.Error' as the standard deviation of the posterior distribution. It also contains two-sided 95% credible intervals (L-95% CI and U-95% CI) established on quantiles, with Rhat, which provides information on the convergence of the algorithm and indicates that the chain has converged since the Rhat values are not significantly greater than 1.00 at each effect level on the table. From Table 5, the group-level effects are shown to be significant at the 95% credible interval, which is an indication that at the group level (region level), the year of cultivation has a significant influence on crop yield from the data. That is, the yield at the regions is influenced by the year of

cultivation. At the population level, however, it did not show significance in the interaction with year.

Table 5: Effect of Year on Cereal Crop Yield

Effects		Estimates	Est. Error	95% Cred Int		Rhat
Group-Level Effects	sd(Intercept)	1.02	0.14	0.79	1.33	1.02
Population-Level Effects	Intercept	-0.03	0.18	-0.40	0.34	1.03
Family Specific Parameters	Sigma	0.22	0.02	0.19	0.27	1.00

Each parameter is presented in Table 6 with the posterior mean as the ‘Estimate’ and the ‘Est.Error’ as the standard deviation of the posterior distribution. The table also contains two-sided 95% credible intervals (l-95% CI and u-95% CI) established on quantiles and Rhat, which provides information on the convergence of the algorithm. Rhat values of 1.00 for each variable in the tables (5 and 6) indicate that the chain has converged and we can work with the output. Again, from Table 6, the ‘region’ and ‘wind speed’ interactions have negative posterior means. ‘Humidity’ (0.21) has been shown to have a higher influence on crop yield than the others, with ‘temperature’(0.01) showing the least influence. The table also shows ‘region’, ‘hum’, and ‘suns’, indicating statistical significance (credible intervals excluding zero), which implies that the region where the cereal crop is cultivated also influences the crop yield with regard to the available climate conditions. Humidity and sunshine are significant contributors to crop yield in each of the regions. Cereal crop yield has therefore been shown to be sensitive to these climate variables in Northern Ghana.

Table 6: Effect of Climate Variables on the Crop Yield in the Northern Regions

Table 6: Effect of Climate Variables on the Crop Yield in the Northern Regions					
	Estimate	Est. Error	95% Cred. Int		Rhat
Group-Level Effects:~year (Number of levels: 31)					
sd(Intercept)	1.06	0.15	0.82	1.38	1.00
sd(region)	0.03	0.02	0.00	0.07	1.00
cor(Intercept,region)	-0.72	0.34	-0.99	0.37	1.00
Population-Level Effects:					
Intercept	0.26	0.19	-0.10	0.64	1.00
Region	-0.13	0.02	-0.17	-0.09	1.00
temperature	0.01	0.02	-0.03	0.05	1.00
rainfall	0.02	0.02	-0.03	0.06	1.00
Humidity	0.21	0.02	0.17	0.25	1.00
Windspeed	-0.02	0.02	-0.07	0.02	1.00
Sunshine	0.05	0.02	0.01	0.10	1.00
Family Specific Parameters:					
Sigma	0.12	0.01	0.10	0.15	1.00
Model Diagnostics:					
WAIC = -84.2		LOOIC = -74.4			

The results so far also confirm earlier works that observed that the effects of climate change on crop yield may vary depending on local climate conditions, and that their impacts in Ghana are observed to differ by region (Mohammadi et al., 2023; Asante et al., 2024).

Figure 2 shows the density (left) and trace (right) plots for the tail area of the distribution, which corresponds to the l-95% CI and u-95% CI in Table 6. It shows that the chains are stable.

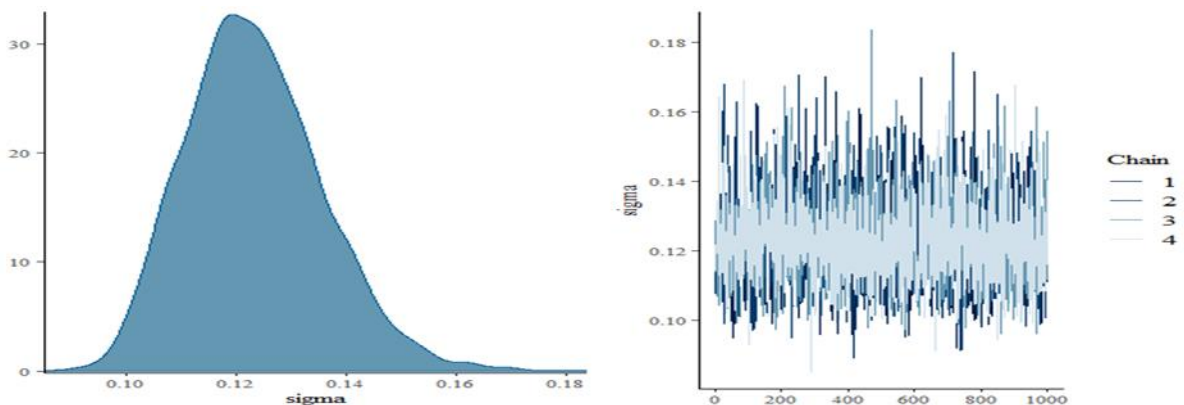


Figure 2: Density plot (Left) and Trace plot (Right)

Model Diagnostics

From Tables 5 and 6, the Rhat distributions contain values that are below 1.1, which is a good indication that the model converged. The trace plot in Figure 2 shows effective blending, which leads to the conclusion that the model has converged. The Bayesian Multilevel Model has MSE, RMSE, and MAE values of 0.0083, 0.0910, and 0.0623, respectively, which indicate a good predictive capacity and, for that matter, a good model fit. The plot of Figure 3 shows an even distribution of the residuals about the zero line over the period. It indicates a good fit of the model to the data, which implies that our prediction will be more accurate.

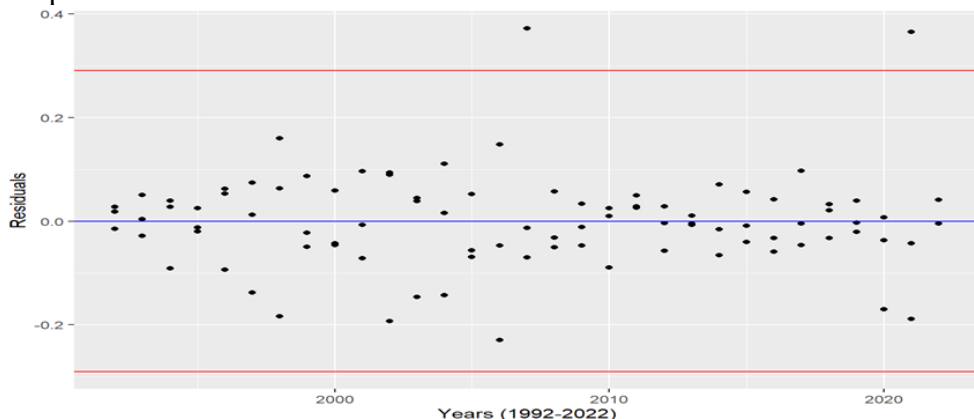


Figure 3: A plot of residuals for the period

Model Comparison

Both the Multilevel and Bayesian Multilevel Modeling generated the same model outputs and relationships. The Multilevel model generated model scores: AIC and BIC of 45.9 and 73.7, respectively. In the case of the Bayesian Multilevel Modeling, a WAIC of -84.2 and LOOIC of -74.4 indicate that the Bayesian Multilevel Modeling performs better in assessing and predicting the variations in sensitivity of cereal crop yield to climate change in the regions in Northern Ghana.

Conclusion

The study revealed that both the Bayesian Multilevel and Multilevel models performed well in assessing the variation in sensitivity of cereal crop yield to climate change in Northern Ghana. It also revealed that cereal crop yields in the study area have different sensitivities to their regions of cultivation. Whereas the other variables showed no significant difference, humidity and sunshine showed significant variations in their effects per region, with humidity contributing the highest variation in influence over crop yield. It further showed that the Bayesian Multilevel Modeling approach performed better in its model scores and predictive power. The study confirms earlier findings by earlier works that observed the varying impact of climate change on crop yield per local climate conditions and by region.

The study recommends that the climate characteristics of previous years and in the regions should be taken into account in predicting future yields and adopting mitigation strategies. Also, humidity and sunshine have significantly varying influences in the regions. Industry stakeholders can leverage this in their decision-making. Again, it recommends the use of Bayesian Multilevel modeling for prediction and also for understanding the variations in the sensitivity of cereal crop yield to climate change at the various levels and sectors of Northern Ghana. It further recommends that the study be extended to include other yield-influencing variables such as fertilizer use, vegetation cover, and also at the individual regional levels, or by considering the cereal crops separately.

Conflict of Interest: The authors reported no conflict of interest.

Data Availability: All data for this study are available from the authors upon reasonable request.

Funding Statement: The authors did not obtain any funding for this research.

References:

1. Adesina, O. S. (2021). Bayesian multilevel models for count data. *Journal of the Nigerian Society of Physical Sciences*, 3(3), 224–233. <https://doi.org/10.46481/jnsps.2021.168>
2. Ahiamadia, D., Ramilan, T., & Tozer, P. R. (2024). Enhancing climate resilience in northern Ghana : A stochastic dominance analysis of risk-efficient climate-smart technologies for smallholder farmers. *Environmental Development*, 51, 101031. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101031>
3. Amikuzuno, J., & Donkoh, S. A. (2012). *Climate Variability and Yields of Major Staple Food Crops in Northern Ghana* (Vol. 20, Issue 2, pp. 349–360).
4. Anang, B. T., & Amikuzuno, J. (2015). Factors Influencing Pesticide Use in Smallholder Rice Production in Northern Ghana. *Agriculture, Forestry and Fisheries*, 4(2), 77. <https://doi.org/10.11648/j.aff.20150402.19>
5. Arndt, C., Asante, F., & Thurlow, J. (2015). Implications of climate change for Ghana's economy. *Sustainability (Switzerland)*, 7(6), 7214–7231. <https://doi.org/10.3390/su7067214>
6. Asante, S., Owusu, V., & Oppong, S. (2024). Marginal Impact of climate variability on crop yields in Ghana. *Scientific African*, 25(April), e02314. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02314>
7. Bolin, J. H., Finch, W. H., & Stenger, R. (2019). Estimation of Random Coefficient Multilevel Models in the Context of Small Numbers of Level 2 Clusters. *Educational and Psychological Measurement*, 79(2), 217–248. <https://doi.org/10.1177/0013164418773494>
8. Chan, C. H., & Rauchfleisch, A. (2023). Bayesian Multilevel Modeling and Its Application in Comparative Journalism Studies. *International Journal of Communication*, 17(111), 3700–3721.
9. Cubillos, M., Wulff, J. N., & Wøhlk, S. (2021). A multilevel Bayesian framework for predicting municipal waste generation rates. *Waste Management*, 127, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.011>
10. Darfour, B., & Rosentrater, K. A. (2016). Maize in Ghana: An overview of cultivation to processing. *2016 American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting, ASABE 2016*, 1–16. <https://doi.org/10.13031/aim.20162460492>
11. Dash, S. K. (2023). *A brief introduction to Multilevel Modelling*. Analytic Vidhya. <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2022/01/a-brief-introduction-to-multilevel-modelling/>

12. Dessie, Z. G., Zewotir, T., Mwambi, H., & North, D. (2020). *Multivariate multilevel modeling of quality of life dynamics of HIV infected patients*. 2, 1–14.
13. Diez-roux, A. V. (2000). Multilevel Analysis in Public Health Research. *Annu. Rev. Public Health*.
14. Dumenu, W. K., & Obeng, E. A. (2016). Climate change and rural communities in Ghana: Social vulnerability, impacts, adaptations and policy implications. *Environmental Science and Policy*, 55(February 2018), 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.10.010>
15. EPA. (2021). *Ghana ' s Third Biennial Update Report to United Nations Framework Convention on Climate Change*.
16. Flor, M., Weiß, M., Selhorst, T., Müller-Graf, C., & Greiner, M. (2020). Comparison of Bayesian and frequentist methods for prevalence estimation under misclassification. *BMC Public Health*, 20(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09177-4>
17. Gage, D., Bangnikon, J., Abeka-Afari, H., Hanif, C., Addaquay, J., Antwi, V., & Hale, A. (2012). The Market for Maize, rice, Soy, and WarehouSing in Northern Ghana. *ASABE, January*.
18. Gelman, A., Carlin, J.B., Stern, H.S., Dunson, D.B., Vehtari, A., Rubin, D. B. (2013). *Bayesian Data Analysis*. Chapman & Hall, Boca Raton, FL.
19. Gelman, A., & Hill, J. (2006). *Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models*. Andrew Gelman Jennifer Hill.
20. González-Romá, V., & Hernández, A. (2023). Conducting and Evaluating Multilevel Studies : Recommendations, Resources , and a Checklist. *Sage*, 26(4), 629–654. <https://doi.org/10.1177/109442812111060712>
21. Hox, J. J. (2019). Bayesian Multilevel Modeling. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 1–7. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat08140>
22. John B. Nezlek. (2010). Multilevel Modeling and Cross-Cultural Research. In *Cross-Cultural Research Methods in Psychology*.
23. Kaplan, D. (2014). *Bayesian Statistics for the Social Sciences* (Second Edi). Guilford Press.
24. Ladislav Nalborczyk, Cédric Batailler, Hélène Loevenbruck, Anne Vilain, & Paul-Christian Bürkner. (2022). *An Introduction to Bayesian Multilevel Models Using brms: A Case Study of Gender Effects on Vowel Variability in Standard Indonesian*.
25. Lin, X., Chowdhury, A., Wang, X., & Terejanu, G. (2019). Approximate computational approaches for Bayesian sensor placement in high dimensions. *Information Fusion*, 46, 193–205. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.06.006>

26. Maccarthy, D. S., Adam, M., Freduah, B. S., Fosu-Mensah, B. Y., Ampim, P. A. Y., Ly, M., Traore, P. S., & Adiku, S. G. K. (2021). Climate change impact and variability on cereal productivity among smallholder farmers under future production systems in west africa. *Sustainability* (Switzerland), 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13095191>
27. McElreath, R. (2020). *Statistical Rethinking: A Bayesian Course with Examples in R and Stan*. CRC Press, Boca Raton, FL. <https://doi.org/doi.org/10.1201/9780429029608>
28. MoFA. (2020). *Cereal Production Figures from 1992*.
29. MoFA-IFPRI. (2020). Ghana's Maize Market. *International Food Policy Research Institute (IFPRI) in Ghana*, 1, 1–4.
30. Mohammadi, S., Rydgren, K., Bakkestuen, V., & Gillespie, M. A. K. (2023). Impacts of recent climate change on crop yield can depend on local conditions in climatically diverse regions of Norway. *Scientific Reports*, 0855, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30813-7>
31. Molina-azorín, J. F., Pereira-moliner, J., López-gamero, M. D., Pertusa-ortega, E. M., & Tarí, J. J. (2019). Multilevel research: Foundations and opportunities in management. *BRQ Bus. Res. Q.* <https://doi.org/10.1016/j.brq.2019.03.004>
32. Nalborczyk, L., Batailler, C., Loevenbruck, H., Vilain, A., & Bürkner, P. C. (2019). An introduction to Bayesian multilevel models using brms: A case study of gender effects on vowel variability in standard Indonesian. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(5), 1225–1242. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-18-0006
33. Paul-Christian Bürkner. (2017). brms : An R Package for Bayesian Multilevel Models. *Journal of Statistical Software*, 80(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v080.i01>
34. Roback, P., & Legler, J. (2021). *Beyond Multiple Linear Regression: Applied Generalized Linear Models and Multilevel Models in R* (First). CRC Press.
35. Roperro, R. F., Rumí, R., & Aguilera, P. A. (2019). Bayesian networks for evaluating climate change influence in olive crops in Andalusia, Spain. *Natural Resource Modeling*, 32(1), 1–18. <https://doi.org/10.1111/nrm.12169>
36. Smid, S. C., McNeish, D., Miočević, M., & van de Schoot, R. (2020). Bayesian Versus Frequentist Estimation for Structural Equation Models in Small Sample Contexts: A Systematic Review. *Structural Equation Modeling*, 27(1), 131–161. <https://doi.org/10.1080/10705511.2019.1577140>

37. Smith, T., & Shively, G. (2019). Multilevel analysis of individual , household , and community factors influencing child growth in Nepal. *BMC Pediatrics*, 1–14.
38. UNFCCC. (2011). Climate change science - the status of climate change science today. *United Nations Framework Convention on Climate Change*, February 2011, 1–7. https://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/press_factsh_science.pdf
39. USDA/GAIN. (2023). *Ghana Climate change report*. <http://africa.cimafoundation.org/documents/869>
40. USDA/IPAD. (2024). *USDA/IPAD Country Summary*. <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/default.aspx?id=GH>
41. Vehtari, A., & Gelman, A. (2016). *Practical Bayesian model evaluation using leave-one-out cross-validation and WAIC **. September, 1–28.
42. Viswanathan, M., Scheidegger, A., Streck, T., Gayler, S., & Weber, T. K. D. (2022). Bayesian multi-level calibration of a process-based maize phenology model. *Ecological Modelling*, 474(May), 110154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110154>
43. Watanabe, S. (2010). Asymptotic equivalence of Bayes cross validation and widely applicable information criterion in singular learning theory. *Journal of Machine Learning Research*, 11, 3571–3594.
44. Yamana, H. (2021). Introduction to Multilevel Analysis. *Annals of Clinical Epidemiology*, 3(1), 5–9.
45. Yaro, J. A. (2013). The perception of and adaptation to climate variability/change in Ghana by small-scale and commercial farmers. *Regional Environmental Change*, 13(6), 1259–1272. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0443-5>

Caractérisation physicochimique de 4 étangs piscicoles et analyse de la distribution temporelle de leurs macroinvertébrés benthiques dans la région du Centre (Cameroun)

Ngo-Nseh Sidonie Chantal

Nzombi Azonfack Yannick

Ndo Stevie

Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, Faculté des sciences,
Université de Yaoundé, Yaoundé, Cameroun

Tangem Lucas Leku

Ministère de l'Elevages, des Pêches et des Industries Animales Yaoundé,
Cameroun

Dakwen Jeannette Prudence

Ministère de l'Education de Base, Yaoundé, Cameroun

Ajeagah Gideon Aghaindum

Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, Faculté des sciences,
Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p145](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p145)

Submitted: 27 April 2025
Accepted: 04 August 2025
Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Ngo-Nseh, S.C., Nzombi, A.Y., Ndo, S., Tangem, L.L., Dakwen, J.P. & Ajeagah, G.A. (2025). *Caractérisation physicochimique de 4 étangs piscicoles et analyse de la distribution temporelle de leurs macroinvertébrés benthiques dans la région du Centre (Cameroun)*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 145.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p145>

Résumé

Cette étude a été menée, durant la période de janvier 2023 à janvier 2024, dans quatre étangs piscicoles dans la région du Centre avec pour objectif principal d'évaluer la diversité des macroinvertébrés benthiques en relation avec la qualité physicochimique de 4 étangs piscicoles. Les échantillonnages de macroinvertébrés benthiques ont été faits suivant l'approche multihabitat, en utilisant un filet troubleau de forme carrée de 30 cm de côté et 400 µm d'ouverture de maille. Les organismes ainsi récoltés, ont été fixés dans du formol 10% contenu dans des piluliers en verre. Au laboratoire, les spécimens ont été lavés à l'eau courante, puis conservés dans de l'alcool à 70°, avant les

opérations d'identification et de comptage. Les analyses physicochimiques ont montré, que les eaux ont été faiblement oxygénées ($O_2 = 31,72 \pm 19,75\%$), faiblement minéralisées ($120,08 \pm 28,61 \mu S/cm$) et avec un pH légèrement basique ($pH = 7,37 \pm 0,40 UC$). Ces valeurs faibles sont révélatrices d'une pollution organique dans ces milieux aquatiques. Ces valeurs permettent de dire que ces eaux sont plutôt dans la gamme des eaux de mauvaise qualité et susceptibles de provoquer le stress et les pertes potentielles des organismes aquatiques. Au cours de cette étude, l'analyse faunistique a permis d'inventorier 9140 individus ont été récoltés appartenant à 3 embranchements (Mollusques, Annélides et Arthropodes), 3 classes (Gastéropodes, Insectes et Achètes), 8 ordres et 32 familles. L'embranchement des mollusques correspond à 7344 individus soit 80,35% d'abondance relative suivis des arthropodes à 1795 individus soit 19,63 % d'abondance relative et enfin des annélides à 1 individu soit 0,01%. L'embranchement des Mollusques a été dominant avec une abondance relative de 80,35%. La dominance de cet embranchement montre qu'ils ont polluerésistants et les étangs sont impactés par la pollution organique. Les valeurs élevées des indices de diversité de Shannon et Weaver (3,25 bits/ind.) et d'Equitabilité de Piélou (0,60) sur le temporel, ont montré un équilibre écologique dans l'étang piscicole MBK1, témoignant de la bonne santé écologique de cet étang piscicole. Par contre les valeurs basses de ces indices de diversité de Shannon et Weaver (0,37bit/ind.) et d'Equitabilité de Piélou (0,44) sur le plan temporel, a montré un déséquilibre dans l'étang piscicole YDE1, favorisant le développement d'une seule famille qui est la famille des Thiaridae. L'analyse des valeurs de l'Indice de Pollution Organique (IPO) a montré que les eaux des étangs piscicoles étudiés sont sujettes à des fortes pollutions toutefois serait de mauvaise qualité biologique.

Mots-clés: Macroinvertébrés benthiques, Etangs piscicole, physicochimique, Région Centre

Physicochemical characterization of 4 fish farming ponds and analysis of the temporal distribution of their benthic macroinvertebrates in the Central region (Cameroon)

Ngo-Nseh Sidonie Chantal

Nzombi Azonfack Yannick

Ndo Stevie

Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, Faculté des sciences,
Université de Yaoundé, Yaoundé, Cameroun

Tangem Lucas Leku

Ministère de l'Elevages, des Pêches et des Industries Animales Yaoundé,
Cameroun

Dakwen Jeannette Prudence

Ministère de l'Education de Base, Yaoundé, Cameroun

Ajeagah Gideon Aghaïndum

Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, Faculté des sciences,
Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

Abstract

This study was conducted from January 2023 to January 2024 in four fishponds in the Centre region, with the main objective of evaluating the diversity of benthic macroinvertebrates in relation to the physicochemical quality of these fishponds. Sampling of benthic macroinvertebrates followed a multi-habitat approach, using a square kick net measuring 30 cm on each side with a 400 µm mesh opening. The collected organisms were fixed in 10% formalin contained in glass vials. In the laboratory, specimens were washed with running water, then preserved in 70% alcohol before identification and counting operations. Physicochemical analyses showed that the waters were low in oxygen ($O_2 = 31.72 \pm 19.75\%$), weakly mineralized ($120.08 \pm 28.61 \mu S/cm$), and had a slightly basic pH ($pH = 7.37 \pm 0.40 UC$). These low values are indicative of organic pollution in these aquatic environments. These values suggest that these waters are generally of poor quality and are likely to cause stress and potential losses for aquatic organisms. During this study, faunal analysis allowed for the inventory of 9140 individuals belonging to 3 phyla (Mollusca, Annelida, and Arthropoda), 3 classes (Gastropoda, Insecta, and Achates), 8 orders, and 32 families. The Mollusca phylum accounted for 7344 individuals, representing 80.35% relative abundance, followed by Arthropoda with 1795 individuals, or 19.63% relative abundance, and finally Annelida with 1 individual, or 0.01% relative abundance. The Mollusca phylum was dominant with a relative abundance of 80.35%. The dominance of this phylum

indicates their pollution resistance and that the ponds are impacted by organic pollution. High values of the Shannon and Weaver diversity index (3.25 bits/ind.) and Pielou's Evenness (0.60) over time showed ecological balance in the MBK1 fishpond, indicating the good ecological health of this fishpond. Conversely, low values of these diversity indices Shannon and Weaver (0.37 bits/ind.) and Pielou's Evenness (0.44) over time showed an imbalance in the YDE1 fishpond, favoring the development of a single family, the Thiaridae family. Analysis of the Organic Pollution Index (OPI) values showed that the waters of the studied fishponds are subject to high pollution, suggesting poor biological quality.

Keywords: Benthic macroinvertebrates, fish ponds, physicochemical, Centre Region

Introduction

Dans plusieurs communautés, en particulier dans les pays en développement, le poisson contribue à la subsistance et aux stratégies de lutte contre la pauvreté (FAO, 2009). De par sa composition en nutriments, il joue un rôle déterminant dans la fourniture de protéines animales, surtout dans les pays menacés de nos jours par la crise alimentaire. Selon FAO (2020), en 2018 par exemple, le monde a consommé environ 156 millions de tonnes de poisson et les prévisions pour les années à venir indiquent que la demande serait en hausse. La consommation humaine de poisson a atteint au cours de la même année un niveau record avec près de 20,5 kg de poissons consommés par personne, représentant ainsi près de 15% de l'apport moyen de protéines animales (FAO, 2011). Cependant, les propriétés physicochimiques de l'eau pourraient être influencées la pratique de la pisciculture (Mustapha, 2017). Au-delà de combler le manque porté sur la qualité de l'eau des étangs piscicoles, cette étude vise également à sensibiliser les pisciculteurs aux paramètres vitaux de la qualité de l'eau qui nécessitent une surveillance constante en raison de leur impact sur la santé des poissons. Ainsi l'évaluation et le suivi de la qualité des eaux sont réalisés généralement à partir de la méthode physicochimique. Cette méthode est réalisée à partir d'une série de mesures de paramètres physiques et chimiques que l'on compare par la suite à des normes ou critères de qualité éprouvés. Cette approche, bien qu'utile souffre d'un certain nombre d'insuffisances (Ohio EPA, 1987). En effet, l'évaluation de la qualité de l'eau basée sur la mesure de la concentration de polluants ne permet pas de tirer des conclusions sur la santé d'un écosystème. Cette méthode analytique bien qu'onéreuse, ne renseigne pas suffisamment sur la qualité de l'écosystème et n'évalue pas l'effet des polluants non mesurés ou présents à des seuils inférieurs aux limites de détection. Elle renseigne encore moins sur les effets synergiques, additifs et antagonistes des différents

polluants sur les organismes vivants. Ainsi, l'évaluation et la surveillance de la qualité des eaux se basent sur l'utilisation d'indices biotiques mis en place à partir des organismes aquatiques vivants tels que les poissons, les diatomées, les algues et les macroinvertébrés aquatiques, alors ces derniers étant considérés comme les meilleurs bioindicateurs de la qualité de l'eau (Camara, 2013). Les macroinvertébrés aquatiques sont de bons indicateurs biologiques en raison de leur cycle de vie relativement long, leur sédentarité, leur grande diversité et leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de leur habitat (Moisan & Pelletier, 2008). Enfin, leurs structures reflètent particulièrement bien l'état et l'intégrité écologique des milieux aquatiques, car ils réagissent très vite aux changements survenant dans leur environnement. En effet, les macroinvertébrés intègrent les effets cumulatifs et synergiques des perturbations physiques, biologiques et chimiques des écosystèmes aquatiques. Ils permettent aussi d'évaluer les répercussions réelles de la pollution et de l'altération des habitats aquatiques. L'intégrité écologique d'un milieu aquatique est dégradée lorsque les communautés d'organismes qui y vivent ne sont pas équilibrées et bien intégrées (Karr *et al.*, 1986). De ce fait, les macroinvertébrés aquatiques deviennent les juges de l'état écologique et de l'intégrité des écosystèmes aquatiques (Roche *et al.*, 2005).

Au Cameroun, certaines études ont été menées sur la biodiversité du zooplancton en pisciculture, il s'agit des travaux de Dakwen (2020) sur la pisciculture dans la Région du Centre Cameroun et de ceux de Zango (2017) des étangs dans la Région de l'Ouest Cameroun et d'autres ce sont appesantis sur l'optimisation biotechnique et l'alimentation en pisciculture, il s'agit des travaux d'Efole Ewoukem (2011) sur de la pisciculture en étang dans les régions de l'Ouest et du Centre; de ceux de Konan *et al.* (2017); de Tiogue (2012); de Pouomogne (1994) et d'Edwards (1993) sur les étangs à l'Ouest Cameroun. Toutefois, la biodiversité des macroinvertébrés benthiques des étangs piscicoles reste peu connue d'où l'intérêt de cette étude qui a pour objectif principal d'évaluer la diversité des macroinvertébrés benthiques en relation avec la qualité physicochimique de 4 étangs piscicoles dans la région du Centre. Il s'agit plus spécifiquement de déterminer les paramètres physicochimiques dans les étangs piscicoles et d'inventorier les différents taxa de macroinvertébrés benthiques qui colonisent ces étangs piscicoles et enfin de montrer s'il existe des corrélations entre les variables physico-chimiques et biologiques.

Matériel et méthodes

Cadre géographique d'étude

La Mefou-et-Akono et le Mfoundi sont deux sur dix départements que compte la Région du Centre Cameroun où se sont déroulés les échantillonnages.

L'étude s'est effectuée de janvier 2023 à janvier 2024. La région du Centre s'étend sur une superficie de 68 926 km² avec pour coordonnées géographiques 4°45'0''N et 12°0'0''E. Elle est limitée au Nord par la région de l'Adamaoua, à l'Ouest par les régions du Littoral et de l'Ouest, au Sud par la région du Sud et à l'Est par la région de l'Est (Figure1). Dans la région du Centre, le climat est équatorial de type guinéen forestier à quatre saisons donc deux saisons de pluies (la première de mi-mars à mi-juin et la seconde de mi-août à mi-novembre) alternant avec deux saisons sèches réparties ainsi qu'il suit (la première grande allant de mi-novembre à mi-mars et la seconde petite allant de mi-juin à mi-août) (Lebel & Pontié, 2011). La pluviométrie dans cette région varie entre 1500 et 1700 mm par an avec une température moyenne de 24°C (minimum 19°C et maximum 35°C).

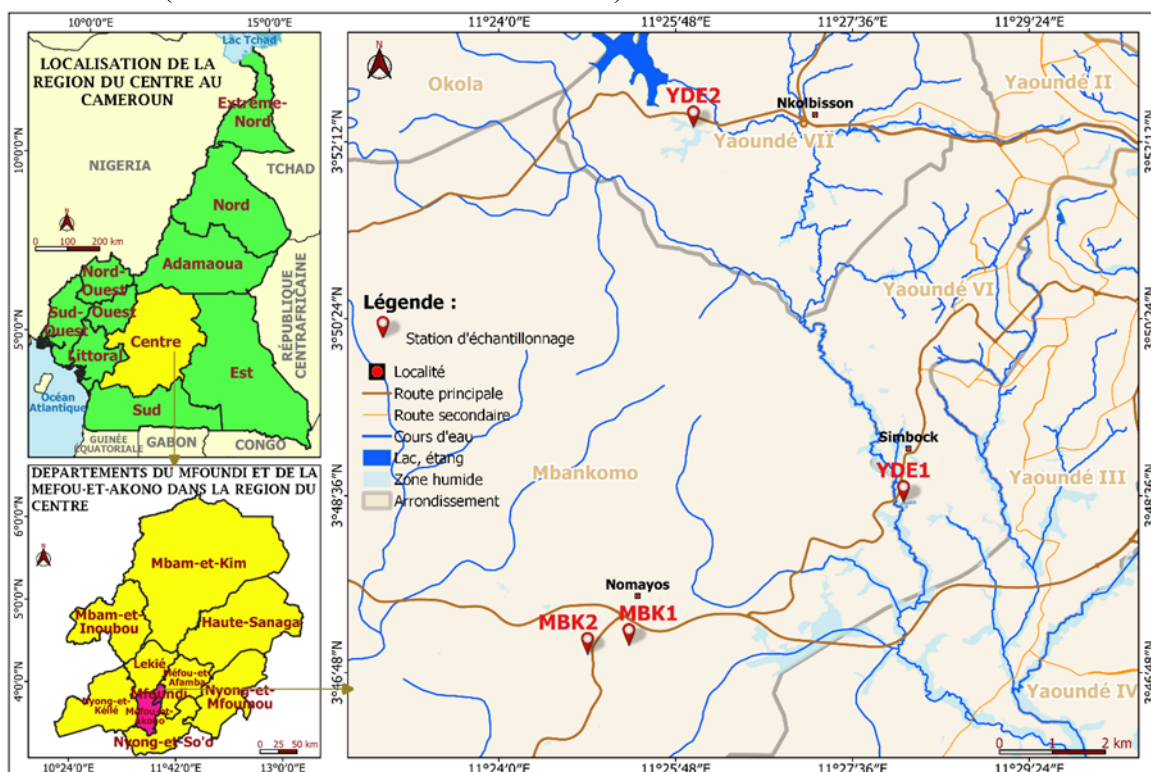


Figure 1. Carte de la zone d'étude et localisation des stations d'échantillonnages

Analyse des Paramètres Physicochimiques et Biologiques

Les paramètres physicochimiques ont été mesurés à la fois sur le terrain et au laboratoire suivant les recommandations de (APHA, 1998 ; Rodier et *al.*, 2009). La température, la transparence, la teneur en oxygène dissous et la conductivité électrique ont été mesurées *in situ* respectivement au moyen d'un thermomètre, d'un disque de Secchi de diamètre 30 cm et d'un multimètre de marque HANNA HI 98130. Les échantillons d'eau, pour certaines analyses physicochimiques comme les ions orthophosphates et les formes d'azote ont été prélevés sur le terrain, au niveau du moins à 15 cm de profondeur, à l'aide des flacons en polyéthylène à double fermeture hermétique de 1000mL sans faire de bulles, remplis à ras bord, puis conservés dans une glacière contenant des carboglaces puis amenés au laboratoire. Au laboratoire, ont été mesurés au spectrophotomètre de marque WAHTECH.

Les prélèvements, les analyses des paramètres physicochimiques et la biologie ont été effectués suivant une fréquence mensuelle

La charge organique des eaux a été appréciée grâce à la mesure de l'Indice de Pollution Organique (IPO) (Leclercq, 2001).

Les macroinvertébrés benthiques ont été prélevés à l'aide d'un filet troubleau de forme carrée de 30 cm de côté et 400 µm d'ouverture de maille et 0,5 m de profondeur. Pour chaque étang d'étude, une vingtaine de traits d'épuisette a été effectuée aux différents microhabitats et les organismes ont été récoltés, triés et fixés au formol à 10%. Au laboratoire, les spécimens ont été lavés à l'eau coulante puis conservés dans de l'alcool 70° avant d'être identifiés et dénombrés. La totalité des macroinvertébrés benthiques ont été déterminés à la loupe binoculaire de marque Wild M5 jusqu'au rang du genre ou de l'espèce, à l'aide des clés d'identification de (Levêque et *al.*, 2005 ; Tachet et *al.*, 2006). Les données obtenues ont été analysées à l'aide des indices.

Présentation du site d'étude

Les quatre étangs piscicoles étudiés ont été choisis en fonction de l'accessibilité et de la gestion des étangs piscicoles. Ces étangs piscicoles trouvent dans les départements de Mfoundi et de la Mefou-et-Akono. Les quatre codes (YDE1, YDE2 MBK1 et MBK2) ont été attribués aux étangs piscicoles étudiés.

Etang piscicole Yaoundé 1 (YDE 1)

L'étang Yaoundé 1 appartient au complexe touristique et avicole d'Etôk Kôss. Le complexe touristique est situé au quartier Simbock dans le département du Mfoundi. Il a pour coordonnées géographiques 03°48'31,9''N et 011°28'07,1''E et d'altitude 683 m. Ce complexe touristique compte dix étangs piscicoles et une ferme avicole d'une capacité de 3000 poulets. Ces

étangs ont été abandonnés depuis 2020 pendant la période du COVID-19. L'étang piscicole Yaoundé 1 a été choisi, à cause de l'accès facile à la route et la présence des microhabitats (herbier, les macrophytes et les cailloux fins), Cet étang subit des pollutions, des activités manuelles qui sont menées au sein du campus de l'Institut Saint Jean. L'étang Yaoundé 1 est alimenté directement par le fleuve Mefou. Cet étang piscicole contient des poissons comme : les tilapias (*Oreochromis niloticus*), les silures (*Clarias gariepinus*) et les kangas (*Heterotis niloticus*) mais ces poissons ne reçoivent pas d'aliments. Les eaux de cet étang ont été diluées par les eaux du fleuve de la Mefou et également par les eaux de ruissèlement à cause de la détérioration des digues et du moine. L'étang Yaoundé 1 a une superficie de 2000 m² avec une profondeur moyenne de 49, 29 ±14,52 cm, son eau a un aspect boueux, avec un fond chargé d'alluvions et de cailloux fins. Les digues ont été toutes couvertes de Cyperaceae. Cet étang est situé à l'entrée principale du complexe, il est limité au nord par les locaux du complexe au sud par le port sur la Mefou, à l'est par le carrefour Ebenda et à l'ouest par le campus de l'Institut Saint Jean.

Etang piscicole Yaoundé 2 (YDE 2)

L'étang piscicole Yaoundé 2 appartient à la ferme aquacole Fias qui a été créé en 2017. Cette ferme aquacole est localisée dans le quartier Minkoameyos dans le département du Mfoundi et avec pour coordonnées géographiques 03°52'20,8''N et 011°25'58,8''E et d'altitude 714 m. Cette ferme compte sept étangs piscicoles, quatre bacs ayant des volumes de 1000 L pour l'élevage de poissons hors sol, un étang d'alevinage et deux bassins d'écloserie. L'étang Yaoundé 2 a été choisi à cause de la cage du chien qui a été construite au-dessus, la présence des microhabitats (l'herbier et la vase) et il a subi une bonne attention particulière vis-à-vis du pisciculteur. Il a été le seul étang qui contient des poissons comme : Les tilapias (*Oreochromis niloticus*), les silures (*Clarias gariepinus*) et les tilapias rouge (Souche Red florida). Ces poissons ont été nourris par moment par les aliments importés. Cet étang a une superficie de 120m², avec une profondeur moyenne de 45,40±22,30 cm et il est alimenté en eau en saison sèche pour les eaux d'un puit amélioré et en saison des pluies par les eaux de pluie. Les digues de cet étang n'ont pas d'herbes mais les pentes intérieures des digues ont des herbiers tels que : *Ludwigia erecta*, *Aneilema umbrosum*, *paspalum orbiculare*.

Etang piscicole Mbankomo 1 (MBK 1)

L'étang Mbankomo 1 appartient à la ferme d'un particulier qui contient trois étangs piscicoles. Cette ferme a été créée pour une activité secondaire et est située derrière la base vie de Arab Contractor au quartier Nomayos dans le département de la Mefou-et-Akono avec pour coordonnées géographiques 03°47'04,8''N et 011°25'19,4''E et d'altitude 699 m. Cet étang est situé entre

deux collines donc dans une vallée et est alimenté en eau par la source hélocrène avec la présence de microhabitats (herbier, macrophytes et vase). Le sol est marécageux et les faibles activités agricoles sont pratiquées autour de cette ferme. Les silures (*Clarias gariepinus*) ont été élevés dans cet étang et ont été nourris par les employés d'une manière non contrôlée à la lisière de porc et à la fiente de poulets. Les eaux de cet étang n'ont été pas diluées. La superficie de cet étang a été de 298 m² avec une profondeur moyenne de 39,75±11,97cm. La surface de cet étang a été parsemée de *Eleocharis acutangula* et les digues et les pentes des digues ont été couvertes de *Ludwigia erecta* et quelques pieds de canne à sucre (*Saccharum officinarum*).

Etang piscicole Mbankomo 2 (MBK 2)

L'étang Mbankomo 2 appartient à la ferme d'un particulier qui contient six étangs piscicoles. Cette ferme a été créée pour une activité secondaire et est situé au quartier Nomayos, en face de la chefferie de 3^e degré de cette localité. Cette ferme est séparée de la chefferie par la route qui va à Ngoumou dans le département de la Mefou-et Akono. Il a pour coordonnées géographiques 03°46'59,4''N et 011°24'54,1''E et d'altitude 705 m. Cet étang a été choisi par ce qu'il a été empoissonné deux mois avant le début de nos échantillonnages et de la présence des microhabitats (herbier, macrophytes, vase et la litière). Les silures (*Clarias gariepinus*) qui ont été élevés dans cet étang, ont été nourris d'une manière non contrôlée à la lisière de porc et à la fiente de poulets. Le sol de cet étang est marécageux et les eaux entraînent dans cet étang moins en saisons sèches à cause de la détérioration du dispositif piscicole. La superficie de cet étang a été de 125 m² avec une profondeur moyenne de 39,75±11,97cm. La surface de cet étang a été couverte de *Nymphaea lotus* et les digues et les pentes des digues ont été couvertes de *Ludwigia erecta* et quelques pieds de canne à sucre (*Saccharum officinarum*).

Analyse et traitement des données

Le traitement des données de la physicochimie, de la biologie, de l'Indice de Pollution Organique (IPO) et les indices de diversité biologique de Shannon et Weaver et d'équitabilité de Piélou a été effectué à l'aide du logiciel tableur Excel. Les tests d'ANOVA, de F Welch et de Tukey ont été calculés à l'aide du logiciel Past 4.03. L'Analyse en Composante Principale (ACP) et l'Analyse de Classification Hiérarchique ont été effectuées à l'aide du logiciel R 3.5.1.

Résultats

Paramètres physicochimiques

Température

La valeur maximale de la température (32,5 °C) a été enregistrée au mois de Mai dans l'étang piscicole MBK 2 et la valeur minimale (23°C) dans l'étang piscicole YDE 2 au mois d'Août, pour une moyenne de $26,81 \pm 1,86$ °C (Figure 2). Sur le plan temporel, le test F Welch montre une différence significative d'un mois à l'autre $p=0,3732$ et le test de Tukey montre la différence entre le mois de mai et d'août ($p= 0,04758$).

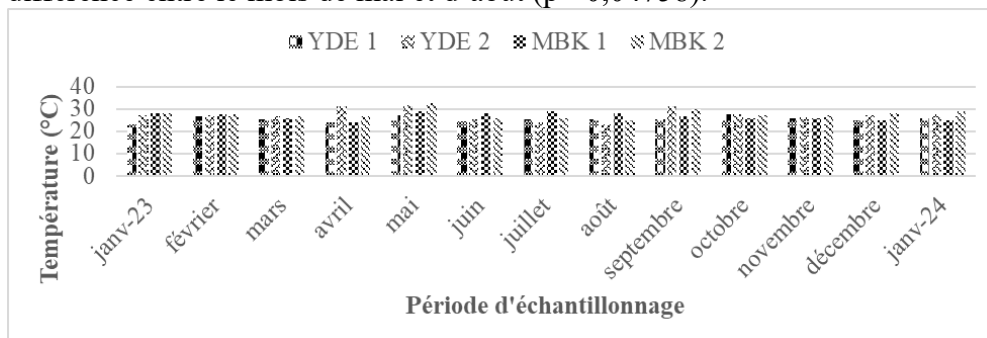


Figure 2 : Variation spatio-temporelle de la température durant la période d'étude

Transparence (cm)

La profondeur de disparition du disque de Secchi a varié entre 5,5 cm dans l'étang piscicole YDE 1 au mois d'avril et 54 cm dans l'étang piscicole YDE2 au mois de janvier 2024 avec une moyenne de $21,52 \pm 9,59$ cm (Figure 3). Sur le plan temporel, le test F Welch a montré une différence non significative d'un mois à l'autre $p=0,2907$.

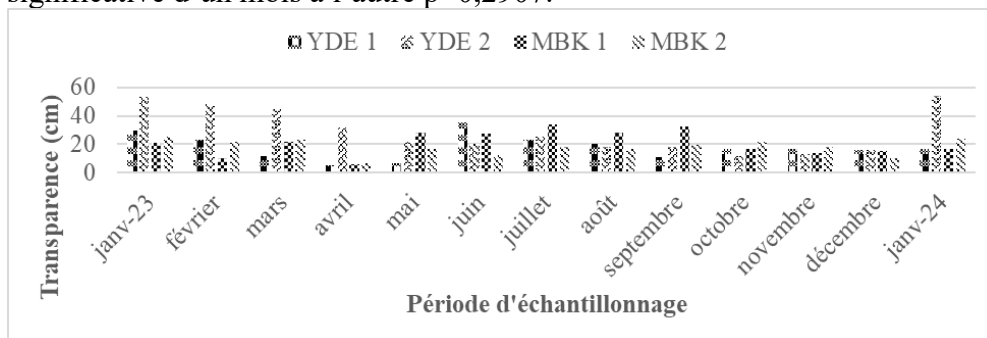


Figure 3 : Variation spatio-temporelle de la transparence durant la période d'étude

pH (UC)

Le potentiel d'Hydrogène a varié d'un étang piscicole à l'autre. La valeur maximale (8,24 UC) a été enregistrée au mois de mars dans l'étang piscicole YDE2 et la valeur minimale (6,13 UC) au mois d'octobre dans le même étang piscicole avec une moyenne de $7,37 \pm 0,40$ UC (Figure 4). Sur le

plan temporel, le test F Welch a montré des différences significatives d'un mois à l'autre $p < 0,05$ et le test de Tukey a montré des différences entre le mois de janvier 2023 et d'avril ($p = 0,01863$) ; de janvier 2023 et d'août ($p = 0,001639$) ; de janvier 2023 et de septembre ($p = 0,00617$) ; de janvier 2023 et d'octobre ; de janvier 2023 et de novembre ($p = 0,001269$) ; de janvier 2023 et de décembre ($p = 0,02615$) ; de janvier 2023 et de janvier 2024 ($p = 0,01726$) ; de février et d'octobre ($p = 0,01218$) ; de mars et d'avril ($p = 0,04198$) ; de mars et d'août ($p = 0,004113$) ; de mars et de septembre ($p = 0,02251$) ; de mars et d'octobre ; de mars et de novembre ($p = 0,003209$) ; de mars et de janvier 2024 ($p = 0,03908$) ; d'avril et de juin ($p = 0,009243$) ; de juin et d'août ($p = 0,0007582$) ; de juin et de septembre ($p = 0,004652$) ; de juin et d'octobre ($p = 0,005$) ; de juin et de novembre ($p = 0,0005847$) ; de juin et de décembre ($p = 0,01317$) ; de juin et de janvier 2024 ($p = 0,005535$) ; de juillet et d'octobre ($p = 0,00157$) ; de juillet et de novembre ($p = 0,0435$).

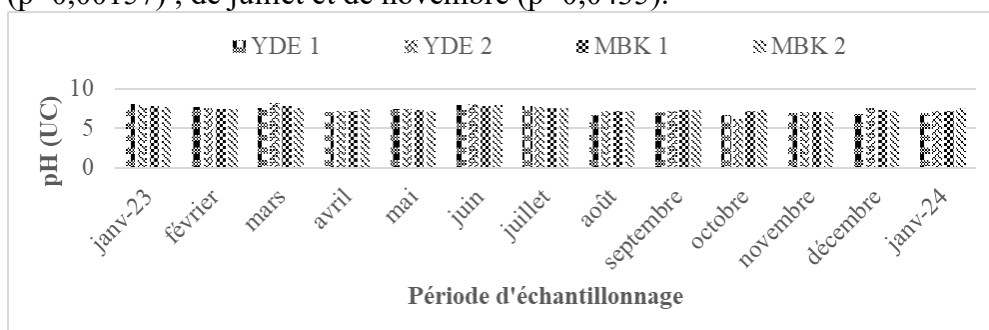


Figure 4 : Variation spatio-temporelle du pH durant la période d'étude

Pourcentage en saturation en oxygène (%O₂)

Le pourcentage en saturation en oxygène a varié d'un étang piscicole à l'autre. La valeur maximale (76,4 %) a été enregistrée au mois de novembre dans l'étang piscicole YDE1 et la valeur minimale (2,3 %) a été enregistrée au mois de juillet dans l'étang piscicole YDE 2 avec une moyenne de $31,72 \pm 19,75\%$ (Figure 5). Sur le plan temporel, le test F Welch n'a montré aucune différence significative d'un mois à l'autre ($p = 0,0127$).

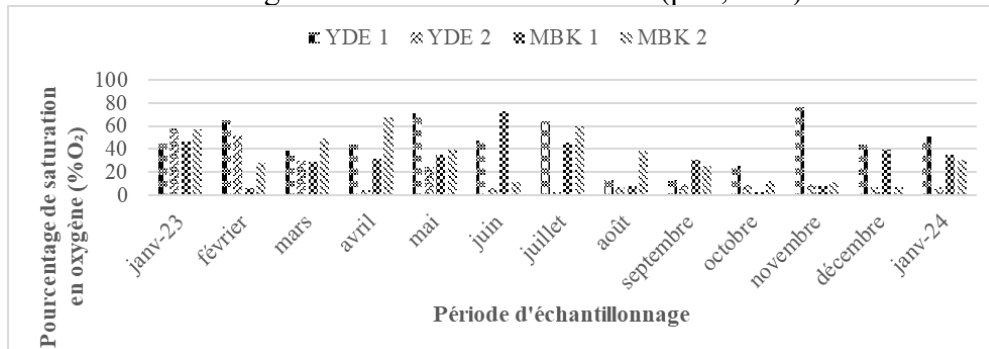


Figure 5 : Variation spatio-temporelle du pourcentage de saturation en oxygène durant la période d'étude

Nitrite (mg/L)

Le nitrite (NO_2^-) a varié d'un étang piscicole à l'autre. La valeur maximale (0,5mg/L) a été enregistrée dans les étangs piscicoles MBK1 et YDE2 aux mois de février et d'avril respectivement. La valeur minimale (0mg/L) a été enregistrée au mois de septembre dans les étangs piscicoles YDE2 et MBK1 avec une moyenne de $0,075 \pm 0,092$ (Figure 6). Sur le plan temporel, le test F Welch n'a montré aucune différence significative $p=0,3113$.

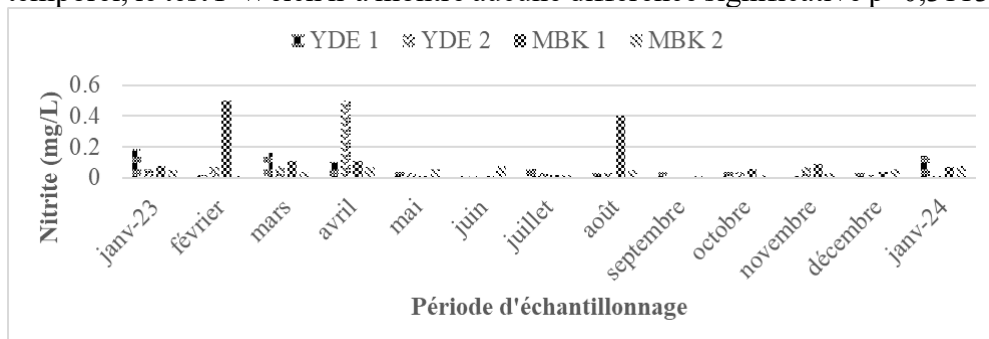


Figure 6 : Variation spatio-temporelle du nitrite durant la période d'étude

Nitrate (mg/L)

Concernant les nitrates (NO_3^-), la teneur maximale a été de 7,6 mg/L et obtenue dans l'étang piscicole YDE2 au mois de juin et la plus faible teneur a été de 0 mg/L, valeur obtenue dans les étangs piscicoles YDE1 et MBK1 au mois de janvier 2023 et dans l'étang piscicole MBK1 au mois de février, pour une moyenne s'organisant autour de $1,69 \pm 2,0$ mg/L (Figure 7). En ce qui concerne les nitrates, sur le plan temporel, le test F Welch a montré des différences significatives ($p < 0,05$) et le test de Tukey a montré des différences entre le mois de janvier 2023 et de juin ; de février et de juin ; de mars et de juin ; d'avril et de juin ; de mai et de juin ; de juin et de juillet ; de juin et d'août ; de juin et de septembre ; de juin et de décembre ; de juin et de janvier 2024 ($p < 0,05$).

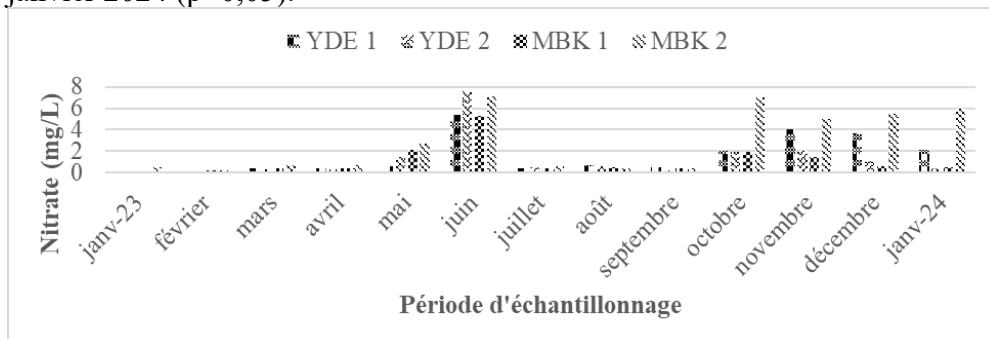


Figure 7 : Variation spatio-temporelle du nitrate durant la période d'étude

Ammonium(mg/L)

Pour les teneurs en azote ammoniacal, elles ont fluctué de 3,94 mg/L dans l'étang piscicole YDE2 au mois de septembre à 0 mg/L dans le même étang piscicole au mois de janvier 2023 avec une moyenne de $0,74 \pm 0,72$ mg/L (Figure 8). Le test F Welch n'a montré aucune différence significative sur le plan temporel ($p > 0,05$).

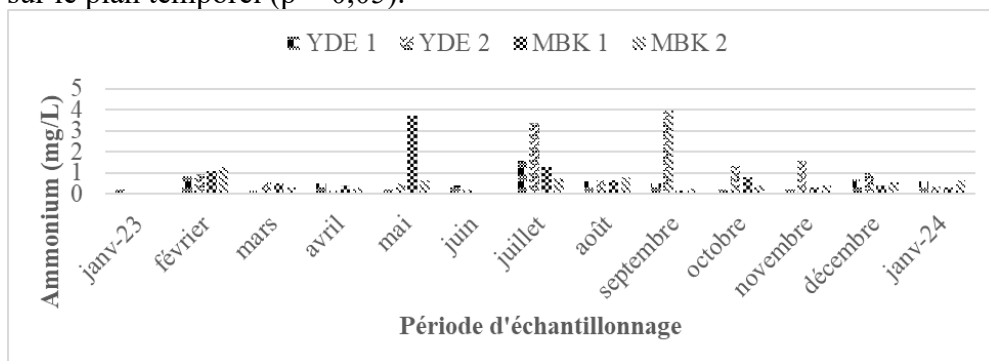


Figure 8 : Variation spatio-temporelle de l'ammonium durant la période d'étude

Orthophosphate(mg/L)

Les teneurs en orthophosphate enregistrées ont oscillé entre 2,87 mg/L dans l'étang piscicole YDE1 au mois de juillet et 0,01 mg/L dans le même étang piscicole YDE1 au mois d'août avec une moyenne de $1,19 \pm 0,94$ mg/L (Figure 9). D'après le test F Welch n'a montré aucune différence significative sur le plan temporel ($p > 0,05$).

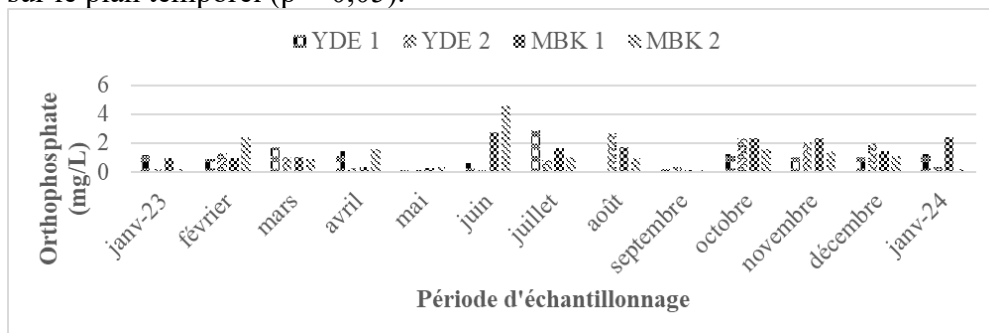


Figure 9 : Variation spatio-temporelle de l'orthophosphate durant la période d'étude

Conductivité électrique (μS/cm)

S'agissant de la minéralisation des eaux, les valeurs extrêmes de la conductivité électrique ont été enregistrées au mois de juillet et se sont échelonnées de 234 μS/cm dans l'étang piscicole YDE1 à 43 μS/cm dans l'étang piscicole MBK2 au mois d'octobre avec une moyenne de $120,08 \pm 28,61$ μS/cm (Figure 10). Le test F Welch n'a montré aucune différence significative d'un mois à l'autre sur le plan temporel ($p > 0,05$).

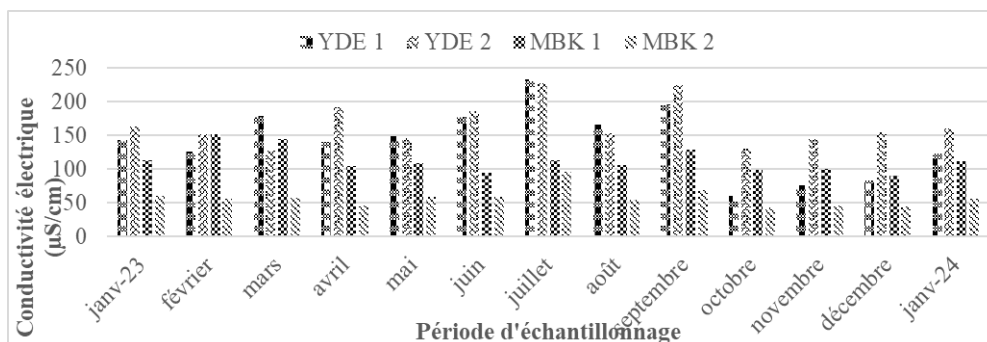


Figure 10 : Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique durant la période d'étude

Indice de Pollution Organique (IPO) de Leclercq

L'Indice de Pollution Organique (IPO) dans les étangs piscicoles étudiés oscille entre 1,67 et 4 avec une moyenne de $2,55 \pm 0,10$. Le test F Welch n'a montré aucune différence significative d'un mois à l'autre sur le plan temporel ($p > 0,05$). La moyenne a été faible pendant la période d'étude et une pollution organique forte des eaux tout en indiquant un degré d'altération élevé des eaux dans les étangs étudiés. (Figure 11).

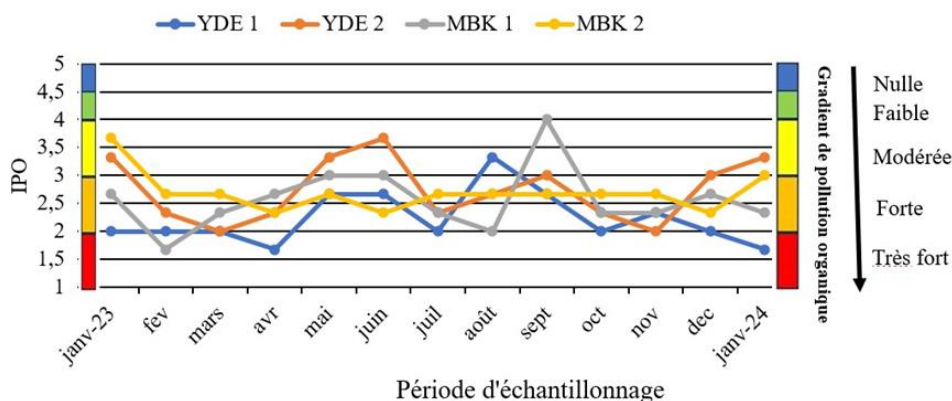


Figure 11 : Variation spatio-temporelle de l'IPO pendant la période d'étude

Analyse de Classification Hiérarchique (ACH)

La hiérarchisation des étangs piscicoles étudiés sur la base des variables biologiques a défini trois groupes distincts sur la base de leurs similarités. Le groupe I a été composé de l'étang piscicole MBK1 et qui s'est caractérisé par les familles Bulinidae, Chironomidae, Belostomatidae, Notonectidae, Elmidae, Hydraenidae, Pleidae, Aspidytidae, Gerridae et Athericidae. Le groupe II a été composé des étangs piscicoles YDE1 et YDE2 lesquelles ont été définis par les familles Aeshnidae, Nepidae, Gomphidae, Physidae, Gyrinidae, Glossiphonidae, Littorinidae, Baetidae et Lestidae. Enfin

le groupe III a été constitué de l'étang piscicole MBK2 qui a été caractérisé par les familles Hydrophilidae, Corixidae, Libellulidae, Synlestidae, Pomatiopsidae, Platycnemididae, Corduliidae, Naucoridae et Coenagrionidae (Figure 12).

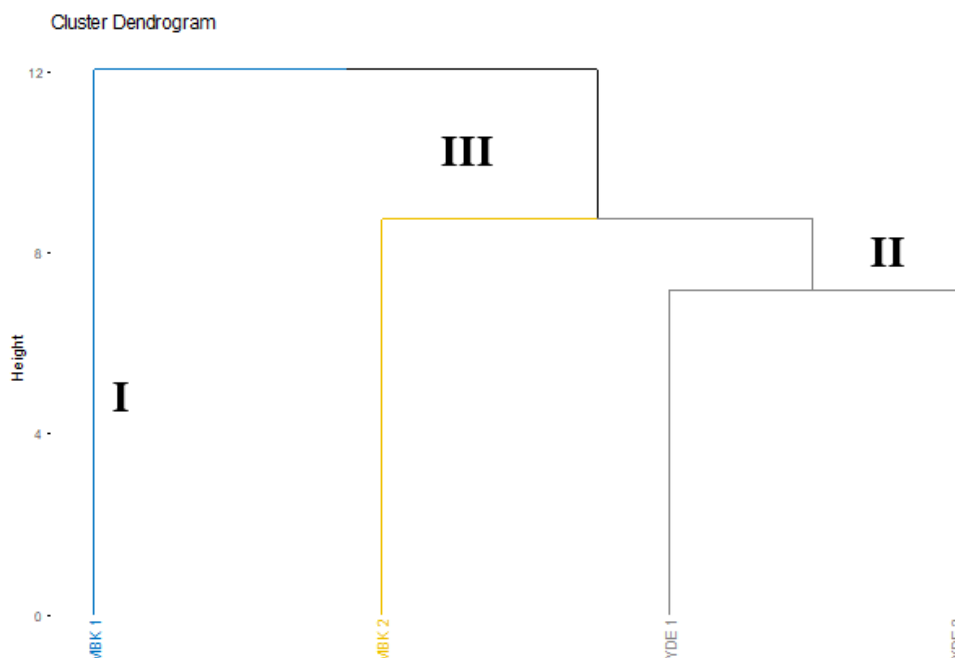


Figure 12 : Analyse de Classification Hiérarchique (ACH) des étangs piscicoles étudiés réalisée à partir des taxons de MIB récoltés dans les différents étangs piscicoles pendant la période d'étude

Analyse en Composante principale (ACP)

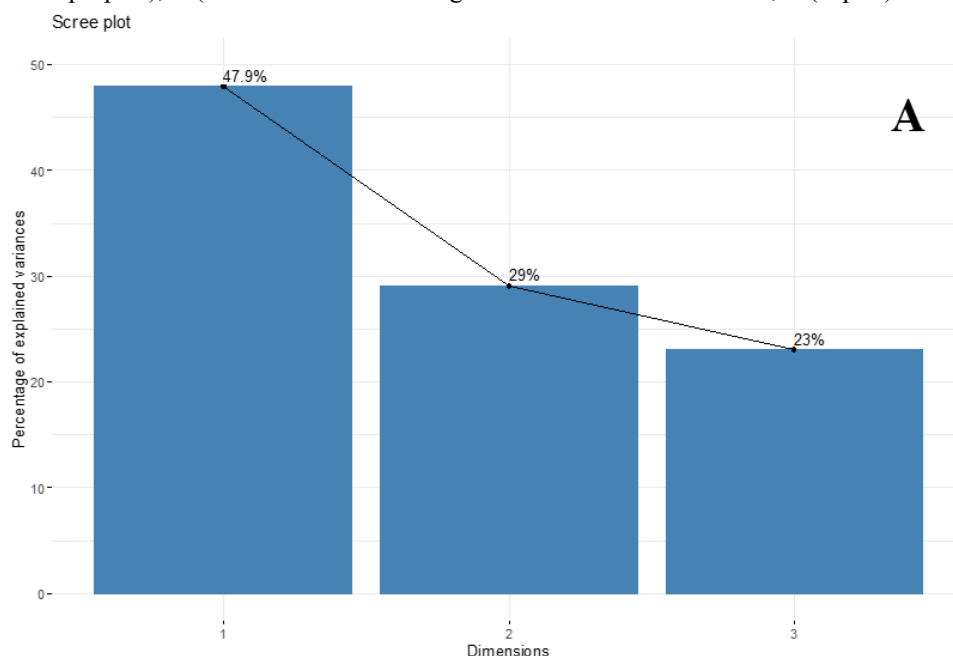
L'Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée à partir des taxons constants, réguliers et omniprésents. La présente une carte factorielle dont les informations ont été présentées sur les deux premières dimensions (76,9%). La dimension 1 regroupe 47,9% des informations globales tandis que la dimension 2 elle a regroupé 29 % des informations totales (Figure 13A).

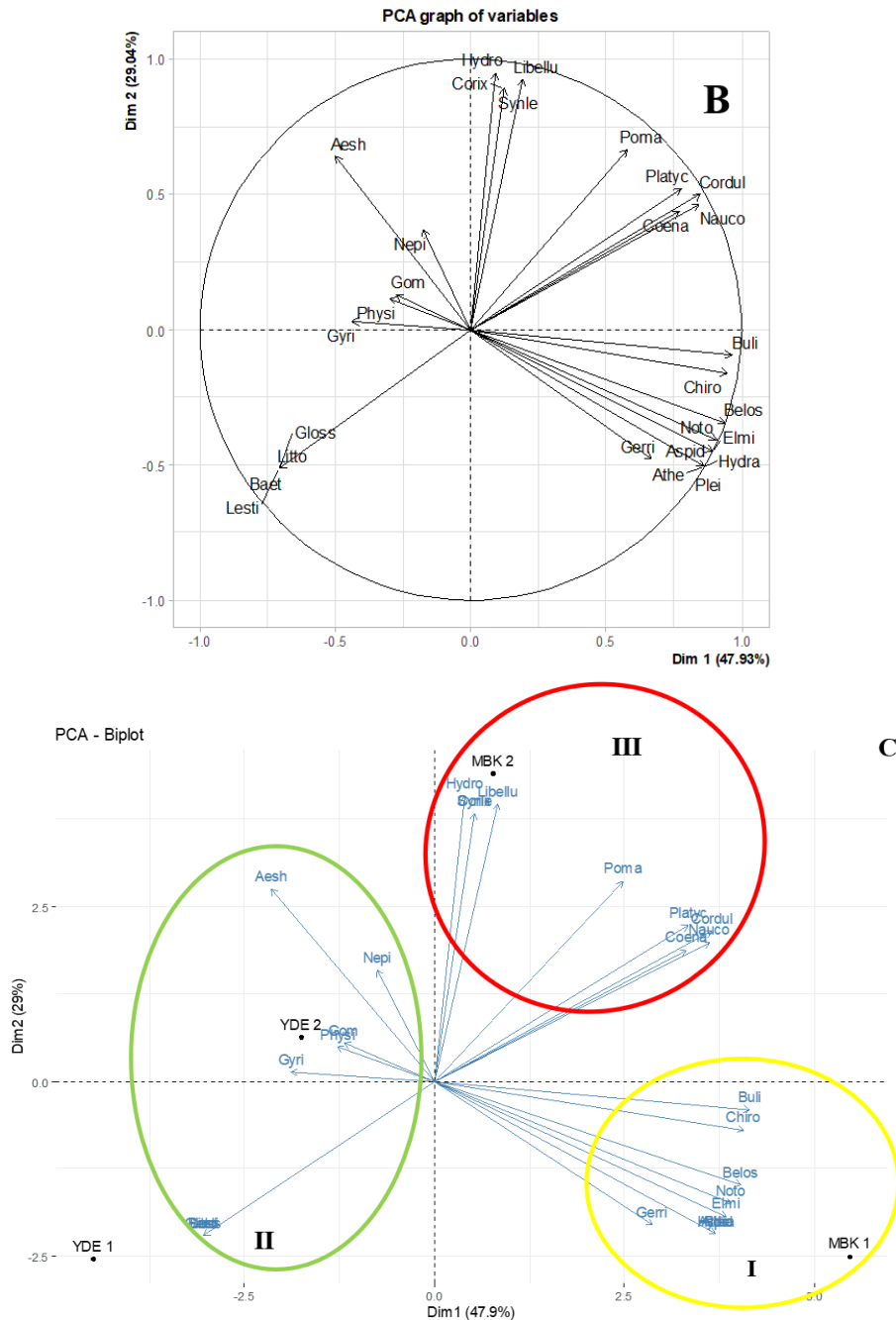
Cette analyse a permis de regrouper les différents étangs piscicoles en trois grands groupes (I, II et III) (Figure 13B). Le groupe I est situé dans la partie négative de la dimension 1 et la partie positive de la dimension 2, se compose des familles Bulinidae, Chironomidae, Belostomatidae, Notonectidae, Elmidae, Hydraenidae, Aspidytidae, Gerridae et Athericidae. Le groupe II est situé dans les parties négatives des dimensions 1 et 2, se compose des familles Aeshnidae, Nepidae, Gomphidae, Physidae, Gyrinidae, Glossiphonidae, Littorinidae, Baetidae et Lestidae. Le groupe III lui est situé dans les parties positives des dimensions 1 et 2 et comporte les familles

Hydrophilidae, Corixidae, Libellulidae, Synlestidae, Pomatiopsidae, Platycnemididae, Corduliidae, Naucoridae et Coenagrionidae (Figure 13B).

Les poids factoriels des variables biologiques prises en compte dans l'assemblage défini par l'ACP nous a révélé que plus de la moitié des organismes sont corrélés aux deux premières dimensions (1 et 2). Ainsi, le groupe I constitué de l'étang piscicole MBK1 s'est caractérisé par les organismes corrélés négativement sur la dimension 1 et positivement sur la dimension 2. Les organismes qui définissent ce groupe sont les suivants : Bulinidae, Chironomidae, Belostomatidae, Notonectidae, Elmidae, Hydraenidae, Aspidytidae, Gerridae et Athericidae (Figure 13C). Le groupe II constitué des étangs piscicoles YDE1 et YDE2 regroupe des organismes corrélés négativement sur les dimensions 1 et 2. Les organismes caractéristiques de ce groupe sont : les familles Aeshnidae, Nepidae, Gomphidae, Physidae, Gyrinidae, Glossiphonidae, Littorinidae, Baetidae et Lestidae. Le groupe III quant à lui étant constitué de l'étang piscicole MBK2 regroupe des organismes qui sont corrélés positivement sur les deux dimensions (1 et 2). Les organismes qui s'épanouissent dans les conditions qu'offrent l'étang piscicole de ce groupe III sont les familles Hydrophilidae, Corixidae, Libellulidae, Synlestidae, Pomatiopsidae, Platycnemididae, Corduliidae, Naucoridae et Coenagrionidae (Figure 13C).

Figure 13 : Analyse en Composante Principale (ACP) réalisée à partir des variables biologiques des étangs piscicoles durant la période d'étude : A (Histogramme des valeurs propres), B (Corrélation entre les organismes et les axes factoriels, C (Biplot).





Hydro = Hydrophilidae ; Libellu = Libellulidae ; Corix = Corixidae ; Synle = Synlestidae;
Poma= Pomatiopsidae; Platyc= Platynemididae; Cordul=Corduliidae; Nauco = Naucoridae;
Coena = Coenagrionidae; Buli = Bulinidae ; Chiro = Chironomidae ; Belos= Belostomatidae;
Noto = Notonectidae; Elmi = Elmidae; Aspid = Aspidytidae; Hydra = Hydraenidae ; Plei =
Pleidae ; Athe= Athericidae; Gerri = Gerridae; Aesh = Aeshnidae ; Nepi= Nepidae ; Gom =
Gomphidae; Physi = Physidae; Gyri = Gyrinidae ; Gloss = Glossiphonidae ; Litto =
Littorinidae ; Baet = Baetidae ; Lesti= Lestidae.

Richesse taxonomique et abondance des macroinvertébrés benthiques

Au cours de cette étude, 9140 individus ont été récoltés appartenant à 3 embranchements (Arthropodes Mollusques et Annélides), 3 classes, 8 ordres et 32 familles.

L'embranchement des mollusques correspond 7344 individus soit 80,35 % d'abondance relative puis celui des arthropodes 1795 individus soit 19,63 % d'abondance relative et celui des Annélides l'individu soit 0,01% d'abondance relative. Du point de vue global des données biologiques enregistrées au cours de cette étude, il a été constaté une dominance de l'embranchement de mollusques (Figure14).

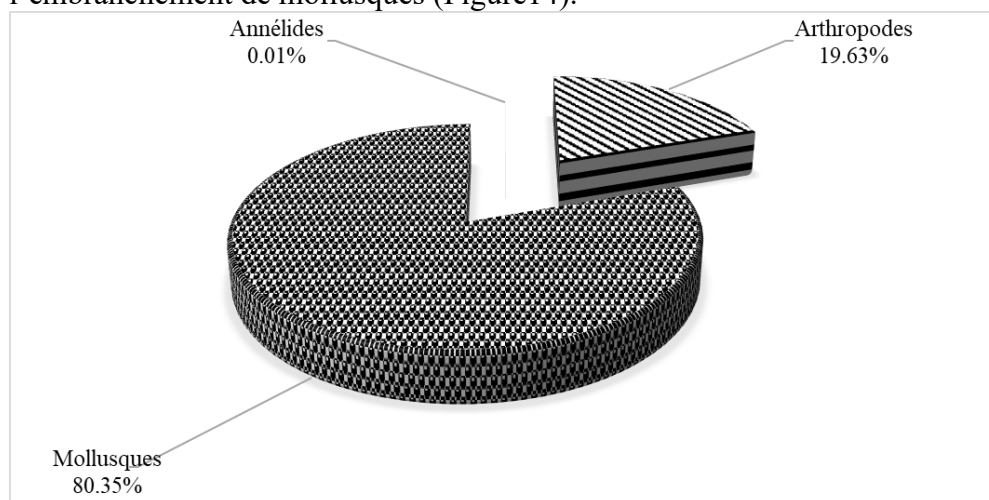


Figure 14 : Abondances relatives des embranchements durant les périodes d'étude

Richesse spécifique totale des macroinvertébrés benthiques dans les étangs piscicoles phytoplanctoniques

L'étang Yaoundé1a donné la plus grande richesse spécifique au cours de la période d'étude avec 6023 espèces obtenues représentant 65,89 % de la richesse spécifique totale (Figure 15). Il est suivi de l'étang Yaoundé2 avec 1552 espèces (16,98%), l'étang Mbankomo1 avec 943 espèces (10,31%) et l'étang Mbankomo2 avec la plus faible richesse spécifique de 622 espèces représentant 6,80% de la richesse spécifique totale des étangs prospectés (Figure 15).

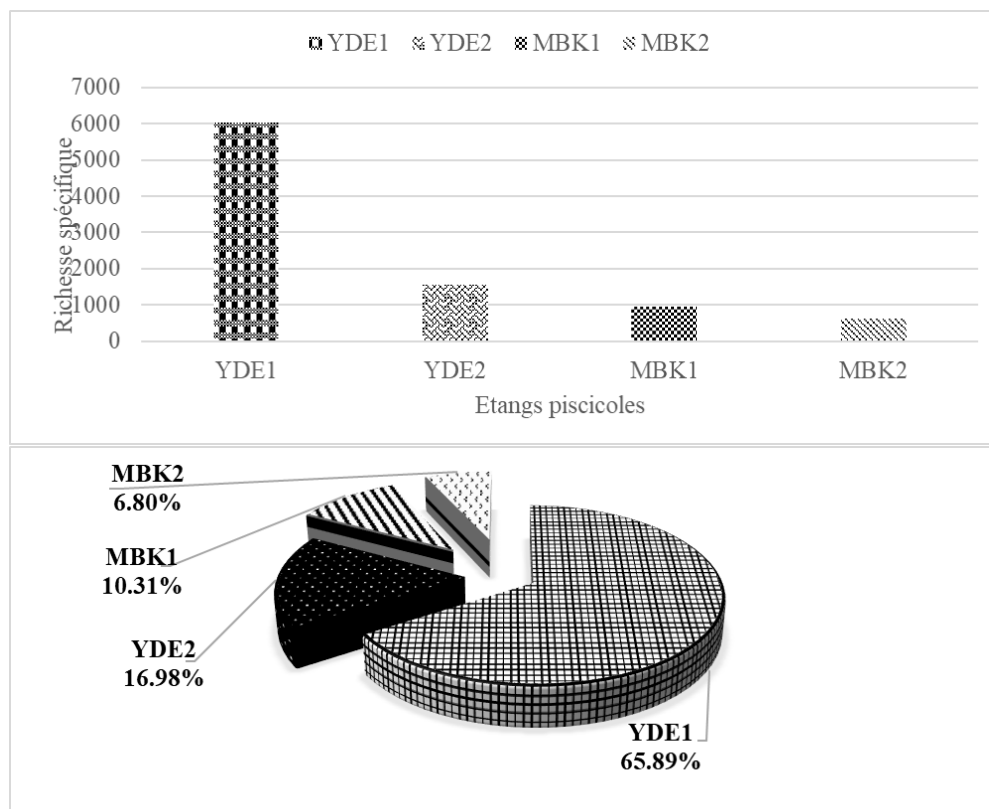


Figure 15 : Richesse spécifique totale des macroinvertébrés des différents étangs étudiés

Indice de diversité de Shannon et Weaver et l'équitabilité de Piélou

Les valeurs de l'indice de Shannon & Weaver varient de 0,37bit/ind dans l'étang piscicole YDE1 à 3,25 bits/ind dans l'étang piscicole MBK1 avec une moyenne de $2,24 \pm 1,29$ bits/ind. Le test F Welch n'a montré aucune différence significative d'un mois à l'autre sur le plan temporel ($p = 0,5887$) (Figure 16).

L'équitabilité J de Piélou présente des valeurs qui varient de 0,44 dans l'étang piscicole YDE1 à 0,60 dans l'étang piscicole MBK1. Ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de $0,41 \pm 0,24$. Le test F Welch n'a montré aucune différence significative d'un mois à l'autre sur le plan temporel ($p = 0,58$) (Figure 16).

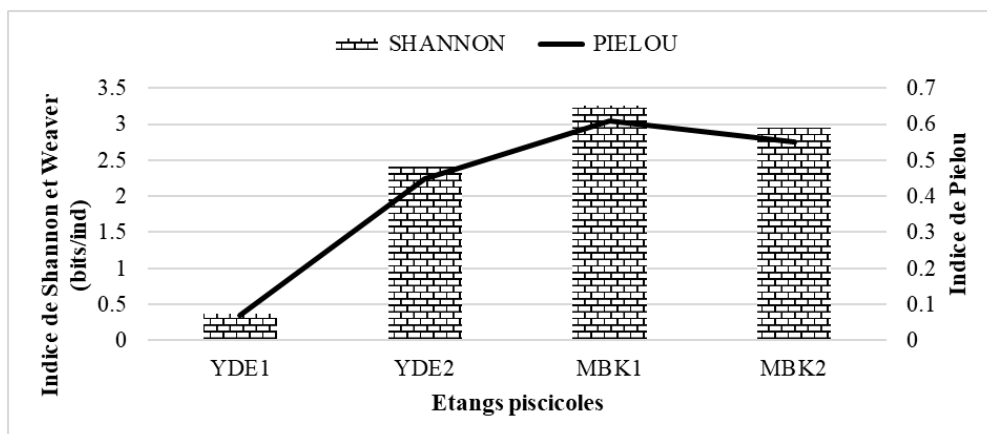


Figure 16 : Variation de l'indice de diversité de Shannon et Weaver et d'équitabilité de Pielou pendant la période d'étude

Corrélations entre les différents paramètres physicochimiques et des macroinvertébrés pendant la période d'étude

Le test de corrélation « r » au rang de Pearson a révélé 24 corrélations significatives entre certains paramètres physicochimiques et les macroinvertébrés. Il s'agit notamment de la température qui est corrélée positivement et significativement avec les familles de Nepidae ($r = 0,276$; $p = 0,046$), de Physidae ($r = 0,438$; $p = 0,001$) et de Platycnemididae ($r = 0,295$; $p = 0,034$). La corrélation a été significative et négative entre la température et les familles de Planorbidae ($r = -0,326$; $p = 0,018$) et de Thiaridae ($r = -0,287$; $p = 0,039$). Le pourcentage de saturation en oxygène a été significativement et positivement corrélé avec les familles de Planorbidae ($r = 0,387$; $p = 0,005$) et de Thiaridae ($r = 0,344$; $p = 0,013$). De même, le pourcentage de saturation en oxygène a été corrélé significativement et négativement entre les familles de Nepidae ($r = 0,311$; $p = 0,025$), de Lymnaeidae ($r = 0,313$; $p = 0,024$) et de Gerridae ($r = 0,313$; $p = 0,024$). La corrélation a été significative et positive entre le nitrite avec les familles de Notonectidae ($r = 0,478$; $p = 0$), de Lymnaeidae ($r = 0,458$; $p = 0,001$), de Elmidae ($r = 0,548$; $p = 0$) et de Pleidae ($r = 0,565$; $p = 0$). Le nitrate a été significativement et positivement corrélée avec la famille de Libellulidae ($r = 0,374$; $p = 0,006$). De même, l'orthophosphate a été corrélée de façon significative et positive avec la famille de Libellulidae ($r = 0,391$; $p = 0,004$) et l'orthophosphate a été corrélé également significativement et négativement avec les familles de Aeshnidae ($r = -0,290$; $p = 0,037$). La conductivité électrique a été corrélé positivement et négativement avec les familles des Lymnaeidae ($r = 0,341$; $p = 0,014$), de Planorbidae ($r = 0,355$; $p = 0,010$), puis la conductivité électrique a été significativement et négativement corrélée avec les familles de Libellulidae ($r = -0,432$; $p = 0,001$) et d'Hydrophilidae ($r = -0,395$; $p = 0,004$). Enfin La transparence a été corrélé

positivement et négativement avec la famille de Gomphidae ($r = 0,407$; $p=0,003$) (Tableau 1).

Tableau 1: Valeurs de coefficients de corrélation de Pearson entre les paramètres physicochimiques et les familles des macroinvertébrés benthiques

Physicochimiques Biologiques	TEM	pH	P S O	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	NH ₄ ⁺	CE	Trans.
Libellulidae	-,034	,083	-,131	-,129	,374**	,391**	-,162	-,432**	-,185
Nepidae	,276*	-,005	-,311*	-,002	,246	-,185	-,090	,122	-,011
Notonectidae	,006	,079	-,174	,478**	-,180	,045	,099	,038	-,160
Lymnaeidae	,250	,113	-,313*	,458**	-,033	-,194	-,035	,341*	,142
Elmidae	,048	,042	-,119	,549**	-,090	-,032	,039	,076	-,100
Aeshnidae	,069	,129	,082	-,115	,196	-,290*	-,181	,020	-,033
Planorbidae	-,326*	,091	,387**	,029	-,220	,031	-,034	,355**	,105
Thiaridae	-,287*	,054	,344*	-,128	-,016	-,130	-,078	,273	,019
Physidae	,438**	,043	-,159	,312*	-,055	-,226	-,103	,203	,139
Platycnemididae	,295*	,055	-,238	-,054	,158	,204	,182	-,112	,007
Gomphidae	,020	,097	,172	-,020	-,107	-,143	-,121	,118	,407**
Gerridae	-,012	,038	-,313*	,235	-,085	,241	,123	,102	,003
Hydrophilidae	,131	,022	-,205	-,159	,377**	,005	-,076	-,395**	-,097
Pleidae	,040	,024	-,165	,565**	-,096	-,037	,065	,086	-,143

TEM = Température ; PSO = Pourcentage de Saturation en Oxygène ; CE = Conductivité électrique ; pH = potentiel d'Hydrogène ; PO₄³⁻ = Phosphates ; NH₄⁺ = Ammonium ; NO₃⁻ = Nitrates ; IPO = Indice de pollution Organique ; Trans. = Transparence ; NO₂⁻ = Nitrites. * Corrélation significative à 0.01, **Corrélation significative à 0.05

Discussion

Caractéristiques physicochimiques

Pour cette étude, la qualité de l'eau des étangs piscicoles sur le plan physicochimique est un facteur d'importance majeur dans la croissance des poissons. Au cours de cette étude, la température moyenne de l'eau a oscillé autour de $26,81 \pm 1,86$ °C et semblable à celle obtenue par Mogue (2021) dans les étangs de Bertoua qui a été de $26,44 \pm 0,51$ °C. Les variations de température observées dans ces étangs étudiés seraient liées à la température ambiante. Ces valeurs sont restées dans la gamme de températures proposée par Malcom et *al.* (2000) qui affirment qu'une meilleure croissance des organismes aquatiques est optimale entre 24 et 28 °C.

La valeur moyenne du pH ($7,37 \pm 0,16$ UC) enregistrée au cours de cette étude, a montré que les eaux des étangs ont été légèrement basiques. Mais les valeurs enregistrées de façon générale de pH sont restées dans les gammes de pH favorables à la vie aquacole (6,5-8UC) préconisées par le Ministère de l'Ecologie et du développement Durable (MEDD) & Agences de l'eau (2003). A ce propos, Dabbadie (1996) affirme que les pH basiques sont dus à la consommation du CO₂ en journée par les plantes. L'oxygène est un élément clé dans la pisciculture par ce qu'il favorise la croissance rapide et la santé des poissons, c'est un gaz vital. Le pourcentage de saturation en oxygène dissous

($21,72 \pm 9,52\%$) dans les eaux des étangs piscicoles étudiés, est inférieur à celui préconisé par Schlumberger et Bouretz (2002) dans les eaux de pisciculture (50 à 62,5 %). Cette faible oxygénation des eaux de ces étangs étudiés résulterait de l'activité photosynthétique dans la nuit et à l'activité des bactéries aérobies qui consomment l'oxygène présent dans les eaux des étangs étudiés. A ce propos Rodier et *al.* (2009) souligne que, les teneurs inférieures à 80% sont dues à la présence des végétaux, du phénomène de la photosynthèse et de la présence des organismes et germes aérobies. La valeur moyenne ($21,52 \pm 9,52\text{cm}$) de la transparence de l'eau obtenue dans les étangs piscicoles étudiés est inférieure à la valeur obtenue par Dakwen (2020) dans les étangs d'Ekoumou au Cameroun. Cette faible valeur de transparence des étangs est attribuée à l'action des vents et à la faible profondeur des étangs. En effet, les vents provoquent des turbulences qui couplés à la faible profondeur des étangs remettent constamment en suspension les particules sédimentaires (Cunha et *al.*, 2019).

Pour ce qui est des nitrites et nitrates, les valeurs moyennes de ces deux paramètres chimiques (respectivement $0,075 \pm 0,06$ et $1,69 \pm 0,59$ mg/L) sont inférieures à celles recommandées par Schlumberger (2002) donc 0,2mg/L pour le nitrite et 3 mg/L pour le nitrate. Ces paramètres confirment donc un faible enrichissement en matières organiques dans les étangs piscicoles étudiés. Ces valeurs sont faibles par rapport à celles obtenues par Dakwen (2020) dans les étangs d'Ekoumou au Cameroun.

La valeur moyenne en azote ammoniacal ($0,72 \pm 0,60$ mg/L) enregistrée pendant la période d'étude a été inférieure à la valeur ($1,03 \pm 1,179$ mg/L) obtenue par Nzombi (2021) dans les étangs d'Odza au Cameroun. Ceci se justifierait par une minéralisation incomplète de la matière organique disponible qui serait due à la faible valeur du milieu en oxygène. A ce propos Kemka (2000) signale d'ailleurs que les teneurs en azote ammoniacal sont fortement dépendantes du degré d'oxygénation de l'eau.

La valeur moyenne de l'orthophosphate ($1,19 \pm 0,18$ mg/L) déterminée dans la présente étude a été supérieure à celles obtenues par Ntumba et *al.* (2016) dans les étangs piscicoles des vallées de Kimwenza à Kinshasa ($0,31 \pm 0,19$ mg/L). La valeur forte d'orthophosphate obtenue résulterait de la décomposition des déchets et des excréments issus de poissons. A ce propos Ajeagah et *al.* (2013) stipule que la valeur élevée en orthophosphate dans un plan d'eau est due la conséquence d'un relargage à partir des sédiments du fond et est aussi liée à une pollution nutritionnelle résultant de l'apport de nutriments par les pisciculteurs. La valeur élevée en orthophosphate dans un plan d'eau est l'indicateur d'eutrophisation. Pour la valeur Moyenne de la conductivité électrique ($120,08 \pm 16,20$ μS/cm) est incluse dans l'intervalle de conductivité propice pour la pisciculture qui vont de 150 à 450 μS/cm selon Mamadou (1998). Cette valeur est inférieure à la valeur ($226 \pm 81,44$ μS/cm)

obtenue par Nzombi (2021) dans l'étang d'Odza à Yaoundé. Cette faible valeur de conductivité électrique pourrait se justifier par le faible niveau de pollution des eaux.

Caractéristiques biologiques

La richesse taxonomique des macroinvertébrés enregistrée dans les différents étangs piscicoles étudiés a été constituée de 9140 individus avec 32 familles. Cette richesse taxonomique (32 familles) a été supérieure à celle obtenue par Nzombi (2021) dans l'étang d'Odza à Yaoundé et qui est de 18 familles. Cette richesse taxonomique a été relativement inférieure à celle obtenue par Kouamé et *al.* (2011) dans le lac de barrage hydroélectrique de Taabo et qui est de 40 familles, par Souleymane (2014) dans le bassin versant de la Volta au Burkina-Faso qui est de 33 familles par Yapo et *al.* (2012) dans des étangs piscicoles du sud de la Côte d'Ivoire dans la lagune de Porto-Novo 35 familles. La faible richesse obtenue pourrait liée à la difficulté d'échantillonnage du benthos dans les étangs dont les fonds ont été majoritaires recouvert de débris végétaux morts. La répartition des taxons sur l'ensemble des étangs piscicoles a montré la prédominance de l'embranchement des mollusques avec une abondance relative de 80,35 %, de celle des Arthropodes avec une abondance relative de 19,63 % et suivi de l'embranchement des Annélides avec pour abondance relative de 0,01 %. Ces résultats ont été semblables à ceux des travaux de Kouamé et *al.* (2018) dans la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire, Pateuk (2021) dans le lac carrière de Ngoa-Ekélé et Kouamé et *al.* (2011) dans le lac de barrage hydroélectrique de Taabo. La majeure partie des peuplements des macroinvertébrés benthiques récoltés dans ces plans d'eau appartient à l'embranchement des Mollusques. La dominance de l'embranchement des Mollusques pourrait être liée à l'augmentation du calcium dans les étangs et à l'enrichissement des étangs en matière organique et en nutriments. Selon Moisan et Pelletier (2008) la majeure partie des mollusques aquatiques sont très peu sensibles à la pollution de ce fait sont parmi les derniers à disparaître dans un environnement perturbé. Ce résultat a été contraire à ceux de Nzombi (2021) dans l'étang d'Odza à Yaoundé et de Souleymane (2014) dans le bassin versant de la Volta au Burkina-Faso où l'embranchement des Arthropodes a été dominant. L'embranchement des Arthropodes (19,63%) ont constitués en totalité des Hexapodes avec leur faible pourcentage ont montré effectivement que les eaux des étangs n'ont pas été de bonne qualité. A ce propos, Moisan et Pelletier (2008) ont montré que la majeure partie des Hexapodes aquatiques sont très sensibles à la pollution et/ou à la modification de l'habitat et sont de ce fait les premiers à disparaître dans un environnement perturbé. Ainsi, dans les étangs étudiés, les Hexapodes ont été en majeure partie constitués des Odonates, des Hétéroptères, les Coléoptères et les Diptères. D'après Dedieu (2011), les des

Hétéroptères et les Diptères sont des taxons tolérants à une perturbation. Un stress environnemental pourrait donc favoriser la réduction de certaines niches écologiques occupées par ces types d'organismes. Cependant, les Odonates (9,59%) qui sont des Hexapodes sont constitués en grande partie des Libellulidae qui possèdent une tolérance élevée à la pollution trouvés dans les étangs. La présence des familles de Libellulidae et d'Hydrophilidae a été corrélée positivement et fortement au nitrate. Par ailleurs, les Hétéroptères (8,08%) étant de bons nageurs, ils peuvent éviter les zones les plus dégradées et pratiquent également une respiration aérienne (Dedieu, 2011). La famille de Notonectidae a été corrélée positivement et fortement avec Le nitrite. Les Annélides (0,01%) présentes dans ces étangs ont apporté d'avantages des arguments, selon lesquelles nos milieux étaient véritablement pollués, car la matière organique est un facteur favorable à leur prolifération (Karim *et al.*, 2018).

Les valeurs élevées de l'indice de Shannon (3,25bits/ind) et de l'équitabilité de Piélou (0,60) indiquent que les communautés de macroinvertébrés benthiques dans l'étang piscicole MBK1 sont diversifiées et équilibrées. A ce propos Dajoz (1985) affirme qu'un indice de diversité est d'autant plus élevé lorsque les conditions du milieu favorisent l'installation de nombreuses espèces. Par contre les faibles valeurs de l'indice de Shannon & Weaver (0,37 bit/ind) et de l'équitabilité de Piélou (0,060) enregistrées dans l'étang piscicole YDE1 traduisent un peuplement de macroinvertébrés peu diversifié par rapport aux autres étangs. Cette faible diversité serait liée à la prédominance de la famille des thiaridae, qui a entraîné un déséquilibre du peuplement des macroinvertébrés benthiques. Selon Davies *et al.* (2010), les faibles valeurs d'indice de diversité traduisent une mauvaise organisation du peuplement, conséquence de la prolifération de quelques espèces dominantes au détriment d'autres espèces.

Les quantités élevées des matières organiques mises en évidence par la faible valeur moyenne, de l'Indice de Pollution Organique (IPO) de Leclercq ($2,55 \pm 0,1$) traduit une forte pollution organique des étangs due à la faible minéralisation des matières organique. Les étangs étudiés sont de mauvaise qualité écologique. A ce propos Li *et al.* (2009) stipulent que les activités humaines engendrent une forte concentration de nutriments dans les milieux aquatiques.

Conclusion

L'étude menée dans quatre étangs piscicoles de la région du Centre, précisément dans les départements du Mfoundi et Mefou-et-Akono, avait pour objectif général d'évaluer la distribution des macroinvertébrés benthiques en rapport avec la qualité la physicochimique de ces étangs. Sur le plan physicochimique, la température moyenne des eaux des étangs étudiés a révélé

y est essentiellement tributaire à la température ambiante. Le test d'Anova a montré que la température l a varié d'un mois à l'autre $P= 0,3732$ et le test de Tukey a montré que la différence a été entre le mois de mai et d'août.

Les eaux des différents étangs ont présenté des valeurs de pH légèrement basiques. Ces valeurs de pH ont été situées dans l'intervalle favorable à la vie piscicole (6,5-8 UC). Le pourcentage de saturation en oxygène dans les eaux des étangs a été faible et a été en deçà de l'intervalle de pourcentage d'oxygène qui est propice à la pisciculture (50 à 80%). La faible valeur du pourcentage de saturation en oxygène dans les eaux des étangs pourrait provoquer le stress aux organismes aquatiques et même avoir un impact négatif sur leur croissance. La faible valeur de la conductivité des eaux a été en deçà de l'intervalle propice à la pisciculture (150 à 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Cette faible valeur de conductivité électrique pourrait se justifier par le faible niveau de pollution des eaux. Ces eaux sont dans un mauvais état écologique selon l'indice de pollution organique qui révèle un fort degré de pollution. Les résultats physicochimiques traduisent donc une mauvaise gestion des étangs mais qui serait néanmoins sous la menace l'encombrement des étangs par les nutriments.

Concernant la biologie, 9140 organismes de macroinvertébrés benthiques ont été récoltés. Le peuplement de macroinvertébrés benthiques dans les quatre étangs piscicoles a été constitué par les embranchements des Mollusques (80,63%), des Arthropodes (19,63%) et des Annélides (0,01%). La richesse spécifique identifiée a été répartie en 3 embranchements (Mollusques, Arthropodes et Annélides), 3 classes (Gastéropodes, Insectes et Bivalves), 8 ordres, et 32 familles. La faune macrobenthique est largement dominée par les Mollusques qui rassemblent près de 80,63% du peuplement global. La dominance des Mollusques traduit que les milieux ont été riches en matières organiques et de ce fait sont polluo-résistants. La structure du peuplement de macroinvertébrés benthiques récoltés dans les quatre cours d'eau durant toute la période d'étude est typique à celle des cours d'eau forestiers avec un peuplement très riche, diversifié et équitablement réparti. Les indices de diversité de Shannon et Weaver et d'équitabilité de Piéluou ($H' > 3$ bits/ind., et $J > 0,5$) ont montré des valeurs élevées dans l'étang piscicole MBK1, ce qui traduit un très bon équilibre et une bonne similitude dans la composition et la structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques, contrairement aux autres trois étangs piscicoles dont les valeurs plutôt faibles traduisent le déséquilibre et les dissimilitudes observés au sein de la macrofaune benthique.

Il serait essentiel pour les pisciculteurs, de créer un système de ventilation afin d'apporter l'oxygène les étangs et diminuer l'apport des nutriments aux poissons ainsi, afin d'éviter le stress et les pertes potentielles.

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.

References:

1. Ajeagah, GA, Bikitbe, JF & Long, F. (2013). Qualité bioécologique d'un milieu lacustre hyper-eutrophisé en zone équatoriale (Afrique Centrale) : peuplement de protozoaires ciliés et macro invertébrés benthos-aquatiques. *Afrique SCIENCE* 09(2) 50 – 66
2. American Public Health Association (APHA) (1998). Standard method for examination of water and wastewater. American Public Health Association, 20th édition, Washington, DC, 1150 p.
3. Camara, IA. (2013). Composition, structure et déterminisme des macroinvertébrés de la rivière Banco (Parc National du Banco, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire, 151 p.
4. Cunha, ME., Quental-Ferreira, H., Parejo, A., Gamito, S., Ribeiro, L., Moreira, M., Monteiro, I., Soares, F. & Pousão-Ferreira, P. (2019). Methodology for assessing the individual role of fish, oyster, phytoplankton and macroalgae in the ecology of integrated production in earthen ponds. *Methods X*, 512 (6): 2570-2576.
5. Dabbadié, L. (1996). Etude de la viabilité d'une pisciculture rurale à faible niveau d'intrant dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire : Approche du réseau trophique, Thèse de Doctorat de l'Université Paris 6, 207 p.
6. Dajoz, R. (1985). Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée. 5ème édition, Gauthier Villard, Paris (France), 505 p.
7. Dakwen, JP. (2020). Biodiversité zooplanctonique et variabilité d'une pisciculture à faible niveau d'intrants dans le Département du Mfoundi (Région du Centre, Cameroun). Thèse de Doctorat/PhD Option Hydrobiologie et Environnement de l'Université de Yaoundé I. (Cameroun). 183 p. + Annexes.
8. Davies, PJ., Wrigth, IA., Findlay, SJ., Jonasson, OJ. & Burgin, S. (2010). Impact of Urban development on aquatic macroinvertebrate in south eastern Australia: degradation of in-stream habitats and comparison with non-urban streams. *Aquatic Ecology*, 44: 685-700.

9. Dedieu, N. (2011). Etudes de la biodiversité en macroinvertébrés des étangs urbains de l'île de Montréal, université de Montréal. Canada, 13p.
10. Edwards, P. (1993). Environmental issues in integrated agriculture-aquaculture and wastewater- fed fish culture systems. In: Pullin, RSV, Rosenthal, H., Maclean, JL, (Eds), Environment and aquaculture in developing countries. Manila, Philippines ICLARM Conference Proceedings ; 139-170.
11. Efolé Ewoukem, T. (2011). Optimisation biotechnique de la pisciculture en étang dans le cadre du développement durable des Exploitations Familiales Agricoles au Cameroun. Thèse de Doctorat. UMRs INRA-Agrocampus Ouest « Sol Agro et Hydrosystème et Spatialisation » et « Ecologie et Santé des Ecosystèmes » à Rennes (France)/ Ichtyologie et Hydrobiologie appliquée à la FASA de l'Université de Dschang (Cameroun). 164 p. + Annexes.
12. Food and Agriculture Organization (FAO) (2009). Premier rapport panorama du projet GCP/GLO/208/BMC. Country stat pour l'Afrique subsaharienne. Bénin. FAO/CIFA Tech. Pap., 4, pp 332-364.
13. Food and Agriculture Organization (FAO) (2011). La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2010. Des défis à relever, un potentiel à réaliser.
14. Food and Agriculture Organization (FAO) (2020). La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2018 : La durabilité en action. Manuel technique. FAO Document technique sur les pêches.
15. Karim, A., Latifa, T., Fatima, ZH., Souad, E., Ahmed, Y & Mohammed, F. (2018). Diversité des macroinvertébrés aquatiques de la retenue du barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah a la confluence avec les eaux de l'oued Grou et bio-évaluation de la qualité de ses eaux (région de Rabat, Maroc), 16 p.
16. Karr, JR., Fausch, KD., Angermeier, PL., Yant, PR & Schlosser, IJ. (1986). Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale. Illinois Natural History Survey Special Publication, 5 : 28 p.
17. Kemka, N. (2000). Evaluation du degré de trophie du Lac Municipal de Yaoundé : Etude du milieu, Dynamique et structure du peuplement phytoplanctonique. Thèse Doctorat 3ème cycle, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun 178 p + Annexes.
18. Konan, SK, Ouattara, IN, Yao, LA & Gourene, Adepo, B. (2017). Hybridations des taxons *Oreochromis niloticus* (Linnée, 1758) aux taxons *Tilapia guineensis* (Bleeker, 1862) et *Sarotherodon melanotheron* (Rüppell, 1862) dans les étangs de la station aquacole de

- Layo (Côte d'Ivoire), International Journal of Biological and chemical Sciences, 11 (6) : 2901-2913.
19. Kouamé, MK., Dietoa, MY., Edia, EO., DaCosta, SK., Ouattara, A & Gourène, G. (2011). Macroinvertebrate communities associated with macrophyte habitats in a tropical man-made lake (Lake Taabo, Côte d'Ivoire). Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems (2011) 400, 03. DOI: 10.1051/kmae/2010035
 20. Kouamé, PY., Benié, RDA., Siaka, B., Julie, KC., Nahoua, IO & Essetchi, PK. (2018). Impacts des exploitations piscicoles en cages flottantes sur la structure des macroinvertébrés benthiques de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Int. J. Biol. Chem. Sci. 12(2): 769-780, April 2018. ISSN1997-342X(Online), ISSN1991-8631(Print)
 21. Lebel, A & Pontié, E. (2011). « Mbalmayo », Le Cameroun aujourd'hui. Paris : Editions du Jaguar.
 22. Leclercq, L. (2001). Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique, 44 p.
 23. Levêque, C & Balian, EV. (2005). Conservation of freshwater Biodiversity: does the real world meet scientific dream. Hydrobiologia, 542 pp 25-26.
 24. Li, M., Xie, GQ., Dai, CR., Yu, LX., Li, FR., Yang, SP. (2009). A study of the relationship between the water body chlorophyll a and water quality factors of the off coast of Dianchi Lake. Yunnan Geographic Environment Research, 21(2), 102–106.
 25. Malcolm, C., Beveridge, H & McAndrew, BJ. (2000). Tilapia: Biology and Exploitation. Institute of aquaculture. University of Stirling : Scotland ; p. 185.
 26. Mamadou, E. (1998). Caractérisation zootechnique de *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758), *O. hornorum* (Trewavas, 1960) et de l'hybride issu du croisement de *O. niloticus* femelle × *O. hornorum* mâle. Mémoire de DEA, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, p. 41.
 27. Ministère de l'Ecologie et du développement (MEDD) & Agences de l'eau (2003). Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau. Rapport de Présentation SEQ-Eau (Version 2). France, p. 106.
 28. Mogue, KGJ. (2021). Etude comparée des communautés zooplanctoniques et des niveaux trophiques de quelques étangs à Bertoua (Est-Cameroun). Thèse de Doctorat/PhD Option Hydrobiologie et Environnement de l'Université de Yaoundé I. (Cameroun). 183 p. + Annexes.
 29. Moisan, J & Pelletier, L. (2008). Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec-

- cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction de suivi de l'état de l'environnement Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-53591-1 (Version imprimée), 86p.
30. Mustapha M. (2017). Comparative assessment of the water quality of four types of aquaculture ponds under different culture systems.
 31. Ntumba, MJM, Mbadu, ZV & Kilolo, KV. (2016). Evaluation de la gestion des étangs piscicoles des vallées de Kimwenza dans la commune de Mont Ngafula / Kinshasa, R.D. Congo. Congo Sciences, 4 (2) : 124-134.
 32. Nzombi, AY. (2021). Qualité physico-chimique et dynamique des invertébrés dans l'étang d'Odza à Yaoundé. Mémoire de Master. Option Hydrobiologie et Environnement de l'Université de Yaoundé I. (Cameroun). 50 p. + Annexes.
 33. Ohio, EPA. (1987). Inter office Communication Regarding ARMCO's Elimination of Blast Furnace Blowdown in Outfall 001. From Mike Zimmerman, Southwest District Office. To Bob Phelps and John Kirwin, Industrial Waste Water, Central Office. August 21, 1987.
 34. Pateuck, D D. (2021). Distribution des invertébrés dans le lac carrière de Ngoa-Ekellé : importance des variables abiotiques. Mémoire de Master. Option Hydrobiologie et Environnement de l'Université de Yaoundé I. (Cameroun). 50 p. + Annexes.
 35. Pouomogne, V. (1994). L'Alimentation du Tilapia Oreochromis niloticus en étang. Evaluation du potentiel de quelques sous-produits agro-alimentaire et modalités d'apport des aliments. Thèse de Doctorat en Halieutique de l'ENSAR, Rennes (France), 160 p.
 36. Rodier, J., Legube, B & Merlet, N. (2009). Analyse de l'eau. 9e édition, Dunod, Paris ; 1526 p.
 37. Roche, PA, Billen, G., Bravard, JP, Decamps, H., Pennequin, D., Vindimian, E & Wasson JG. (2005). Les enjeux de recherche liés à la directive-cadre européenne sur l'eau. Comptes rendus Géoscience, 337 : 243-267.
 38. Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M & Usseglio-Polatera, P. (2006). Invertébrés d'eau douce-Systématique, biologie, écologie. CNRS éditions, Paris, 587 p.
 39. Tiogue, C. (2012). Régime alimentaire, caractéristiques de croissance et de reproduction de la carpe africaine Labeobarbus batesii Boulenger, 1903 (Teleostei: cyprinidae) en milieu naturel dans la plaine inondable des Mbô au Cameroun, Thèse de doctorat Ph.D en biotechnologies et productions animales, Université de Dschang, 158 p.
 40. Schlumberger, O. (2002). Mémento de la pisciculture d'étang, 4e édition. CEMAGREF (Ed), Montpellier (France), 237 p.

41. Schlumberger, O. & Bouretz, N. (2002). Réseaux trophiques et production piscicole. *Revue Sciences Eaux*. 15 : 177 – 192.
42. Souleymane, S. , Jean, ATK & Philipe, C. (2014). Inventaire et distribution spatio-temporelle des macroinvertébrés indicateurs de trois plans d'eau du bassin de la Volta au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(3): 1005-1029, June 2014. ISSN1997-342X(Online), ISSN1991-8631(Print)
43. Yapo, ML., Atse, BC & Kouassi, P. (2012). Inventaire des insectes aquatiques des étangs piscicoles au Sud de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*. 58, 4208-4222
44. Zango, P. (2017). Réponse du poisson-chat *Clarias jaensis* (Boulenger, 1909) à l'induction hormonale de la ponte, à l'alimentation des larves aux Zooplanktons et au grossissement en système semi-intensif. Thèse de Doctorat/PhD en Biotechnologie et productions animales. Université de Dschang (Cameroun), 126 p. + Annexes.

Processus de minéralisation et impact de l'irrigation sur les ressources en eau souterraine au Sahel : Cas du périmètre irrigué de Birni N'Konni (Sud-Niger)

Yacouba Nouhou Chaweye

Boukari Issoufou Ousmane

Yahaya Nazoumou

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,
Département de Géologie, Niamey, Niger

Guillaume Favreau

Marie Boucher

Université Grenoble Alpes (UGA), Institut des Géosciences de
l'Environnement (IGE), Institut de Recherche pour le Développement (IRD),
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Institut National
Polytechnique (INP), Grenoble, France

Rabilou Abdou Mahaman

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,
Département de Géologie, Niamey, Niger

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p175](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p175)

Submitted: 28 April 2025
Accepted: 06 August 2025
Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Chaweye, Y.N., Ousmane, B.I., Nazoumou, Y., Favreau, G., Boucher, M. & Mahaman, R.A. (2025). *Processus de minéralisation et impact de l'irrigation sur les ressources en eau souterraine au Sahel : Cas du périmètre irrigué de Birni N'Konni (Sud-Niger)*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 175. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p175>

Résumé

Au Sahel, en raison de la forte variabilité interannuelle des eaux de surface, les ressources en eau souterraine représentent la ressource la plus fiable pour l'irrigation. Toutefois, une évaluation préalable de leur disponibilité, qualité et dynamique pluriannuelle s'avère nécessaire afin de garantir l'efficacité et la durabilité des systèmes de production agricole. Une étude associant les données piézométriques et géochimiques a été réalisée a posteriori dans le périmètre irrigué de Birni N'Konni (Sud Niger) afin d'évaluer l'impact de l'irrigation sur les ressources en eau souterraine. Les résultats montrent que les eaux sont principalement sulfatées calciques et

magnésiennes (75%) et bicarbonatées calciques et magnésiennes (25%). Les résultats montrent que la minéralisation des eaux est principalement contrôlée par le processus d'interaction eau-roche et dans une moindre mesure par l'évaporation de la nappe. Les différents indicateurs conventionnels de la qualité de l'eau pour l'irrigation (EC, SAR, %Na, RSC, MAR et l'IP) indiquent que l'eau souterraine est dans une large gamme (75%) impropre et présente, à court et à long terme, de forts risques de salinisation qui nécessiterait un recours aux cultures de plantes plus tolérantes au sel. Les données piézométriques montrent que le développement de l'irrigation et le faible taux de renouvellement ont entraîné une baisse généralisée du niveau de la nappe de plus de 4 m depuis les années 1960. Cette étude montre que le risque de salinisation à court ou à long terme demeure permanent mais reste moins préoccupant que la baisse du niveau de la nappe phréatique. Par conséquent, nous appelons à la prudence quant à l'utilisation de l'eau souterraine pour l'irrigation et au développement de l'irrigation intensive pour une gestion durable des ressources en eau souterraine.

Mots-clés: Semi-aride, Sahel, irrigation, impact, salinisation, périmètre irrigué de Birni N'Konni

Mineralization process and impact of irrigation on groundwater resources in the Sahel: Case of the Birni N'Konni irrigated perimeter (South-Niger)

Yacouba Nouhou Chaweye

Boukari Issoufou Ousmane

Yahaya Nazoumou

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,
Département de Géologie, Niamey, Niger

Guillaume Favreau

Marie Boucher

Université Grenoble Alpes (UGA), Institut des Géosciences de
l'Environnement (IGE), Institut de Recherche pour le Développement (IRD),
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Institut National
Polytechnique (INP), Grenoble, France

Rabilou Abdou Mahaman

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,
Département de Géologie, Niamey, Niger

Abstract

In the Sahel, due to the high inter-annual variability of surface water, groundwater resources are the most reliable resource for irrigation. However, a preliminary assessment of their availability, quality, and multi-year dynamics is necessary to ensure the efficiency and sustainability of agricultural production systems. A study combining piezometric and geochemical data was carried out retrospectively in the Birni N'Konni irrigated area (southern Niger) to assess the impact of irrigation on groundwater resources. The results show that the waters are mainly calcium and magnesium sulfate (75%) and calcium and magnesium bicarbonate (25%). Water mineralization is mainly controlled by the water-rock interaction process, and to a lesser extent, by groundwater evaporation. The various conventional indicators of water quality for irrigation (EC, SAR, %Na, RSC, MAR, and IP) indicate that groundwater is largely (75%) unsuitable and presents a high risk of salinization in the short and long term, which would require the use of more salt-tolerant crops. Piezometric data show that the development of irrigation and the low renewal rate have led to a widespread decline in the water table of more than 4 m since the 1960s. This study indicates that the risk of salinization, whether in the short or long term, remains a permanent concern, but is less significant than the drop in the water table. Therefore, we call for

caution in the use of groundwater for irrigation and the development of intensive irrigation for the sustainable management of groundwater resources.

Keywords: Semi-arid, Sahel, irrigation, salinization, Birni N’Konni irrigated area

Introduction

Les zones semi-arides sahéliennes se caractérisent par des précipitations variables dans l’espace et dans le temps, qui se concentrent souvent dans des épisodes intenses, entrecoupées par des longues périodes de sécheresse (Lindle et al., 2023). Selon les prévisions du GIEC, l’intensité et la fréquence des fortes pluies devraient encore augmenter et les périodes sèches seraient encore plus longues (Taylor et al., 2013 ; Kendon et al., 2019).

En réponse à cette variabilité des précipitations, les cours et plans d’eau sont saisonniers et souvent éphémères (Taylor et al., 2013 ; Wekesa et al., 2020 ; Acworth et al., 2021). Cela limite la disponibilité et la durabilité des eaux de surface comme source d’approvisionnement en eau pour les activités socio-économiques (Lindle et al., 2023).

Les systèmes agricoles reposent principalement sur une agriculture pluviale de subsistance et un élevage extensif, tous deux sensibles à la variabilité climatique (Nazoumou et al., 2016). Les pertes de production agricole en années de sécheresses entraînent des crises alimentaires qui conduisent très souvent à des famines. Ainsi, pour protéger les communautés et les économies contre la menace de l’insécurité alimentaire, l’irrigation à partir des eaux souterraines reconnues disponibles tout au long de l’année est considérée comme l’une des solutions les plus prometteuses (Nazoumou et al., 2016). Elle a de fait, été encouragée dans la plupart des régions semi-arides du Sahel.

Au Niger, le développement de l’irrigation à large échelle a commencé dès le début des années 1930, avec la mise en place d’un système d’aménagements hydro-agricoles basés surtout sur l’utilisation des eaux de surface dans la vallée du fleuve Niger. A partir des années 1980, le développement structuré de l’irrigation s’est étendu aux autres vallées et bas-fonds, et l’utilisation des eaux souterraines peu profondes a été encouragée afin d’améliorer la production locale et augmenter les revenus en milieu rural (ARID, 2004 ; Nazoumou et al., 2016).

Dans la vallée de la région de Birni N’Konni, notre zone d’étude, l’irrigation à partir des eaux de surface et des eaux souterraines peu profondes a commencé en 1976, avec l’aménagement de 1 384 ha. Afin d’augmenter le rendement agricole et de contribuer davantage à l’amélioration de la sécurité alimentaire, l’irrigation s’est encore intensifiée avec la réalisation d’un périmètre irrigué de 1 068 ha autour de la ville de Birni N’Konni en 1982.

Cependant, le développement de l'irrigation intensive sur le site de Birni N'Konni avec l'utilisation d'engrais chimiques et de pesticides pourrait détériorer la qualité des eaux souterraines et du sol, et affecter la productivité des sols dans le périmètre. La présente étude vise à évaluer l'évolution de la minéralisation et l'impact de l'irrigation sur le sol et les ressources en eau souterraine dans la zone. Elle est basée sur une approche hydrodynamique et géochimique et vise pour objectif de (1) déterminer les processus géochimiques contrôlant la minéralisation des eaux souterraines dans la zone, (2) évaluer l'adéquation des eaux souterraines pour l'irrigation et (3) évaluer l'impact à long terme de l'irrigation sur la qualité et la quantité de l'eau dans la zone.

Contexte de la zone d'étude

Le périmètre irrigué de Birni N'Konni est situé dans la partie sud du Niger dans la vallée de la Maggia, un cours d'eau transfrontalier avec le Nigeria et appartenant au bassin versant du fleuve (*Figure 1a et 1b*).

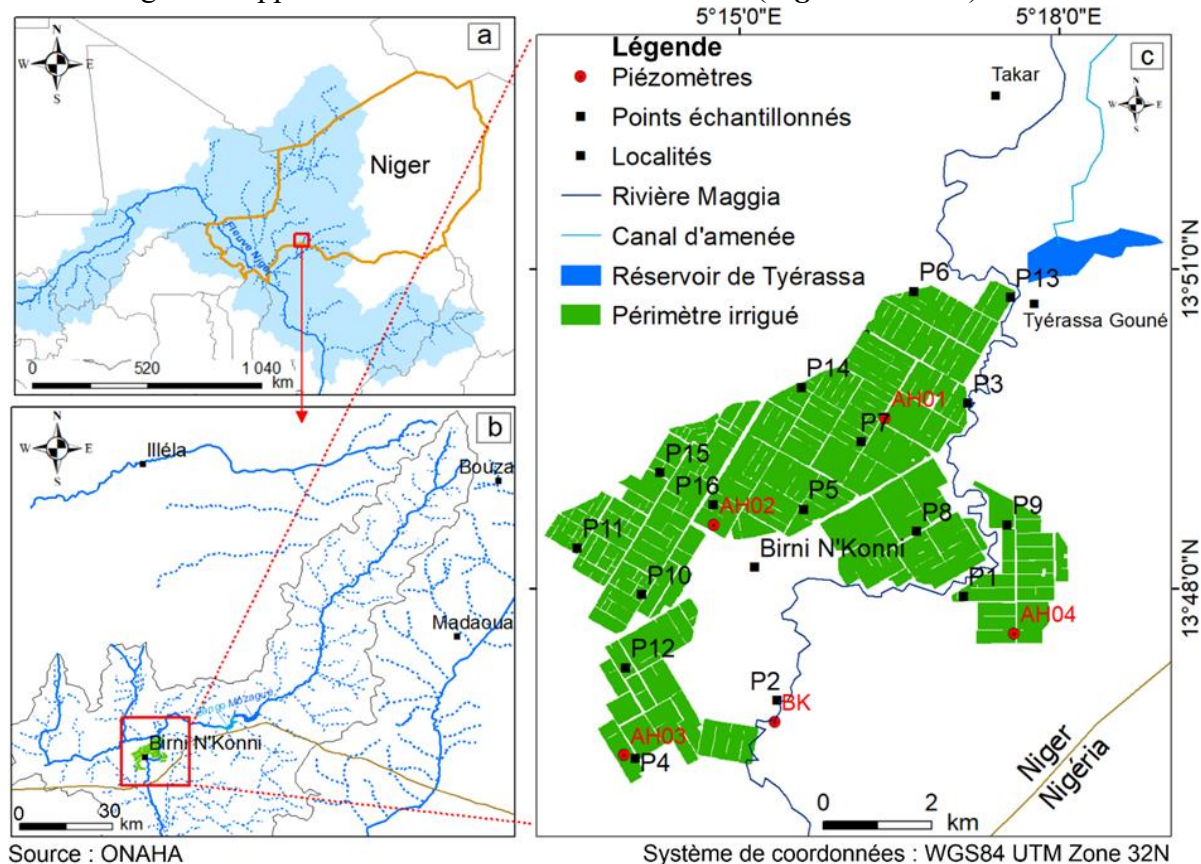


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude : a) - bassin versant du fleuve Niger, b) - bassin versant de la Maggia, c) - Périmètre irrigué de Birni N'Konni (Source, ONAHA, Pers. Com. 2022).

Le climat est de type semi-aride caractérisé par une seule saison de pluie, qui s'étend généralement de mai à octobre (**Figure 2a**). Le cumul annuel de la pluviométrie enregistrée à la station synoptique de Birni N'Konni varie de 289 mm en 1973 à 990 mm en 1952 (**Figure 2b**). La moyenne annuelle est de l'ordre de 500 mm/an (période 1950-2020), pour une évapotranspiration potentielle estimée à 2 280 mm/an. Les mois les plus pluvieux sont ceux de juillet et août qui enregistrent près de 60% du cumul annuel. La température moyenne mensuelle varie de 23°C en janvier à 34°C en mai.

La Maggia constitue le principal cours d'eau de la zone et draine un sous bassin versant de $\sim 3000 \text{ km}^2$ à Konni (estimée en utilisant le modèle numérique du terrain, SRTM 30 m de résolution). Elle est caractérisée par un écoulement saisonnier de juillet à septembre, avec une forte variabilité interannuelle en lien avec des précipitations (ORSTOM, 1964). En amont de Birni N'Konni, deux (2) barrages de retenue ont été construits en cascade sur le lit de la rivière à Mozagué et à Zango pour assurer l'approvisionnement en eau du périmètre irrigué situé en aval. Les sols de la zone de Konni sont de type hydromorphes, très favorables pour l'irrigation (SOGETHA, 1964).

Le périmètre irrigué de Birni N'Konni repose sur une nappe phréatique peu profonde (4-18 m) contenue indistinctement dans les alluvions quaternaires et les formations continentales du Continental terminal d'âge Oligocène. Ces formations reposent elles-mêmes sur les formations marines du Paléocène et du Crétacé supérieur (Nouhou Chaweye et al., 2023, 2024). Les alluvions quaternaires et les grès Oligocène qui forment le système aquifère phréatique, présentent une épaisseur qui varie de 13 m dans nord-est à 40 m dans le sud-ouest (Nouhou Chaweye et al., 2023). Les formations marines sous-jacentes du Paléocène sont constituées d'une couche étanche supérieure formée de marnes et d'argiles, et d'un niveau calcaire qui représente la partie inférieure du Paléocène. Le niveau marneux et argileux présente une épaisseur moyenne de 23 m (Nouhou Chaweye et al., 2024) et forme un écran imperméable entre l'aquifère superficiel et les aquifères sous-jacents. Le niveau calcaire quant à lui montre une épaisseur moyenne de 15 m et repose directement sur une série argileuse du Crétacé supérieur (Sauvel, 1966 ; Nouhou Chaweye et al., 2023).

En raison de son important potentiel en eau et en terre (Sauvel, 1966), la région subit une forte pression démographique. Ainsi, selon les derniers recensements officiels, la population du Département de Konni est passée de 254 000 habitants en 1988 à 313 000 habitants en 2012, avec un taux d'accroissement démographique de 3.6% et une densité de l'ordre de 100 habitants.km⁻² (INS, 2012).

L'économie est en grande partie orientée vers l'agriculture pluviale de subsistance, sensible aux aléas climatiques, rendant les populations économiquement très vulnérables en années de sécheresse (Nazoumou et al.,

2016). L'agriculture irriguée constitue également une activité clé et un moyen de lutte contre l'insécurité alimentaire dans la région depuis les années 1970, avec l'aménagement d'un périmètre irrigué autour de la ville de Birni N'Konni.

La superficie totale du périmètre est de 3 000 ha aménagé autour de la ville en deux phases, successivement en 1976 (1 384 ha) et en 1982 (1 068 ha). Toutefois, seuls 2 452 ha sont aujourd'hui exploités par les populations de douze (12) villages environnants et de la ville de Birni N'Konni. Deux campagnes de cultures irriguées sont réalisées, en saison sèche puis pluvieuse, à partir des eaux de surface retenues dans les barrages de Mozagué et Zango et transférées jusqu'au périmètre grâce à un canal d'amenée qui alimente un réservoir tampon d'une capacité de 1,2 Mm³ à Tyérassa (**Figure 1c**). En année déficitaire, lorsque les réserves des retenues s'avèrent insuffisantes, les eaux souterraines sont sollicitées en complément par les agriculteurs qui les captent à l'aide de puits et forages peu profonds. La distribution des eaux dans le périmètre se fait par gravité à l'aide d'un réseau de canaux de distribution.

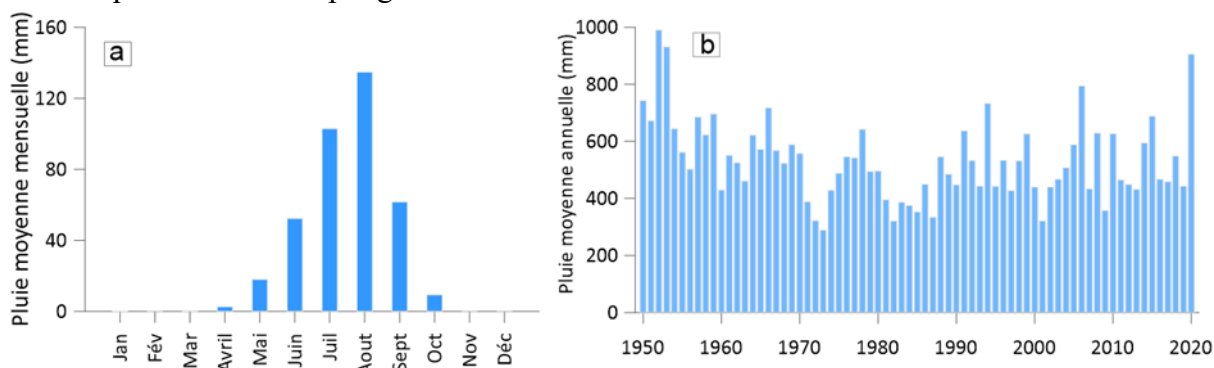


Figure 2 : Pluviométrie de la zone à Birni N'Konni : a) - Moyenne mensuelle, b) - Moyenne annuelle

Matériel et Méthodes

Echantillonnage et analyses au laboratoire

Dans le cadre de cette étude, 16 échantillons d'eau ont été prélevés dans des forages et puits d'irrigation en décembre 2023. Pour garantir la représentativité de ces échantillons, les prélèvements ont été effectués directement au cours des pompages dans les ouvrages. Les mesures in situ de la conductivité électrique (CE) et de la température (T°C) ont été effectuées à l'aide du conductivimètre (TeraCon 525®) (www.xylemanalytics.com), calibré à 25°C. Les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles en polyéthylène d'un litre (1L) neuves, préalablement rincées sur place avec de l'eau de l'ouvrage. Ils sont ensuite conservés au frais dans une glacière pendant le transport, puis dans un réfrigérateur (4°C) au laboratoire. Les éléments Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ et Cl⁻ ont été analysés en utilisant la méthode

classique de titrimétrie avec le Titrimètre Digital HACH 2800. Les éléments Na^+ et K^+ ont été déterminés par photométrie à l'aide d'un photomètre à flamme de type JENWAY PFP7. Les ions F^- , NO_3^- , NO_2^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} , SO_4^{2+} et P^- ont été déterminés par spectrophotométrie avec le spectrophotomètre DR 3900 LANGE. Les limites de détection de ces éléments sont de : 2 ; 30 ; 0,3 ; 3 ; 0,7 ; 70 et 0,5 mg/L pour F^- , NO_3^- , NO_2^- , Fe^{2+} , Mn^{2+} , SO_4^{2+} et P^- respectivement. La qualité des analyses a été appréciée en utilisant la balance ionique (BI) à l'aide de l'*Equation 1* :

$$BI = [(\Sigma \text{cations} - \Sigma \text{anions}) / (\Sigma \text{cations} + \Sigma \text{anions})] \times 100 \quad (1)$$

Avec BI la balance ionique (%), $\Sigma \text{cations}$ = somme des cations (méq/L) et Σanions = somme des anions (méq/L)

Analyse de données géochimiques

Une méthode multi-approche impliquant à la fois l'utilisation du diagramme de Piper (1944), de Gibbs, l'analyse statistique multivariées, les relations ioniques et les valeurs relatives des indices de saturation des différents minéraux a été utilisée. Ainsi, pour identifier les faciès chimiques des eaux, les principaux cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et anions (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- et NO_3^-) ont été projetés dans le diagramme de Piper. Pour identifier les probables sources d'ions, le diagramme ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) - Cl^- vs ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) - ($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) et les indices chloro-alcalins 1 et 2 (CAL-1 et CAL-2) définis par les *Equations 2* et *3* tels que proposées par Schoeller (1965, 1967), ont été utilisés. Les indices chloro-alcalins 1 et 2 ont été utilisés pour étudier le processus d'échange d'ions entre l'eau et la roche. Les indices chloro-alcalins 1 et 2 (CAL-1 et CAL-2) calculés à l'aide des *Equations 2* et *3* et le diagramme ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) - Cl^- vs ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) - ($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) proposé par Fisher et Mullican (1997) ont été utilisés pour déterminer si la minéralisation des eaux souterraines est influencée par l'échange de cations entre l'eau et la roche. L'importance de l'échange de cations entre Na^+ adsorbé sur les minéraux argileux contre Ca^{2+} et Mg^{2+} dans les eaux souterraines est suggéré lorsque les valeurs des indices chloro-alcalins 1 et 2 (CAL-1 et CAL-2) sont négatives (Huang et al., 2022). En outre, un impact positif de cet échange sur la minéralisation des eaux souterraines est démontré lorsque le diagramme ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) - Cl^- vs ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) - ($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) régresse le long de la ligne de pente 1/1 (Li et al., 2019 ; Su et al., 2019 ; Issoufou Ousmane et al., 2023).

$$CAL - 1 = [Cl^- - (Na^+ + K^+)] / Cl^- \quad (2)$$

$$CAL - 2 = [Cl^- - (Na^+ + K^+)] / (HCO_3^- + SO_4^{2-} + CO_3^{2-} + NO_3^-) \quad (3)$$

Les valeurs relatives des indices de saturations de la calcite ($CaCO_3$), de la dolomite ($CaMg (CO_3)_2$), de la fluorite (CaF_2), du gypse ($CaSO_4, 2H_2O$) et de l'halite ($NaCl$), calculées à l'aide du modèle spécifique PHREEQC (Parkhurst et Appelo, 2013), ont été utilisées pour examiner le processus de dissolution de ces minéraux. L'analyse factorielle a été utilisée pour identifier les facteurs qui contrôlent le comportement général de l'aquifère, ainsi que les processus géochimiques se produisant dans les eaux souterraines (Cloutier et al., 2008 ; Abderamane et al., 2013 ; Ahmed et al., 2017). Dans cette étude, les analyses statistiques multivariées ont été réalisées à l'aide du logiciel IBM SPSS v26 sur l'ensemble des paramètres hydrochimiques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , K^+ , F^- , NO_3^- , NO_2^- , P , Fe , Mn^{2+} et SO_4^{2-}), ainsi que sur la conductivité et la température. La rotation varimax a été utilisée pour identifier les facteurs qui contrôlent la plus grande variabilité des échantillons.

Paramètres de qualité de l'eau d'irrigation

La qualité de l'eau, du sol et les pratiques agricoles sont des facteurs importants dans l'efficacité de l'irrigation. En effet, la qualité de l'eau joue un rôle important dans la productivité et la qualité des cultures, ainsi que la fertilité des sols. Il est donc important de surveiller l'adéquation des eaux souterraines pour l'irrigation afin de garantir la croissance des cultures et le maintenir la fertilité des sols. L'évaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation est assurée grâce à des indicateurs de qualité de l'eau établis par diverses agences et organisations (El Bilali et Taleb, 2020). Les indicateurs les plus largement utilisés afin d'apprécier l'adéquation des eaux souterraines pour l'irrigation sont la conductivité électrique (CE), le taux d'adsorption du sodium (SAR), le pourcentage de sodium (%Na), le taux d'adsorption du magnésium (MAR), l'indice de perméabilité (PI) et le Carbonate de Sodium Résiduel (RSC). Les indices ont été calculés respectivement à l'aide des équations suivantes :

$$SAR = Na^+ \times [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{1/2} \quad (4)$$

$$\%Na = [Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+)] \times 100 \quad (5)$$

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (6)$$

$$MAR = Mg^{2+} / (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (7)$$

$$PI = [Na^+ + (HCO_3^-)^{1/2}] / [(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+)] \times 100 \quad (8)$$

Données piézométriques

Les relations surface-souterrain et l'évolution dans le temps du niveau de la nappe phréatique sous le périmètre irrigué ont été appréciées grâce à un réseau de quatre (4) piézomètres (AH1, AH2, AH3 et AH4) répartis sur le périmètre, en des sites présentant un intérêt certain pour la compréhension des processus affectant la dynamique et la minéralisation des eaux souterraines (**Figure 1c**). La recharge a été estimée en utilisant la méthode de fluctuation du niveau piézométrique (Labrecque et al., 2020). Les mesures ont été réalisées manuellement et au pas de temps mensuel à l'aide d'une sonde piézométrique de type OTT®. Des données piézométriques plus anciennes d'un puits (BK) retrouvées et complétées par des mesures récentes ont permis d'évaluer la dynamique de la nappe depuis les années 1960.

Résultats

Caractéristiques chimiques des eaux souterraines

Le **Tableau 1** présente un résumé statistique des paramètres physico-chimiques et des résultats d'analyse des différents échantillons prélevés. La température de l'eau varie in situ de 29 à 33°C, avec une moyenne de 31°C et un écart type de 1,06 °C. Les eaux sont légèrement basiques, avec des valeurs de pH comprises entre 6,1 et 8,2 pour une moyenne de 7,3. Elles sont relativement minéralisées, avec des valeurs de CE qui varient de 247 à 3660 µS/cm et une moyenne de 1490 µS/cm. Le sulfate domine largement les anions avec une moyenne de 13,40 méq/L. Quant aux cations, le calcium prédomine, avec une valeur moyenne de 11,65 méq/L. Les valeurs moyennes de teneurs en cations et en anions suivent respectivement l'ordre général d'abondance suivant : $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+ > Mn^{2+} > Fe^{2+}$ et $SO_4^{2-} > HCO_3^- > NO_3^- > Cl^- > F^- > NO_2^-$.

Tableau 1 : Statistique des résultats analytiques des échantillons en méq/L (N=16)

	pH	T	CE	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P
Max	8,2	33	3660	46,0	2,1	36,3	0,26	3,2	0,02	6,6	1,03	0,02	0,71	55,2	16,6	0,04
Min.	6,1	29	244	0,4	0,1	0,02	0,01	0,01	0,00	0,1	0,03	0,00	0,00	1,6	0,1	0,00
Moy.	7,3	31	1490	6,8	0,5	13,4	0,08	0,6	0,00	2,1	0,22	0,00	0,08	11,6	5,9	0,02
Méd.	7,3	31	1388	3,8	0,4	13,3	0,07	0,3	0,00	1,6	0,16	0,00	0,02	7,8	4,9	0,02
Ect.	0,4	1,1	706	5,4	0,3	7,7	0,03	0,5	0,00	1,6	0,12	0,01	0,09	8,0	3,6	0,01

La projection des principaux ions majeurs dans le diagramme de Piper permet d'identifier deux types de faciès (**Figure 3**) : un premier faciès sulfaté calcique et magnésien qui domine à 75% (12/16) les eaux, et un faciès bicarbonaté calcique et magnésien rencontré dans 25% (4/16) des échantillons. Le faciès CaHCO₃ n'a été identifié que sur quatre échantillons (P8, P13, P14 et P16) situés au nord-est du périmètre irrigué, à voisinage de la réserve tampon de Tyérassa. Ce faciès pourrait donc être dû au renouvellement de la nappe dans cette zone.

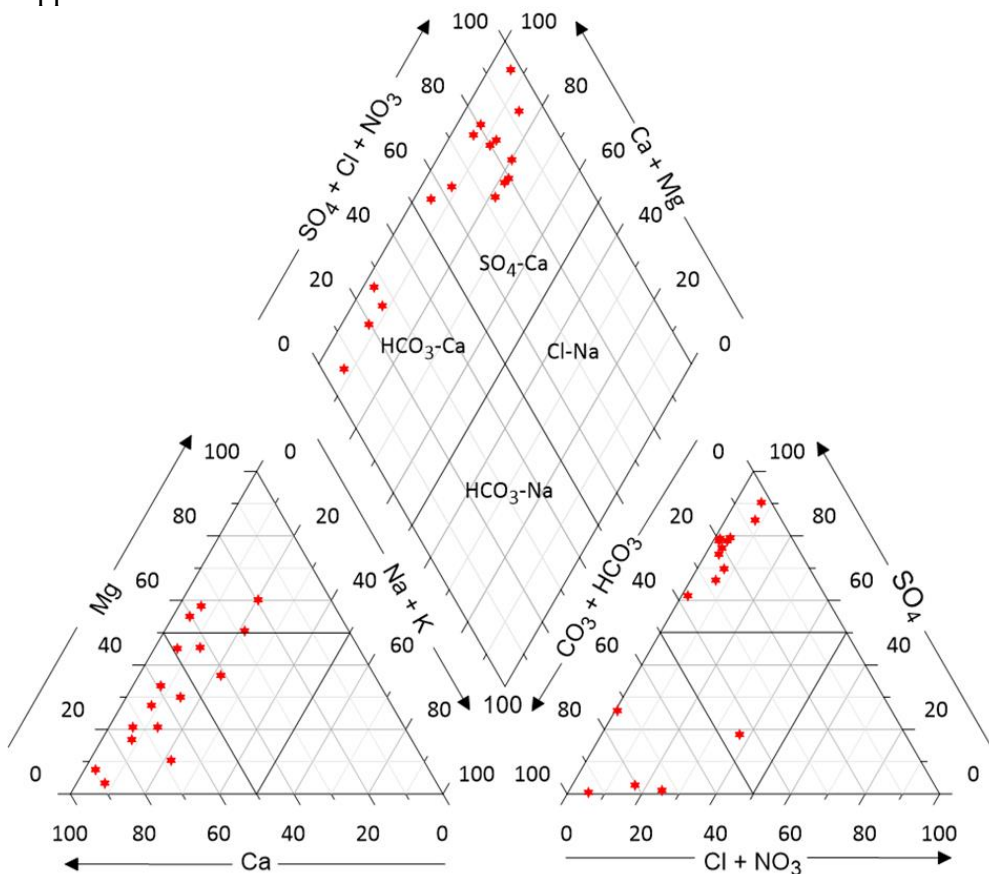


Figure 3 : Diagramme de Piper et faciès chimiques des eaux souterraines pour les différents échantillons

Analyse des facteurs de contrôle géochimique

Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur 15 variables physico-chimiques afin d'identifier des groupes de variables corrélées et les facteurs qui contrôlent leurs compartiments de distribution. Le **Tableau 2** présente les valeurs des résultats de ces variables.

Tableau 2 : Matrix des composantes de rotation varimax pour les variables physico-chimiques

Var	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	T°C	CE	pH	P
F1	0,25	0,9	0,15	0,81	-0,13	0,68	0,34	0,01	0,56	-0,01	0,15	0,93	-0,17	0,91	0,13	0,27
F2	0,95	-0,03	-0,2	0,11	0,05	0,01	0,02	-0,07	0,01	0,96	0,95	0,22	-0,01	0,12	-0,31	-0,42
F3	-0,02	0,03	0,04	0,37	-0,14	-0,45	0,71	-0,05	0,72	0,37	0,09	0,16	0,69	0,22	0,11	0,55

La projection des variables sur les plans factoriels (F1, F2) et (F1, F3) permet d'identifier trois principaux groupes de variables contrôlés à 31,73% par le facteur F1, à 22,98% par le facteur F2 et à 11,48% par le facteur F3 (**Figure 4a et 4b**). Le premier, porté par le facteur F1 qui contribue à 31,73% de la variance totale, regroupe le NO₂⁻, le Mn²⁺, le Mg²⁺, le Na⁺, le SO₄²⁻, la CE et dans une moindre mesure, le Cl⁻. Le regroupement de ces variables autour de l'axe factoriel F1 indique que cet axe factoriel exprime la principale source de minéralisation de l'eau dans l'aquifère. Le deuxième groupe est formé par le HCO₃⁻, le F⁻ et le Ca²⁺, qui évoluent ensemble sur le plan F2. Ce groupe peut être lié aux échanges eau-roche ou à la dissolution de la calcite et de la fluorapatite (Ca₅(PO₄CO₃)₃F). Le troisième groupe, composé de NO₃⁻, P, K⁺, T°C, pH et Fe²⁺, semble indiquer un impact anthropique dans l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines, surtout lié à l'utilisation d'engrais de type Azote-Phosphore-Potassium (NPK), le plus utilisé pour les cultures d'oignon dans le périmètre irrigué.

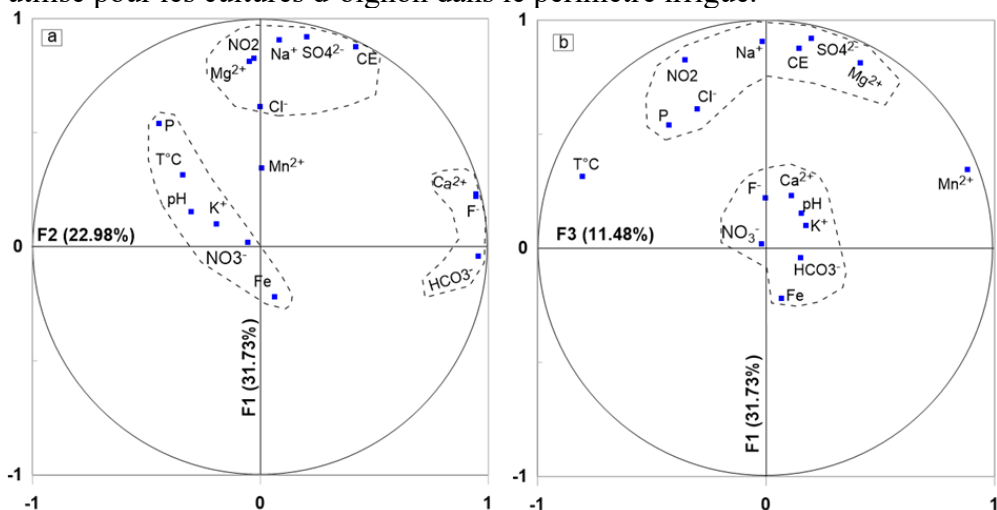


Figure 4 : Projections des variables sur les plans factoriels : a) -Plan factoriel (F1, F2) et b) -Plan factoriel (F1, F3)

Diagramme de Gibbs

L'utilisation du diagramme de Gibbs montre que 75% (12/16) des échantillons se situent dans la zone d'échange eau-roche, tandis que 25% (4/16) indiquent une dominance du processus d'évaporation (**Figure 5a** et **5b**). Cela suggère que la chimie des eaux est fortement contrôlée par l'échange eau-roche dans la zone d'étude. La dominance de l'évaporation identifiée dans quatre (4) échantillons (P2, P4, P12 et P16), indique que l'évaporation des eaux souterraines est aussi importante dans la zone d'étude. Le taux d'évaporation moyen annuel dans la zone est de 2 280 mm, et la profondeur de la nappe sous le périmètre irrigué varie de 5 à 13 m avec une moyenne de 9 m. Ainsi, la faible profondeur de la nappe et le taux d'évapotranspiration élevé favorisent l'évaporation des eaux, ce qui en fait un mécanisme important affectant la minéralisation des eaux souterraines.

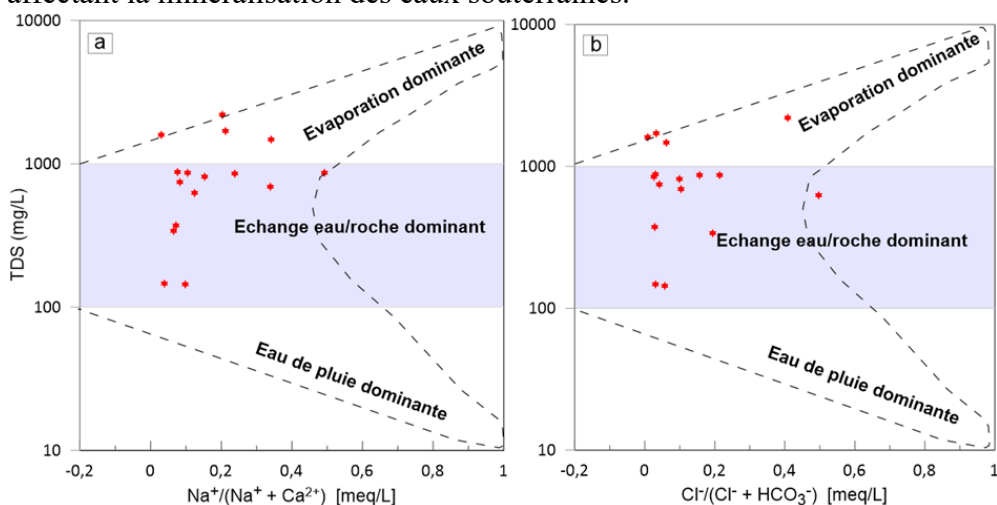


Figure 5 : Diagramme de Gibbs montrant les principaux processus contrôlant la minéralisation des eaux souterraines : a) – Diagramme TDS vs $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$, b) – Diagramme TDS vs $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$

Relation entre les ions et indices de saturation

La dispersion des échantillons de la ligne de dissolution de l'halite et la faible valeur de coefficient de corrélation de 0,13 (**Figure 6a**), montrent que la dissolution de l'halite n'est pas le principal mécanisme responsable de la présence des ions Na^+ , K^+ et Cl^- dans les eaux souterraines dans la zone. Cela est en accord avec la sous-saturation des eaux vis-à-vis de l'halite ($\text{IS}_{\text{halite}} < -7$) (**Figure 7b**). La répartition des échantillons de part et d'autre de la ligne de dissolution du NaCl peut s'expliquer par l'échange des cations et/ou la dissolution des silicates comme suggéré par Su et al. (2019) puis Huang et al. (2022) dans les zones arides et semi-arides du nord-ouest de la Chine. Les diagrammes reliant les concentrations des cations divalents (Ca^{2+} , Mg^{2+}) à l'anion HCO_3^- (**Figure 6b** et **6c**) montrent que seule la dissolution de la calcite

semble indiquer son influence dans le processus de formations de Ca^{2+} et HCO_3^- dans les eaux souterraines ($R^2 = 0,85$), comme le montrent également les valeurs relatives des indices de saturations des eaux vis-à-vis de la calcite ($\text{IS}_{\text{calcite}} > 0$) (**Figure 7a**). La répartition des ions Ca^{2+} et SO_4^{2-} de part et d'autre de la ligne de dissolution du gypse (**Figure 6d**) et la valeur du coefficient de corrélation très faibles (0,2) n'indiquent pas une influence de la dissolution du gypse dans le processus de minéralisation des eaux en Ca^{2+} et SO_4^{2-} . Ceci est en accord avec la sous-saturation des eaux vis-à-vis de ce minéral ($\text{IS}_{\text{gypse}} < 0$) (**Figure 7b**). Dans une nappe superficielle comme c'est notre cas (4 – 18 m de profondeur), les concentrations anormalement élevées en SO_4^{2-} peuvent être dues à l'utilisation des engrais sulfatés ou à l'évaporation à partir de la nappe. Les quatre (4) échantillons (P2, P4, P12 et P16) qui indiquent une dominance de l'évaporation de la nappe (*Cf. Figure 5a et 5b*), ont également les concentrations les plus élevées en sulfates (31,66, 36,25, 26,25 et 16,23 méq/L respectivement). Cela montre que l'évaporation de la nappe est le principal mécanisme responsable de la minéralisation des eaux en sulfates.

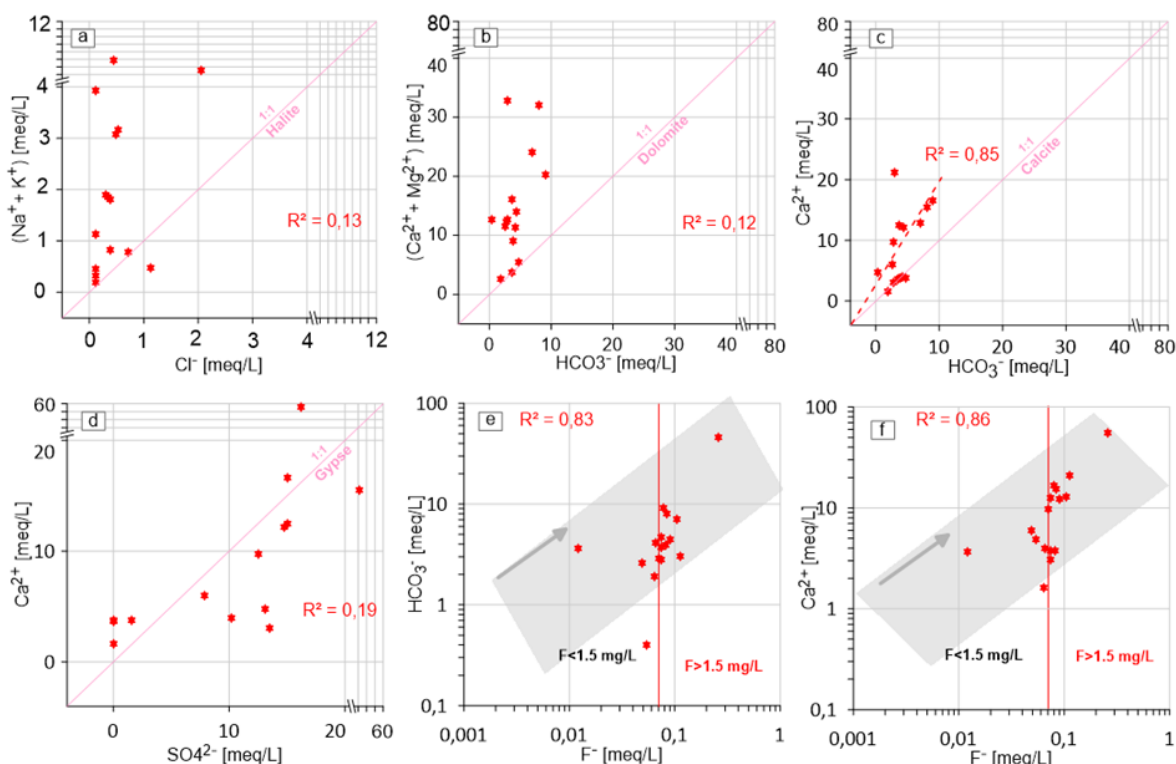


Figure 6 : Diagrammes des relations entre les ions : a) - $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ vs Cl^- , b) - $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ vs HCO_3^- , c) - Ca^{2+} vs HCO_3^- , d) - Ca^{2+} vs SO_4^{2-} , e) - HCO_3^- vs F^- et f) - Ca^{2+} vs F^-

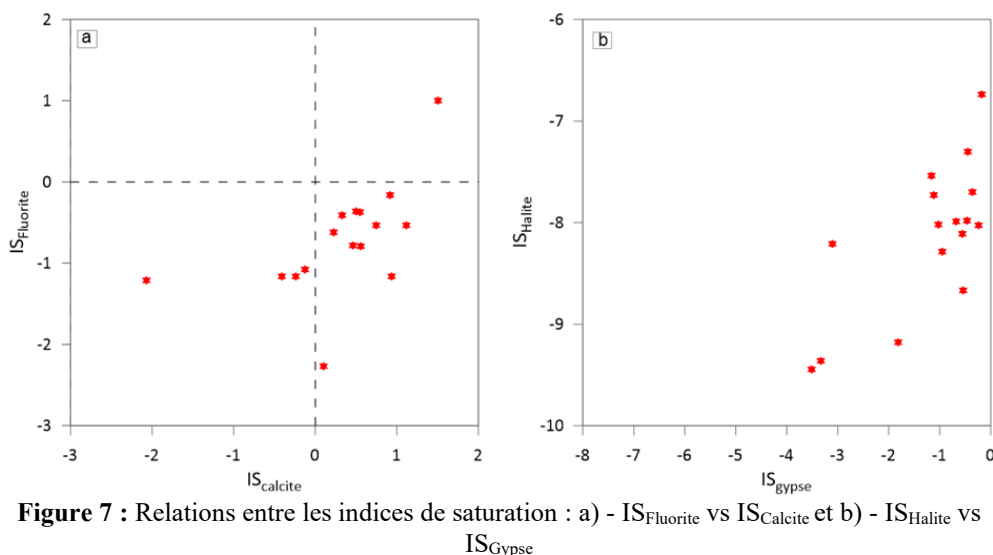


Figure 7 : Relations entre les indices de saturation : a) - $IS_{Fluorite}$ vs $IS_{Calcite}$ et b) - IS_{Halite} vs IS_{Gypse}

Echange cationique

Pour vérifier si l'échange de cations est aussi un processus important dans la minéralisation des eaux, nous avons utilisé les indices chloro-alcalins CAI-1 et CAI-2 proposés par Schoeller (1965, 1967) et le diagramme $[(Na^+ + K^+) - Cl^-] \text{ vs } [(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - (HCO_3^- + SO_4^{2-})]$ proposé par Fisher et Mullican (1997). L'importance de l'échange de cations entre le Na^+ adsorbé sur les minéraux argileux et les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} dans les eaux souterraines est suggéré lorsque les valeurs des indices chloro-alcalins sont négatives (Issoufou Ousmane et al., 2023). De plus, un impact positif de cet échange sur la minéralisation des eaux souterraines est évident lorsque le diagramme $(Na^+ + K^+) - Cl^- \text{ vs } (Ca^{2+} + Mg^{2+}) - (HCO_3^- + SO_4^{2-})$ régresse le long de la ligne de pente 1/1 (Su et al., 2019 ; Issoufou Ousmane et al., 2023). Les valeurs des indices chloro-alcalins pour la plupart des échantillons sont négatives (**Figure 8a**), ce qui indique que les cations Na^+ et K^+ de la roche s'échangent avec les cations Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau souterraine. Cela peut réduire la concentration de Ca^{2+} dans l'eau et favoriser la dissolution de la fluorite (CaF_2) observée sur la **figure 6f**, pour libérer le F^- , ce qui augmente d'avantage la concentration de F^- dans l'eau. Ainsi, le manque d'équilibre entre les concentrations de HCO_3^- et de Ca^{2+} observé dans les échantillons (**Figure 6c**) peut être dû à ce processus d'échange de cations. La **figure 8b** montre que les échantillons s'alignent autour de la ligne de pente -1/-1 du diagramme $[(Na^+ + K^+) - Cl^-] \text{ vs } [(Ca^{2+} + Mg^{2+}) - (HCO_3^- + SO_4^{2-})]$, avec un coefficient de corrélation de 0,86. Certains échantillons sont caractérisés par une libération de Ca^{2+} et une adsorption de Na^+ , tandis que d'autres sont représentés par une adsorption de Ca^{2+} et une libération de Na^+ (**Figure 8b**). Cela confirme que l'échange cationique avec

les matériaux du sol et de la formation l'aquifère sont aussi des processus importants dans la minéralisation des eaux.

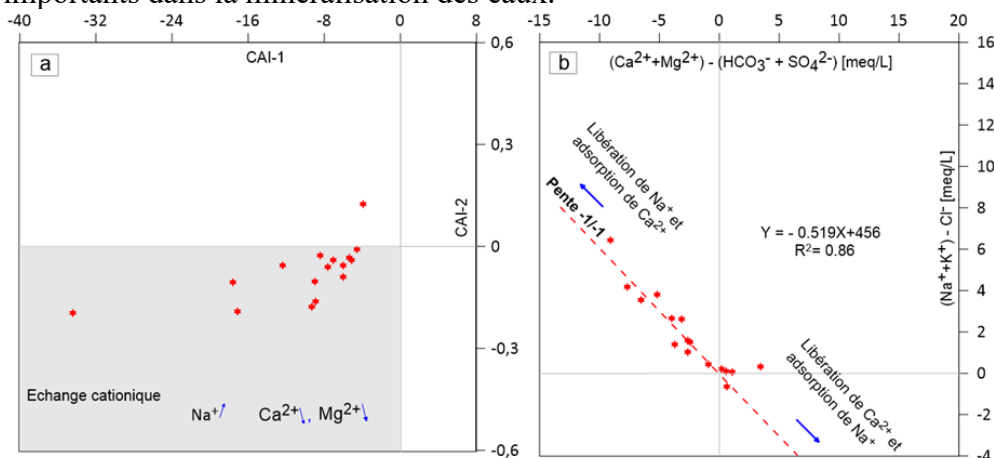


Figure 8 : Diagrammes montrant l'échange de cations dans la zone : Relations a) - CAL-1 vs CAL-2 et b) - $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) - \text{Cl}^-$ vs $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$

Impact de l'irrigation sur la qualité des eaux souterraines

Taux d'adsorption du sodium (SAR)

Les valeurs du SAR ont été appréciées en utilisant la classification effectuée par le *United State Soil Laboratory* (USSS, 1954), où la conductivité est considérée comme un risque de salinité et le SAR comme un risque d'alcalinité (Bian et al., 2018 ; Zhao et al., 2021). Sur la base de ce classement, 25% (4/16) des échantillons se situent dans la classe C2-S1, 63% (10/16) dans la classe C3-S1 et 12% (2/16) dans la classe C4-S1 (**Figure 9a**). Les classes C1-S1 et C2-S1 sont associées à un risque de salinité faible à moyen et une faible teneur en sodium (S1), et donc considérées comme adaptées pour l'irrigation sur la plupart de type de sol. Les classes C3-S1 et C4-S1 qui portent la majorité des échantillons (12/16), bien qu'elles présentent un faible risque d'alcalinité, représentent un risque élevé de salinité pour la plupart des plantes, à moyen et à long terme surtout. Les eaux de ces classes peuvent cependant être utilisées sur des sols à texture grossière et bien drainés (Zhao et al., 2021). Sur la base de l'indicateur SAR, les eaux présentent pour la plupart, à court ou à long terme des forts risques de salinités et pourraient nécessiter un recours aux cultures des plantes plus tolérantes aux sels.

Pourcentage en sodium (%Na)

Le pourcentage du sodium est également utilisé pour évaluer l'aptitude des eaux souterraines pour l'irrigation car la concentration élevée du Na^+ réagit avec le sol pour réduire sa perméabilité. En effet, lorsque la concentration de Na^+ dans l'eau d'irrigation est élevée, le Na^+ a tendance à être absorbé par les particules d'argile qui libèrent les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} dans

l'eau. Ce processus d'échange de Na^+ de l'eau contre les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} du sol réduit sa perméabilité. Les valeurs calculées du pourcentage en sodium sont indiquées dans le **Tableau 3**. Elles varient en générale entre 2,8 et 21,30% avec une valeur moyenne de 9,8%. En se basant sur la classification de Wilcox (1955) reliant le %Na et la CE, 75% (12/16) des échantillons présentent une eau de bonne à excellente qualité et 25% (4/16) de qualité médiocre pour l'irrigation (**Figure 9b**).

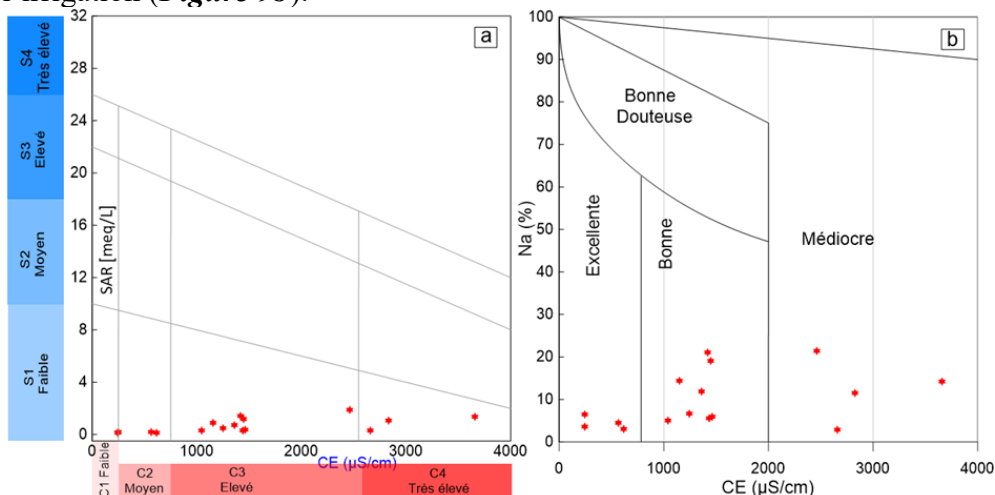


Figure 9 : Evaluation de l'aptitude de l'eau à l'irrigation sur la base des classifications de :
a) - USSL et b) - Wilcox

Le Carbonate de Sodium Résiduel (RSC)

Un autre facteur limitant pour l'irrigation est la teneur excessive de CO_3^{2-} et HCO_3^- par rapport à Ca^{2+} et Mg^{2+} (Eaton, 1950). L'excès de CO_3^{2-} et HCO_3^- peut dégrader la qualité de l'eau d'irrigation car il provoque la précipitation des alcalino-terreux, notamment le Ca^{2+} et Mg^{2+} . La précipitation de Ca^{2+} et Mg^{2+} sous forme des minéraux carbonatés peut augmenter la concentration de Na^+ et, par conséquent, les valeurs du SAR. Selon les critères du RSC, les eaux souterraines sont classées comme appropriées pour l'irrigation lorsque $\text{RSC} < 1,5$ méq/L et impropres quand $\text{RSC} > 2,5$ méq/L (Aher, 2012). Les valeurs calculées du RSC variant entre -29,7 et -0,2 (**Tableau 3**) indiquent que les eaux sont bien appropriées pour l'irrigation.

Indice de perméabilité (IP)

Selon Doneen (1964), la perméabilité du sol peut être affectée par l'utilisation sur le long terme d'eau d'irrigation très riche en sel. La perméabilité est influencée par la présence de Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} et HCO_3^- . Sur la base de l'IP, les eaux d'irrigation peuvent être classées de qualité excellente ($\text{IP} > 75\%$), bonne (25-75%) et douteuse ($< 25\%$) (Doneen, 1964). Les valeurs calculées de l'IP dans la zone d'étude varient entre 9,9 et 57,8% avec une

moyenne de 27,7%. Une proportion de 56% des échantillons (9/16) présentent des eaux de qualité mauvaise pour l'irrigation tandis que les 44% autres présentent des eaux de bonne qualité pour l'irrigation (**Tableau 3**).

Le taux d'adsorption du Magnésium (MAR)

Les valeurs de MAR calculées dans la zone d'étude varient de 3,7 à 75,3% (**Tableau 3**), avec une moyenne de 37,28%. Les eaux peuvent être classés en deux groupes. Le premier avec 69% des échantillons peut être considéré comme adapté pour l'irrigation ($MAR < 50\%$), tandis que le second qui intègre 31% des échantillons se classe comme non convenable pour l'irrigation ($MAR > 50\%$). L'utilisation à long terme des eaux avec des valeurs de MAR supérieures à 50% entraîne une augmentation de l'alcalinité du sol avec un effet négatif sur la qualité de l'eau et le rendement des cultures (Dhaoui et al., 2023).

Tableau 3 : Indicateurs de la qualité des eaux souterraines pour l'irrigation

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
SAR	0,3	1,1	0,9	1,3	0,4	0,1	0,7	0,2	0,3	1,4	1,2	1,9	0,2	0,1	0,5	0,3
%Na	5,6	11,5	14,4	14,2	5,9	3,1	11,9	4,5	5,1	21,1	19,0	21,3	6,4	3,5	6,7	2,8
RSC	-9,0	-24,0	-7,1	-29,7	-12,4	-5,1	-9,9	-0,7	-12,2	-9,6	-9,6	-17,1	-0,6	-0,2	-11,3	-13,8
IP	18,8	19,4	30,8	18,8	17,2	24,5	23,7	42,8	9,9	33,0	30,2	30,1	57,8	51,6	20,6	13,9
MAR	48,1	51,7	64,4	35,3	22,1	57,6	23,9	29,9	61,9	13,4	75,3	47,0	36,3	3,7	18,3	7,7
EC	1436	2830	1152	3660	1463	618	1360	564	1042	1416	1445	2460	247	244	1247	2660

Dynamique saisonnière et à long terme de la nappe

Du fait de la faible profondeur de la nappe (4 à 18 m), la zone connaît une forte utilisation de l'eau souterraine pour l'irrigation. Près de 2 000 ouvrages ont été dénombrés sur l'ensemble de la superficie du périmètre (2 452 ha), ce qui indique une densité d'environ 80 ouvrages au km². Les mesures effectuées sur les quatre (4) piézomètres montrent une tendance homogène, avec de légères remontées saisonnières de la nappe en période de pluies et une baisse pluriannuelle généralisée (**Figure 10a**). Les faibles remontées saisonnières du niveau de la nappe témoignent de la faiblesse de la recharge en raison notamment des dépôts argileux superficiels qui caractérisent les sols dans le périmètre. L'évolution piézométrique pluriannuelle montrent une tendance à la baisse de la nappe depuis au moins 2021. La comparaison avec les mesures anciennes effectuées en avril 1965 dans le puits abandonné (BK) par Sauvel (1966) confirment la tendance pluriannuelle à la baisse du niveau de la nappe phréatique qui a atteint 4 m en 2024 (**Figure 10b**). Cette baisse persistance des ressources en eau souterraine est induite conjointement par un faible taux de recharge de la nappe phréatique et un pompage régulier aux fins d'irrigation dans le périmètre.

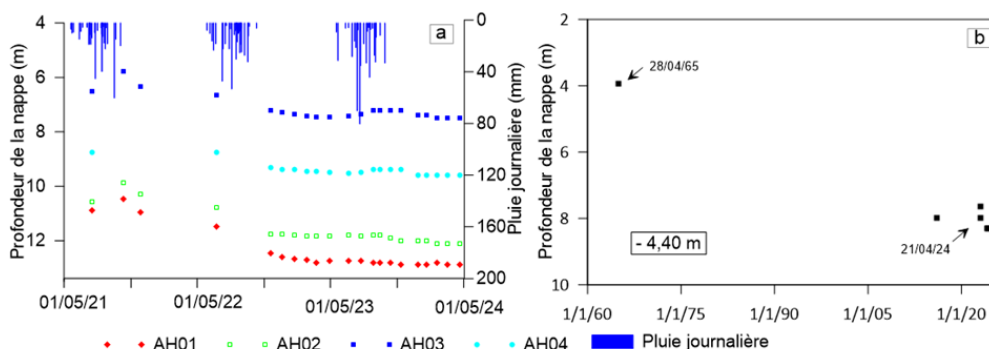


Figure 10 : Evolution du niveau de la nappe phréatique : a) - dynamique saisonnière et b) - dynamique pluriannuelle

Discussions

Notre analyse de l'échantillonnage des puits et forages dans le périmètre irrigué de Birni N'Konni montre que la composition chimique des eaux souterraines affiche des valeurs élevées de la conductivité électrique et de concentrations en certains éléments tels que le sulfate, le fluorure et le manganèse. La conductivité électrique nous renseigne sur le degré de minéralisation de l'eau. Les résultats montrent que la salinité des eaux souterraines exprimée en termes de conductivité électrique varie entre 244 et 3660 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une moyenne de 1490 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces valeurs dépassent largement dans un ordre de grandeur celles observées par Issoufou Ousmane et al. (2022) dans le périmètre irrigué de Djirataoua (84 - 441 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dans le centre sud du Niger. Ceci reflète une forte minéralisation de ces eaux.

Les échantillons présentant des concentrations élevées en fluorures présentent également des concentrations élevées en Ca^{2+} (médiane 157 mg/L), K^+ (médiane 6,25 mg/L), et montrent une corrélation élevée entre F^- et Ca^{2+} (0,86). Les concentrations relativement élevées de Ca^{2+} , F^- , et K^+ dans les eaux souterraines peu profondes des périmètres irrigués ont été associées à l'action anthropique liée au retour d'irrigation et à l'utilisation d'engrais chimiques pour augmenter les rendements agricoles (Hassane et al., 2016 ; Lapworth et al., 2017 ; Issoufou Ousmane et al., 2023). D'après les entretiens avec les groupes d'agriculteurs, les types d'engrais utilisés dans le périmètre sont principalement composés d'azote-phosphore-potassium (NPK), qui est l'engrais le plus largement utilisé, de di-ammonium-phosphate (DAP), d'urée et de composts. Ces composés sont très solubles dans l'eau et contiennent une phase minérale, principalement du carbonate de fluorapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4\text{CO}_3)_3\text{F}$) (Mar et Okazaki, 2012 ; Nordstrom et Kirk, 2022). Ce processus de minéralisation des eaux souterraines lié à l'irrigation a été mis en évidence dans d'autres régions du Niger (Abdou Babaye et al., 2017 ; Issoufou Ousmane et al., 2022, 2023), au centre-est du Mexique (Roy et al., 2025) et dans le bassin d'Ordos en Chine (Su et al., 2019). Les concentrations de Ca^{2+}

et Mg^{2+} largement supérieures aux concentrations de Na^+ observées dans les eaux souterraines sont dues au processus d'échange de cations qui se produit dans la zone. Cette substitution peut perturber la structure physique du sol irrigué par ces eaux, avec le remplacement du sodium par des concentrations élevées du calcium et magnésium. Cela entraîne un enrichissement en magnésium et en calcium dans le sol, puis une détérioration de sa structure, avec une dispersion des argiles, et une réduction de la croissance des plantes (Olofinlade et al., 2018 ; Subba Rao et al., 2012, 2021 ; Dhaoui et al., 2023). Les concentrations élevées en HCO_3^- , SO_4^{2-} et Ca^{2+} sont liées à la dissolution des carbonates qui constituent le substratum de l'aquifère (Nouhou Chaweye et al., 2023), et à l'évaporation de la nappe (valeur élevée de l'évapotranspiration potentielle $\sim 2\,280$ mm/an).

La comparaison des faciès géochimiques en 1960 (Tirat, 1963 ; Sauvel, 1966) et en 2023 (cette étude) révèle une nette variation de la minéralisation des eaux souterraines dans la zone irriguée. Tirat (1963) et Sauvel (1966) ont montré que le faciès chimique dominant les eaux souterraines dans les années 1960 était de type bicarbonate calcique. Cependant, cette étude montre que 75% du faciès est de type sulfate calcaire. Ceci montre l'impact de l'irrigation sur les eaux souterraines, résultant en un changement qualitatif du faciès original bicarbonate-calcium vers un faciès sulfate-calcium.

Les données piézométriques ont montré une tendance à la baisse depuis les années 1960. La tendance à l'augmentation de la pluviométrie depuis les années 1980s laisse à croire que le facteur climatique n'est pas à l'origine de la baisse de la nappe phréatique dans le périmètre irrigué, étant donné que les nappes phréatiques au Sahel affichent une tendance à la hausse pour les mêmes fluctuations climatiques (Leblanc et al., 2008 ; Favreau et al., 2009, 2011). Dans la région, le pompage d'irrigation a augmenté au cours de la période 1980-2020 à cause du nombre important d'ouvrages d'accès à la nappe phréatique recensés dans le périmètre irrigué (près de 2000 sur 2 452 ha) (ICA, 2016). Cette baisse du niveau des eaux souterraines observée dans la zone d'étude a été rattachée à l'augmentation des prélèvements d'eau souterraine pour l'irrigation au cours des dernières décennies (ICA, 2016) et/ou les faibles taux de renouvellement.

Conclusion

Cette étude a montré que dans la zone d'étude, les eaux souterraines sont fortement minéralisées et légèrement basiques, avec une conductivité moyenne de $1490\ \mu S/cm$ et un pH moyen de 7,34. La chimie des eaux est principalement contrôlée par le processus d'interaction eau-roche et par l'évaporation. Les eaux souterraines appartiennent à 75% aux classes C3-S1 et C4-S1, indiquant un risque élevé de salinisation à court et à long terme. Les valeurs calculées du %Na ont montré que 25% des échantillons présentent une

eau de qualité médiocre pour l'irrigation. L'utilisation à long-terme de ces eaux pour l'irrigation peut conduire à une diminution de la productivité des sols et des cultures. L'évolution piézométrique indique une faible variation saisonnière du niveau de la nappe et une baisse pluriannuelle persistante atteignant 4 m depuis les années 1960. Cette étude a montré qu'après 47 ans d'exploitation, les pratiques agricoles ont impacté la qualité et la quantité des eaux souterraines dans la zone d'étude. Ces résultats ont des implications importantes à l'échelle régionale pour une meilleure gestion des ressources en eaux souterraines dans les périmètres irrigués.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une thèse de doctorat fondée par l'Etat du Niger et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Les auteurs remercient l'Office National des Aménagements Hydro-Agricoles (ONAHA) de Birni N'Konni pour avoir facilité l'accès au périmètre irrigué et de collecter les échantillons.

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.

References:

1. Abderamane, H., Razack, M., & Vassolo, S. (2013). Hydrogeochemical and isotopic characterization of the groundwater in the Chari-Baguirmi depression, Republic of Chad. *Environmental Earth Sciences*, 69(7), 2337–2350. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2063-7>.
2. Abdou Babaye, M. S., Sandao, I., Saley, M. B., Wagani, I., & Issoufou Ousmane, B. (2017). Comportement hydrogéochimique et contamination des eaux des aquifères fissurés du socle précambrien en milieu semi-aride (Sud-Ouest du Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(6), 2728. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i6.26>.
3. Acworth, R. I., Rau, G. C., Cuthbert, M. O., Leggett, K., & Andersen, M. S. (2021). Runoff and focused groundwater-recharge response to flooding rains in the arid zone of Australia. *Hydrogeology Journal*, 29(2), 737–764. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02284-x>.
4. Aher, K. R. (2012). Evaluation of Groundwater Quality and its

- Suitability for Drinking and Agriculture Use in Parts of Vaijapur, District Aurangabad, MS, India. *Journal of Chemical Sciences*, 2(46), 25–31.
5. Ahmed, A. H., Rayaleh, W. E., Zghibi, A., & Ouddane, B. (2017). Assessment of chemical quality of groundwater in coastal volcano-sedimentary aquifer of Djibouti, Horn of Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 131, 284–300. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.04.010>.
 6. ARID. (2004). Typologie des systèmes irrigués en Afrique de l'Ouest sahélienne. Projet Appia. Ouagadougou: ARID. http://www.arid_afrique.org/IMG/pdf/Typologie. 34p.
 7. Bian, J., Nie, S., Wang, R., Wan, H., & Liu, C. (2018). Hydrochemical characteristics and quality assessment of groundwater for irrigation use in central and eastern Songnen Plain, Northeast China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(7). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6774-4>.
 8. Cloutier, V., Lefebvre, R., Therrien, R., & Savard, M. M. (2008). Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *Journal of Hydrology*, 353(3–4), 294–313. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.02.015>.
 9. Dhaoui, O., Agoubi, B., Antunes, I. M., Tlig, L., & Kharroubi, A. (2023). Groundwater quality for irrigation in an arid region—application of fuzzy logic techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(11), 29773–29789. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24334-5>.
 10. Doneen, L. D., (1964). Water Quality for Agriculture, Department of Irrigation. *University of California, Davis*, 48p
 11. Kendon, R. A. Stratton, A. Rachel, S. M. Tucker, H. B. John, R. Ségolène, P. S., & David, A. C. (2019). Enhanced future changes in wet and dry extremes over Africa at convection-permitting scale. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09776-9>
 12. Eaton, F. M. (1950). Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Science*, 69(2), 123–133. <https://doi.org/10.1097/00010694-195002000-00004>.
 13. El Bilali, A., & Taleb, A. (2020). Prediction of irrigation water quality parameters using machine learning models in a semi-arid environment. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(7), 439–451. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.08.001>
 14. Favreau, G., Cappelaere, B., Massuel, S., Leblanc, M., Boucher, M., Boulain, N., & Leduc, C. (2009). Land clearing, climate variability,

- and water resources increase in semiarid southwest Niger: A review. *Water Resources Research*, 45(7), 0–16. <https://doi.org/10.1029/2007WR006785>.
15. Favreau, G., Nazoumou, Y., Leblanc, M., Guéro, A., & Goni, I. B. (2011). Groundwater resources increase in the Iullemmeden Basin, West Africa. In *Climate Change Effects on Groundwater Resources: A Global Synthesis of Findings and Recommendations* (pp. 113–128). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11611-12>.
16. Fisher, R. S., & Mullican, W. F. (1997). Hydrochemical evolution of sodium-sulfate and sodium-chloride groundwater beneath the Northern Chihuahuan Desert, Trans-Pecos, Texas, USA. *Hydrogeology Journal*, 5(2), 4–16. <https://doi.org/10.1007/s100400050102>.
17. Hassane, A. B., Leduc, C., Favreau, G., Bekins, B. A., & Margueron, T. (2016). Impacts d’une grande ville sahélienne sur l’hydrodynamique et la qualité des eaux souterraines : exemple de Niamey (Niger). *Hydrogeology Journal*, 24(2), 407–423. <https://doi.org/10.1007/s10040-015-1345-z>.
18. Huang, L., Sun, Z., Zhou, A., Bi, J., & Liu, Y. (2022). Source and enrichment mechanism of fluoride in groundwater of the Hotan Oasis within the Tarim Basin, Northwestern China. *Environmental Pollution*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118962>
19. ICA. (2016). Evaluation du potentiel des ressources en eau souterraine dans le périmètre hydro-agricole de Birni N’Konni. Rapport d’étude, 64p.
20. INS. (2012). Recensement Général de la population et de l’habitation, 2012. (NER-INS-RGPH--2012-V1.0). <https://anado.ins.ne/index.php>.
21. Issoufou Ousmane, B., Nazoumou, Y., & Favreau, G. (2022). Évaluation des eaux souterraines : application de la géochimie pour une étude de cas dans le périmètre irrigué de Djirataoua, Sud-Est Niger Résumé. *Afrique SCIENCE*, 2022, 20(February), 56–70p.
22. Issoufou Ousmane, B., Nazoumou, Y., Favreau, G., Abdou Babaye, M. S., Abdou Mahaman, R., Boucher, M., Sorensen, J. P. R., MacDonald, A. M., & Taylor, R. G. (2023). Groundwater quality and its implications for domestic and agricultural water supplies in a semi-arid river basin of Niger. *Environmental Earth Sciences*, 82(13). <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11016-9>.
23. Labrecque, G., Chesnaux, R., & Boucher, M. A. (2020). Water-table fluctuation method for assessing aquifer recharge: application to Canadian aquifers and comparison with other methods. *Hydrogeology Journal*, 28(2), 521–533. <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02073-1>.

24. Lapworth, D. J., Krishan, G., MacDonald, A. M., & Rao, M. S. (2017). Groundwater quality in the alluvial aquifer system of northwest India: New evidence of the extent of anthropogenic and geogenic contamination. *Science of the Total Environment*, 599–600, 1433–1444. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.223>.
25. Leblanc, M. J., Favreau, G., Massuel, S., Tweed, S. O., Loireau, M., & Cappelaere, B. (2008). Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger. *Global and Planetary Change*, 61(3–4), 135–150. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.08.011>.
26. Li, P., He, X., Li, Y., & Xiang, G. (2019). Occurrence and Health Implication of Fluoride in Groundwater of Loess Aquifer in the Chinese Loess Plateau: A Case Study of Tongchuan, Northwest China. *Exposure and Health*, 11(2), 95–107. <https://doi.org/10.1007/s12403-018-0278-x>.
27. Lindle, J., Villholth, K. G., Ebrahim, G. Y., Sorensen, J. P. R., Taylor, R. G., & Jensen, K. H. (2023). Groundwater recharge influenced by ephemeral river flow and land use in the semiarid Limpopo Province of South Africa. *Hydrogeology Journal*, 31(8), 2291–2306. <https://doi.org/10.1007/s10040-023-02682-x>.
28. Mar, S. S., & Okazaki, M. (2012). Investigation of Cd contents in several phosphate rocks used for the production of fertilizer. *Microchemical Journal*, 104, 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.03.020>.
29. Nazoumou, Y., Favreau, G., Adamou, M. M., & Maïnassara, I. (2016). La petite irrigation par les eaux souterraines, une solution durable contre la pauvreté et les crises alimentaires au Niger? *Cahiers Agricultures*, 25(1). <https://doi.org/10.1051/cagri/2016005>.
30. Nordstrom, D. K. (2022). Fluoride in thermal and non-thermal groundwater: Insights from geochemical modeling. *Science of the Total Environment*, 824. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153606>.
31. Nouhou Chaweye Y., M., Boucher Y., Nazoumou G., Favreau R., Abdou Mahaman B., Issoufou. Ousmane, A., & Legchenko, A. (2023). Apport des méthodes RMP et TDEM à l'évaluation des ressources en eau disponibles pour l'irrigation en climat semi-aride – cas de Birni N’Konni. *Actes Du 13ème Colloque De Géophysique Des Sols et Des Formations Superficielles Organisé Par Le Réseau GEOFCAN 7-8 Nov. 2023 Collège de l'école Doctorale, Strasbourg, France*.
32. Nouhou Chaweye, Y., Nazoumou, Y., Favreau, G., Boucher, M., Issoufou Ousmane, B., Abdou Mahaman, R., & Legchenko, A. (2024). Optimization of groundwater resources management in a semi-arid

- catchment: Application of MRS and TDEM geophysical methods in southern Niger. *The 9th Maghrebian Colloquium of Applied Geophysics (MCAG9): Applied Geophysics and Sustainable Development Challenges in Africa.* April 23rd-25th, 2024, Kenitra, Morocco.
33. Olofinlade, W. S., Daramola, S. O., & Olabode, O. F. (2018). Hydrochemical and statistical modeling of groundwater quality in two contrasting geological terrains of southwestern Nigeria. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(4), 1405–1421. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0486-1>.
 34. ORSTOM. (1964). Bilan sommaire des études d'hydrologie de surface effectuées sur le territoire de la République du Niger. Rapport d'étude, 111p.
 35. Parkhurst, D. L., & Appelo, C. A. J. (2013). Description of input and examples for PHREEQC Version 3 - A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. In *U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chapter A43*.
 36. Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6), 914–928. <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>.
 37. Rao, N. S., Dinakar, A., Sravanthi, M., & Kumari, B. K. (2021). Geochemical characteristics and quality of groundwater evaluation for drinking, irrigation, and industrial purposes from a part of the hard rock aquifer of South India. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(24), 31941–31961. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12404-z>.
 38. Roy, P.D., García-Arriola, O.A., Selvam, S., Vargas-Martinez, I. G & Sanchez-Zavala, J. L. (2025). Geochemistry of some fluoride and nitrate enriched water resources from the Oriental Basin: a prospective health risk hotspot from eastern-central Mexico. *Environ Geochem Health* 47, 114 <https://doi.org/10.1007/s10653-025-02421-z>.
 39. Sauvel, C. (1966). Hydrogéologie de la haute Maggia. Rapport BRGM 66 NIA, 96p.
 40. Schoeller, H. (1965). Qualitative evaluation of groundwater resources: Methods and techniques of groundwater investigations and development. UNESCO *Water Resources Series*, pp 44–52.
 41. Schoeller, H. (1967). Geochemistry of Groundwater International Guide for Research and Practice, vol. 15. UNESCO, pp. 118.
 42. SOGETHA. (1964). Aménagement de l'Ader Douthi-Maggia : Études pédologiques de détail. Bassins versants expérimentaux.

- Rapport d'étude, 3ème partie, 114p.
43. Su, H., Wang, J., & Liu, J. (2019). Geochemical factors controlling the occurrence of high-fluoride groundwater in the western region of the Ordos basin, northwestern China. *Environmental Pollution*, 252, 1154–1162. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.046>.
 44. Subba Rao, N., Surya Rao, P., Venktram Reddy, G., Nagamani, M., Vidyasagar, G., Satyanarayana, N. & Liu, V. V. (2012). Chemical characteristics of groundwater and assessment of groundwater quality in Varaha River Basin, Visakhapatnam District, Andhra Pradesh, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(8), 5189–5214. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2333-y>.
 45. Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., Van Beek, R., Wada, Y., Longuevergne, L., Leblanc, M., Famiglietti, J. S., Edmunds, M., Konikow, L., Green, T. R., Chen, J., Taniguchi, M., Bierkens, M. F. P., Macdonald, A., Fan, Y., Maxwell, R. M., Yechieli, Y., & Treidel, H. (2013). Groundwater and climate change. In *Nature Climate Change* (Vol. 3, Issue 4, pp. 322–329). <https://doi.org/10.1038/nclimate1744>.
 46. Tirat (1963). Contribution à l'étude hydrogéologique du Continental terminal. Rapport BRGM.
 47. USSL. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 18(3):348. <https://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800030032x>.
 48. Wekesa, S. S., Stigter, T. Y., Olang, L. O., Oloo, F., Fouchy, K., & McClain, M. E. (2020). Water Flow Behavior and Storage Potential of the Semi-Arid Ephemeral River System in the Mara Basin of Kenya. *Frontiers in Environmental Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00095>.
 49. Wilcox, L. V. (1955). Classification and Use of Irrigation Waters. US Department of Agriculture.Cire.969, Washington D.C., USA. (p. 19).
 50. Zhao, X., Guo, H., Wang, Y., Wang, G., Wang, H., Zang, X., & Zhu, J. (2021). Groundwater hydrogeochemical characteristics and quality suitability assessment for irrigation and drinking purposes in an agricultural region of the North China plain. *Environmental Earth Sciences*, 80(4). <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09432-w>.

Evaluation des Connaissances, Attitudes et Pratiques des maraîchers face à l'utilisation des pesticides en zone urbaine au Sénégal

Saboury Ndiaye, PhD

Département d'agroforesterie, UFR Sciences et Technologies,
Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

Maurice Dasylya, PhD

Département des Sciences et Techniques Agricoles,
Alimentaires et Nutritionnelles, École Supérieure Polytech Diamniadio,
Université Ahmadou Mahtar Mbow de Dakar, Sénégal

Boubacar Camara, PhD

Landing Diedhiou

Boris Dasylya

Levy Georges Mendy

Mamadou Ndao

Département d'agroforesterie, UFR Sciences et Technologies,
Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

El Hadji Mamadou Dieye

Département de Technologies Agroalimentaires,
UFR S2ATA, Université Gaston Berger, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p201](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p201)

Submitted: 09 May 2025

Accepted: 06 August 2025

Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Ndiaye, S., Dasylya, M., Camara, B., Diedhiou, L., Dasylya, B., Mendy, L.G., Ndao, M. & Dieye, E.H.M. (2025). *Evaluation des Connaissances, Attitudes et Pratiques des maraîchers face à l'utilisation des pesticides en zone urbaine au Sénégal*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 201. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p201>

Résumé

L'utilisation inappropriée des pesticides par les maraîchers constitue un risque majeur pour l'environnement et la santé humaine. Cette étude évalue les connaissances, les attitudes et les pratiques des agriculteurs concernant l'utilisation des pesticides, ainsi que les facteurs sociodémographiques et économiques associés. Les données collectées à l'aide d'entretiens semi-structurés proviennent d'un échantillon de 235 maraîchers de la ville de

Ziguinchor, au Sénégal. Les résultats montrent que la plupart des maraichers sont des femmes (87,66%), ont une tranche d'âge supérieur à 45ans (55,32%) et plus de 10 ans d'expérience dans la pratique du maraîchage, mais n'ont jamais bénéficié de formations techniques (85,23%). La majorité des maraichers ne savent pas lire et comprendre les étiquettes sur les pesticides (70,64%) et connaissent pas les problèmes sur l'environnement liés aux pesticides (55%). Aussi, la plupart d'entre eux ne respectent pas les dosages et normes d'usage (64%) et n'appliquent pas les mesures d'hygiène et de sécurité pendant et après usage des pesticides (59%). Cependant, mais pensent que l'exposition aux pesticides peut avoir des effets sur la santé humaine (75%). L'analyse factorielle a également montré que le genre ($p=0,010$), l'âge ($p=0,014$), le statut matrimonial ($p=0,003$), la scolarité ($p<0,001$), la surface de parcelle ($p=0,049$), la formation sur le maraîchage ($p=0,006$) et le revenu global ($p=0,001$) influençaient significativement et positivement la connaissance des pesticides. L'attitude est associée significativement et positivement au sexe et au statut du chef de ménage, tandis que les bonnes pratiques sont liées à l'âge ($p=0,015$) et au revenu ($p<0,001$). L'analyse de régression logistique ajustée a révélé que le fait d'être un homme ($OR=3,179$; IC à 95% : 0,977-10,347), âgé entre 36 et 45 ans ($OR=3,279$; IC à 95% : 1,114-9,654) et formé ($OR=2,516$; IC à 95% : 0,873-7,250) étaient significativement et positivement associés à une bonne connaissance de l'utilisation des pesticides. Concernant l'attitude, le fait d'être un homme ($OR=3,671$; IC à 95% : 1,138-11,838) et chef de ménage ($OR=0,532$; IC à 95% : 0,273-1,038) étaient positivement et significativement associés à une attitude positive vis-à-vis de l'utilisation des pesticides. En termes de pratiques, le fait d'avoir un âge compris entre 36 et 45 ans ($OR=3,815$; IC à 95% : 1,296-11,231) et un revenu supérieur à 500 000 Fcfa ($OR=1,546$; IC à 95% : 0,632-3,778) étaient positivement et significativement associés à de bonnes pratiques en matière de pesticides. La diffusion des bonnes pratiques d'usage des pesticides doit être renforcée dans les programmes de développement agricole, particulièrement en milieu urbain.

Mots-clés: Pesticide, maraîchage, agriculture urbaine, Sénégal

Evaluation of Knowledge, Attitudes, and Practices of Market Gardeners Regarding the use of Pesticides in Urban Areas in Senegal

Saboury Ndiaye, PhD

Département d'agroforesterie, UFR Sciences et Technologies,
Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

Maurice Dasylya, PhD

Département des Sciences et Techniques Agricoles,
Alimentaires et Nutritionnelles, École Supérieure Polytech Diamniadio,
Université Ahmadou Mahtar Mbow de Dakar, Sénégal

Boubacar Camara, PhD

Landing Diedhiou

Boris Dasylya

Levy Georges Mendy

Mamadou Ndao

Département d'agroforesterie, UFR Sciences et Technologies,
Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

El Hadji Mamadou Dieye

Département de Technologies Agroalimentaires,
UFR S2ATA, Université Gaston Berger, Sénégal

Abstract

The inappropriate use of pesticides by market gardeners represents a major risk to the environment and human health. This study assesses farmers' knowledge, attitudes, and practices (KAP) regarding pesticide use, as well as associated socio-demographic and economic factors. Data were collected using a semi-structured questionnaire with a sample of 235 market gardeners in the urban zone of Ziguinchor, southern Senegal. Data were analyzed using descriptive statistics, factorial analysis and logistic regression. The results show that most market gardeners are women (87.66%), are over 45 years old (55.32%) and have more than 10 years' experience in market gardening, but have never received technical training (85.23%). The majority of market gardeners are unable to read and understand pesticide labels (70.64%) and are unaware of the environmental problems associated with pesticide use (55%). Also, most of them do not respect dosages and standards of use of pesticides (64%) and do not apply hygiene and safety measures during and after pesticide use (59%). However, they do believe that exposure to pesticides can affect human health (75%). Factor analysis also reveals that gender ($p=0.010$), age ($p=0.014$), marital status ($p=0.003$), schooling ($p<0.001$), plot size ($p=0.049$),

training in market gardening ($p=0.006$), and overall income ($p=0.001$) are significantly and positively associated with good knowledge of pesticide use. Attitudes about pesticide use are significantly and positively associated with gender and household head, while good practices are linked to age ($p = 0.015$) and income ($p < 0.001$). Adjusted logistic regression analysis revealed that being a man ($OR=3.179$; IC à 95%: 0.977-10,347), aged between 36 and 45 years ($OR=3.279$; IC à 95%: 1,114-9,654), and trained ($OR=2.516$; IC à 95%: 0,873-7,250) were significantly associated with good knowledge of pesticide use. About the attitude, being a man ($OR=3.671$; IC à 95%: 1,138-11,838) and household head ($OR=0.532$; IC à 95%: 0,273-1,038) were positively and significantly associated with a positive attitude about pesticide use. In terms of practices, having an age between 36 and 45 years ($OR=3.815$; IC à 95%: 1,296-11,231) and an income over 500,000 Fcfa ($OR=1.546$; IC à 95%: 0.632-3,778) were positively and significantly associated with good pesticide practices. The dissemination of good practices of pesticide use needs to be reinforced in agricultural development programs, particularly in urban market gardens.

Keywords: Pesticide use, market gardening, urban agriculture, Senegal

Introduction

Les maladies, les adventices et les ravageurs des cultures constituent une grave menace pour la production agricole et la sécurité alimentaire. A l'échelle mondiale, la perte annuelle de rendement associée est estimée à plus de 30 %, ce qui représente des centaines de milliards de dollars (Oerke, 2006; Savary et *al.*, 2019). En plus des pertes directes sur les récoltes, elles contribuent à la réduction de la productivité agricole, la qualité et la valeur des produits agricoles. Pour réduire ces pertes et dégâts engendrés, les producteurs utilisent souvent des pesticides (Agmas & Adugna, 2020; Maldani et *al.*, 2017). Au cours de la dernière décennie, l'utilisation des pesticides a augmenté de 20 % en volume dans le monde et de 153% dans les pays à faible revenu (Shattuck et *al.*, 2023). Au Sénégal, la quantité utilisée par année a atteint 598 tonnes de pesticides solides et 1 336 560 litres de pesticides liquides (Tostado & Bollmoht, 2024).

En plus, l'utilisation excessive ou inappropriée des pesticides peut entraîner la contamination des fruits et légumes, la résistance des ravageurs mais aussi des problèmes écologiques, alimentaires et de santé publique (Adjrah et *al.*, 2013 ; Yarou et *al.*, 2017 ; Agmas & Adugna, 2020 ; Endalew et *al.*, 2022 ; Climent et *al.*, 2019 ; Singh et *al.*, 2021). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, le nombre annuel d'intoxications se situe entre 1 et 5 millions (Samuel & Saint-Laurent, 2001). Récemment, une étude menée au Sénégal par Toure et *al.* (2022) a indiqué que sur la période 2008-2020, 99 sur

721 cas d'intoxications sont dues aux pesticides, parmi lesquelles 80 % résultaient d'une exposition par voie orale. Au Sénégal, selon la Direction de la Protection des Végétaux, 852,450 tonnes de pesticides obsolètes ont été recensés en 2018, dont 90% dans la zone urbaine de la région de Dakar (Diallo, 2019). Dans la même foulée, le document sur l'Atlas des pesticides au Sénégal, édition spéciale de 2024, souligne que dans la zone péri-urbaine des Niayes certains producteurs continuent à utiliser des pyréthrinoides ou des avermectines, pourtant interdit à la vente en raison de leur extrême toxicité (Tostado & Bollmoht, 2024). Ce même document indique que les pratiques d'utilisation des pesticides adoptées par certains agriculteurs ne respectent pas les normes d'usage. Cette situation est préoccupante au Sénégal où la satisfaction des besoins alimentaires de la population est enjeu majeur (Ecofin, 2022). Cela est plus préoccupant dans les zones urbaines où la population a augmenté et la pratique du maraîchage prend de plus en plus de l'ampleur (ANSD, 2013 & 2022). Dans la zone urbaine et péri-urbaine de Ziguinchor, le maraîchage, une source importante d'alimentation et de revenu des ménages (Dasylyva et *al.*, 2023), est pratiqué sur de petites superficies comprises inférieurs à 5000 m² (Diédhiou & Ndiaye, 2021), avec une grande diversité des spéculations cultivées (Dasylyva et *al.*, 2017).

Des perceptions erronées, ainsi qu'un manque de connaissances et d'éducation chez les agriculteurs, ont été identifiés comme principales causes de l'usage inapproprié des pesticides par les maraîchers (Bhandari et *al.*, 2018; Sapbamrer & Thammachai, 2020). Au Sénégal, très peu de recherches ont été menées par rapport à l'usage des pesticides par les maraîchers en zone urbaine et concernaient pas la région de Ziguinchor (Cissé et *al.*, 2021 ; Sambou, 2019). C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude dont l'objectif globale est de contribuer à l'amélioration des pratiques d'utilisation des pesticides par les maraîchers. Spécifiquement, il est question : 1) d'évaluer le niveau de connaissance, l'attitude et les pratiques des maraîchers sur l'usage des pesticides et 2) d'analyser les facteurs socio-démographiques et économiques associés. Les résultats fournissent des informations de base qui sont nécessaires pour choisir la voie optimale dans l'élaboration de stratégies de gestion des pesticides appropriées et durables, tant par les décideurs que par les chercheurs.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

Cette étude a été réalisée dans la commune de Ziguinchor, située au Sud-ouest du Sénégal, entre 12°33' Latitude Nord et 16°16' Longitude Ouest (figure 1). Elle couvre une superficie de 7 339 km², soit 3,7% du territoire national (ANSD, 2023). La zone est influencée par un climat du type soudano-côtier Sud (Sagna et *al.*, 2016), caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 1200 mm (ANSD, 2023), avec une température moyenne annuelle de 27°C (ANSD, 2020). L'agriculture est pratiquée par 26% de ménages (ANSD, 2013) et est principalement dominée par le maraîchage et l'arboriculture (Dasylyva et *al.*, 2019 ; Diedhiou et *al.*, 2018).

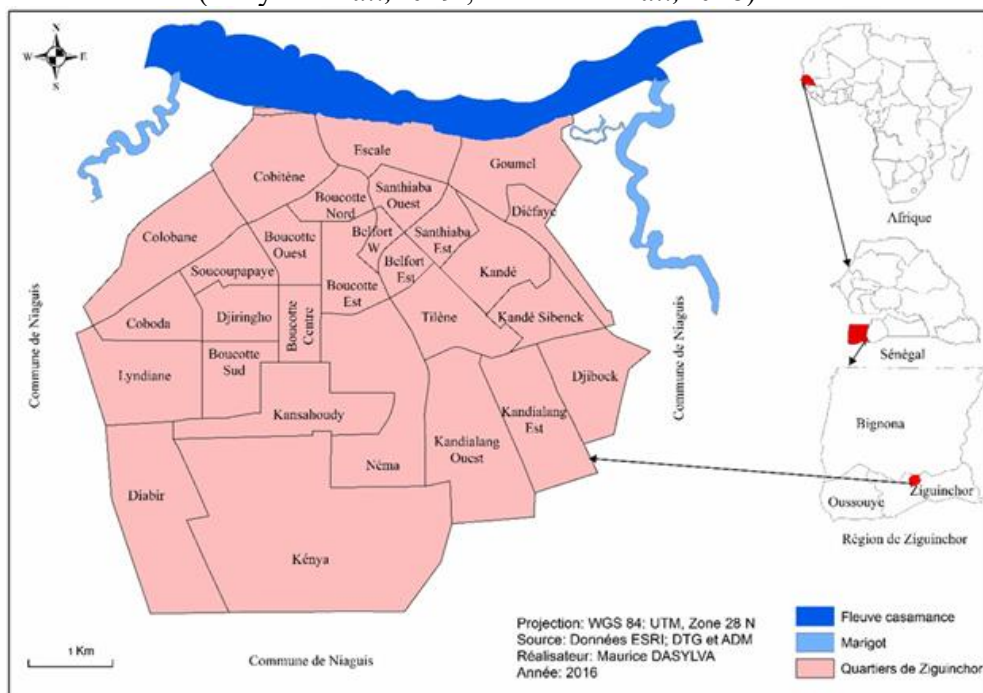


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude : Commune de Ziguinchor (Dasylyva et *al.*, 2023)

Collecte de données

Pour la collecte des données, une enquête individuelle des exploitants maraichers a été utilisée à l'aide questionnaire semi-structuré. Le questionnaire a d'abord été testé avant d'être validé. La plateforme KoboToolbox (version 2.024.05) a été utilisée pour l'élaboration du questionnaire, lequel a ensuite été déployé sur l'application KoboCollect (version 2023.2.4). Les enquêtes ont été menées sur la période du 24 janvier au 26 février 2024, où les cultures de saison froide étaient en cours.

Échantillonnage

Étant donné qu'au moment de l'étude il n'existait pas de base de données sur la taille de la population de la ville qui s'active dans le maraîchage, la taille de l'échantillon a été déterminée en utilisant la méthode de Cochran (1963), décrite par Kothari (2004) à travers l'équation (1). Une méthode similaire a été utilisée par Dasylva (2021).

$$no = \frac{z^2 pq}{e^2} \quad (1)$$

Avec : no : taille de l'échantillon nécessaire si la population n'est pas connue ; z : la valeur standard de 1,96 à un niveau d'intervalle de confiance de 95% et une précision de $\pm 5\%$; p : La part estimée de la population = 0,5 ; q : $1 - p$; e : le niveau de précision souhaitée.

La taille de l'échantillon qui en a résulté est la suivante :

$$no = \frac{(1,96)^2 (0,5)(0,5)}{(0,05)^2} = 384$$

Il est cependant à noter qu'en raison de contraintes sécuritaires dues aux manifestations pré-électorales durant la phase de collecte des données, l'enquête n'a concerné que 235 maraîchers.

Analyse des données

Statistiques descriptives

Des statistiques descriptives de base, telles que la moyenne, la fréquence, le pourcentage et le dénombrement, ont été utilisées pour analyser les données socio-économiques et démographiques ainsi que les perceptions des maraîchers sur les pesticides.

Des scores ont été calculés pour évaluer le niveau de connaissance, l'attitude et les pratiques d'usage des pesticides des maraîchers. Pour l'évaluation du niveau de connaissance des pesticides, une notation d'un (1) point ou de zéro (0) a été attribuée à chaque réponse correcte ou incorrecte sur une liste de 13 questions. Le cumul des notes obtenus permet de calculer un score global variant de 0 à 13. Si le score est d'au moins six (≥ 6) le maraîcher est considéré comme ayant une bonne connaissance, tandis que s'il obtient un score compris entre 0 et 5, il est considéré comme ayant une faible connaissance des pesticides. S'agissant de l'évaluation de l'attitude des maraîchers par rapport aux pesticides, une échelle de Likert à 4 niveaux (fortement en désaccord = 1, pas d'accord = 2, d'accord = 3 et fortement d'accord = 4) a été utilisée. Ainsi, sur une série de sept (7) affirmations soumises à l'enquête, le score global calculé permet de classer les maraîchers en deux catégories : ceux ayant un score supérieur ou égal à trois (≥ 3) sont ceux ayant une attitude positive envers les pesticides, tandis que ceux obtenant

un score compris entre 0 et 2 sont considéré comme ayant une attitude négative envers les pesticides. Enfin, l'évaluation des pratiques d'usage des pesticides s'est faite à travers une série de 15 questions, où chaque bonne pratique est notée 1 et les mauvaises 0. Le score, variant de 0 à 15, permet de distinguer les maraîchers appliquant de bonnes pratiques (score ≥ 7) de ceux ayant des pratiques inappropriées (score entre 0 et 6). Par ailleurs, pour apprécier la consistance des questions posées pour évaluer les connaissances, l'attitude et les pratiques d'usage des pesticides, le test alpha de Cronbach réalisé. Après le test une valeur globale de 0,63 a été obtenue. Cette valeur étant supérieure à 0,50, démontre une consistance suffisante des questions posées pour expliquer les résultats obtenus (Cho & Kim, 2015).

Également, un test de multicollinéarité a été fait et a permis d'obtenir un facteur d'inflation de la variance (VIF) égal à 1,2 montrant qu'il n'existe pas de problème de multicollinéarité. Enfin, le test de khi (2) a été utilisé pour déterminer la corrélation entre les variables indépendantes (par exemple : âge, sexe, éducation, ethnie, formation, expérience, superficie) et les variables dépendantes (connaissance, attitude et pratique).

Régression logistique

Une régression logistique a été effectuée suite à l'utilisation du test d'AIC Akaike Information Criterion de Hirotugu Akaike (1973), qui a donné des valeurs plus petites comparée à la régression Probit. Les équations 3 et 4 présentent le modèle de régression logistique. Dans ce cadre, des scores sur les connaissances, d'attitude et de pratique vis-à-vis des pesticides ont été calculés puis transformés en variables dichotomiques (bonne connaissance = 1 et faible connaissance = 0 ; attitude positive = 1 et attitude négative = 0 ; bonne appropriée = 1 et mauvaise pratique = 0), respectivement. Après la régression logistique, les résultats ont été présentés sous forme de rapport de cotes (Odds Ratios-OR) avec des intervalles de confiance (IC) à 95 % comme critère de signification statistique. Le logiciel STATA, version 17.0 a été utilisé pour la régression logistique.

$$P_i = P_r(Y_i = 1) = \frac{\exp(Z)}{1 + \exp(Z)} \quad (3)$$

$$Z = \beta_0 + \sum_i^m \beta_i X_i \quad (4)$$

Où, P_i est la probabilité d'un maraîcher d'avoir une bonne connaissance des pesticides, une attitude positive envers les pesticides et d'appliquer les bonnes pratiques d'usage des pesticides ; Y_i : représente les

variables dépendantes (connaissance ou non des pesticides, attitude positive ou négative envers les pesticides et pratique bonne ou mauvaise sur l'usage des pesticides) ; β_0 : est l'ordonnée à l'origine ; β_i : est le coefficient des variables explicatives ; X_i : représente les variables explicatives ; m : est le nombre de variables explicatives.

Resultats

Caractéristiques sociodémographiques des maraîchers

Les résultats du Tableau 1 indiquent que les femmes sont majoritaires (87,66%) dans la pratique du maraîchage à Ziguinchor. La majorité des producteurs a une tranche d'âge supérieur à 45ans (55,32%), suivis de ceux de 36 à 45 ans (25,96%). Les jeunes de moins de 25 ans sont faiblement représentés dans l'activité de production dans la ville (4,04%). Plus de la moitié des maraîchers sont mariés (63,4%) et la majorité d'entre eux (48,94) vivent dans des ménages dont la taille est comprise entre 5 et 10 personnes. Par ailleurs, pour ce qui est du niveau d'éducation, plus de la moitié des répondants (50,21%) n'est pas scolarisée, contre 49,21% ayant des niveaux d'étude variés, avec une domination du niveau primaire. Le maraîchage est l'activité principale des personnes enquêtées avec une fréquence de citation de 76,60%. La majorité des producteurs ont plus de 10 ans d'expérience dans la pratique du maraîchage, mais 85,23% n'ont jamais bénéficié de formations techniques.

Tableau 1 : Caractéristiques socio-démographiques des maraîchers

Caractéristiques	Fréquences	Pourcentages (%)
Genre		
Femme	206	87,66
Homme	29	12,24
Tranche d'âge (en année)		
>45 ans	130	55,32
36-45 ans	61	25,96
26-35 ans	33	14,04
<25 ans	130	55,32
Scolarisation		
Non	118	50,21
Oui	117	49,21
Ethnie		
Diola	80	34,04
Mandingue	56	23,83
Peul	32	13,62
Ballante	27	11,49
Mancagne	18	7,66
Autres	22	8
Etat civil		
Marié	149	63,4
Veuve	52	22,13
Célibataire	34	14,47

Caractéristiques	Fréquences	Pourcentages (%)
Taille du ménage		
0 à 10 personnes	146	53
> 10 personnes	88	47
Maraîchage activité principal		
Oui	180	76,60
Non	55	23,40
Formation sur le maraîchage		
Non	205	85,23
Oui	30	12,77
Expérience dans le maraîchage		
≥10 ans	136	57,87
5 à 10 ans	51	21,70
<5ans	48	20,43

Evaluation des connaissances, attitudes et pratiques sur l'usage des pesticides

Connaissances sur les pesticides

Le Tableau 2 fournit les détails des réponses des maraîchers aux questions qui ont permis de les classer selon leur niveau de connaissance des pesticides. La quasi-totalité des maraîchers (99,57%) connaissent les pesticides. Les insecticides sont les plus connus par les maraîchers (98,3%) suivis des fongicides (74,47%) et des herbicides (65,11%). Par contre, les résultats montrent que la majorité des répondants (70,64%) n'est pas en mesure de lire et de comprendre les indications sur l'emballage des pesticides. Il en ressort également que 80,43% obtiennent des renseignements sur l'usage des pesticides principalement auprès des commerçants et de leurs voisins. Enfin, la majorité des exploitants déclarent ne pas être informés sur les interdictions ou limitation d'usage de certains pesticides.

Sur le plan environnemental, plus de la moitié des maraîchers ne savent pas que les pesticides ont des effets négatifs sur l'environnement (55,74 %). En plus, près de la moitié des maraîchers (40,42 %) ne savent pas que l'on peut trouver des résidus de pesticides dans l'eau, l'air, le sol et les êtres vivants. Sur le plan de la santé, la majorité (88,94%) connaît les voies d'exposition de l'organisme aux pesticides dont les plus cités sont l'inhalation et l'ingestion. La plupart des maraîchers (79,57%) déclarent connaître l'existence de problèmes de santé liés à l'usage des pesticides. Les voies d'exposition aux pesticides les plus citées sont l'inhalation et l'ingestion. En cas de maladies liées à l'exposition aux pesticides, la majorité des maraîchers savent qu'il faut se rendre à l'hôpital (75,32%), prendre des médicaments et même arrêter temporairement le travail.

Tableau 2 : Connaissances des maraîchers sur l'utilisation des pesticides

Questions	Modalités	Pourcentage (%)
Connaissez-vous des pesticides ?	Oui	99,57
	Non	0,43
Classe de pesticides	Insecticides	98,3
	Fongicides	74,47
	Herbicides	65,11
	Autres	0,85
Lire et comprendre les étiquettes des pesticides	Non	70,64
	Oui	29,36
Etes-vous informés sur l'utilisation des pesticides ?	Oui	80,43
	Non	19,57
Source d'information	Vendeurs	35,74
	Amis	35,74
	Autres	5,96
	Technicien	2,98
Formation sur l'utilisation des pesticides	Non	94,04
	Oui	5,96
Les pesticides ont-ils des effets sur l'environnement ?	Oui	43,83
	Ne sais pas	42,55
	Non	13,19
Est-il possible de trouver les résidus de pesticides dans les produits traités avec des pesticides ?	Oui	59,57
	Ne sais pas	20,85
	Non	19,57
Connaissez-vous les problèmes de santé liés aux pesticides ?	Oui	79,57
	Non	20,43
Connaissez-vous les voies d'exposition aux pesticides ?	Oui	88,94
	Non	10,21
Voies d'expositions	Inhalation	88,51
	Ingestion	80,43
	Œil	43,4
	Peau	33,19
	Oreille	8,94
Que faites-vous quand vous constatez les symptômes ?	Se rendre à l'hôpital	75,32
	Méthodes traditionnelles	31,91
	Prendre des médicaments	8,51
	Arrêter le travail	1,28
L'utilisation des pesticides est-elle interdite ou limitée ?	Ne sais pas	85,11
	Limité	14,04
	Interdit	0,85

Attitudes vis-à-vis de l'utilisation des pesticides

Les résultats du tableau 3 indiquent que 75,75% des maraîchers pensent que le fait d'être en contact avec des pesticides entraîne des problèmes de santé contre 24,25% qui pensent le contraire. Environ 42% des enquêtés sont en désaccord par rapport à l'affirmation selon laquelle les pesticides causent des problèmes de santé contre 13,13% qui sont d'accord et 20,43%

qui ne savent rien de cette affirmation. En étant conscient de la dangerosité des pesticides sur la santé et l'environnement, 51,07% des maraîchers pensent que l'utilisation des pesticides devrait être découragée, contre près de la moitié 43,83% qui sont en désaccord et le reste indiquant ne rien en savoir. Par rapport à l'affirmation selon laquelle notre corps peut être résistant aux pesticides, les résultats montrent que 50,64% des maraîchers sont en désaccord, contre 31,92% qui sont d'accord et le reste des répondants déclarent qu'ils ne savent pas. La majorité des répondants (87,66%) pensent fortement que l'utilisation des Equipements de Protection Individuelle (EPI) permet de se protéger contre l'exposition aux pesticides et pensent qu'il est important de se procurer et de porter ces équipements et qu'une bonne manipulation des pesticides contribue à réduire les problèmes de santé.

Tableau 3 : Attitudes des maraîchers sur l'utilisation des pesticides

Questions	Modalités	Pourcentage (%)
Pensez-vous que le fait d'être en contact avec des pesticides entraîne des problèmes de santé ?	Oui	75,75
	Ne sait pas	14,89
	Non	9,36
Pensez-vous que tous les pesticides causent les mêmes problèmes de la santé ?	Fortement en désaccord	28,94
	Ne sais pas	20,43
	Pas d'accord	13,19
	D'accord	8,51
	Fortement d'accord	4,26
Pensez-vous que l'utilisation des pesticides devrait être découragée ?	Fortement d'accord	33,62
	Fortement en désaccord	25,11
	Pas d'accord	18,72
	D'accord	17,45
	Ne sais pas	5,11
Pensez-vous que notre corps peut être résistant aux pesticides ?	Fortement en désaccord	39,15
	Fortement d'accord	21,28
	Ne sais pas	17,45
	Pas d'accord	11,49
	D'accord	10,64
Pensez-vous que l'utilisation des EPI permet de nous protéger contre l'exposition aux pesticides ?	Fortement d'accord	87,66
	D'accord	8,09
	Ne sais pas	2,13
	Fortement en désaccord	1,7
	Pas d'accord	0,43
Pensez-vous qu'il est important de porter les EPI et d'investir dans ces types d'équipements pour se protéger ?	Fortement d'accord	87,66
	D'accord	9,79
	Ne sais pas	1,28
	Pas d'accord	0,85
	Fortement en désaccord	0,43
Pensez-vous qu'une bonne manipulation des pesticides réduit les problèmes de santé ?	Fortement d'accord	73,19
	D'accord	24,26
	Ne sais pas	1,7
	Fortement en désaccord	0,43
	Pas d'accord	0,43

Pratiques d'usages des pesticides

Les résultats du tableau 4 montrent que les insecticides sont plus utilisés par les producteurs (82%), suivi des fongicides (22,55%). La majorité des maraîchers achètent les pesticides chez les vendeurs informels au marché de la ville de Ziguinchor (80,43%). Seulement, 33% des maraîchers portent toujours des EPI lors de la manipulation des produits phytosanitaires. La majorité (64%) des maraîchers affirme ne pas respecter ni le dosage recommandé ni les prescriptions d'usage figurant sur les étiquettes des produits phytosanitaires. De plus, après application des pesticides, 48% et 59% des maraîchers déclarent ne pas se laver systématiquement et changer de vêtements, respectivement. Toutefois, plus de 70% ne mange pas, ne boit pas et ne fume pas pendant l'application des pesticides. Par rapport à l'environnement, plus de la moitié des maraîchers tiennent compte de la direction et de la vitesse du vent mais aussi du moment de la journée (le soir) lors des traitements. En revanche, 56% des maraîchers abandonnent les contenants vides dans la parcelle.

Tableau 4 : Pratiques des maraîchers sur l'utilisation des pesticides

Questions	Modalités	Pourcentage (%)
Utilisez-vous des pesticides ?	Oui	83
	Non	17
Classe des pesticides utilisés	Insecticide	81,7
	Fongicide	22,55
	Autres	4
Qui vous vend ces produits ?	Vendeur détaillant	80,43
	Marchand ambulant	1,7
	Autres	0,89
Utilisez-vous des équipements de protection individuelle ?	Toujours	33,62
	Non	25,53
	Parfois	23,83
Respectez-vous le dosage pesticides ?	Non	64
	Oui	36
Respectez-vous les instructions figurant sur l'étiquette ?	Non	64
	Oui	36
Est-ce que vous vous l'avez systématiquement après l'application des pesticides ?	Non	48
	Oui	52
Après application de pesticide est ce que vous changez ou séchez vos habits avant d'aller à la maison ?	Non	59
	Oui	41
Gardez-vous dans un lieu sûr et sécurisé les équipements utilisés pour le traitement des cultures ?	Oui	46
	Non	54
Est-ce qu'il vous arrive de manger ou boire lors que vous manipulez les pesticides ?	Non	76
	Oui	24
Est-ce que vous fumez au moment où vous manipulez les pesticides ?	Non	83
	Oui	17
	Non	80

Questions	Modalités	Pourcentage (%)
Faites-vous la préparation des pesticides à la maison ?	Oui	20
Tenez-vous compte de la direction et la vitesse du vent ?	Oui	54
	Non	46
Tenez-vous compte du moment de journée pour l'application de pesticide ?	Oui	80
	Non	20
Moment d'application	Soir	71,91
	Matin	22,13
	Midi	2,13
Est-ce que vous enfouissez les contenants vides ?	Non	64
	Oui	34
Est-ce que vous laissez les contenants vides dans la parcelle ?	Oui	57
	Non	43
Réutilisez-vous les contenants vides ?	Non	78
	Oui	22
Est-ce que vous brûlez les contenants vides ?	Non	65
	Oui	35
Après le dernier traitement vous attendez combien de jour avant de récolter ?	7 à 14 jours	39,57
	< 7 jours	24,26
	14 à 21 jours	13,62
	>21 jours	5,53

Les facteurs influençant la connaissance, l'attitude et les pratiques sur l'usage des pesticides chez les maraîchers

Une analyse factorielle principale a été effectuée afin de montrer les caractéristiques significatives entre les variables sociodémographiques et les connaissances, attitudes et pratiques. Les résultats du Tableau 5 montrent que le genre ($p=0,010$), la tranche d'âge ($p=0,014$), le statut matrimonial ($p=0,003$), la scolarité ($p<0,001$), la surface de parcelle ($p=0,049$), la formation sur le maraîchage ($p=0,006$) et le revenu global ($p=0,001$) influencent positivement et significativement les connaissances des maraîchers sur les pesticides. L'analyse a aussi révélé que le statut matrimonial ($p=0,022$) influence négativement et significativement l'attitude des maraîchers vis-à-vis des pesticides. Enfin, les pratiques en matière d'usage des pesticides sont positivement et significativement influencées par le genre ($p=0,019$), la tranche d'âge ($p=0,015$), l'expérience ($p<0,001$) et le revenu global ($p<0,001$).

Le Tableau 6 présente les résultats de la régression logistique ajustée des variables socio-démographiques des maraîchers et de leurs niveaux de connaissances, d'attitudes et de pratiques. Les résultats montrent que les hommes avaient 3,179 fois plus de chances d'avoir une bonne connaissance de l'utilisation des pesticides que les femmes ($OR=3,179$; IC à 95% : 0,977-10,347). Il a été aussi noté que les maraîchers âgés de 36 à 45 étaient 3,279 fois plus susceptibles d'avoir une connaissance adéquate sur l'utilisation des

pesticides comparativement aux autres catégories (OR=3,279 ; IC à 95% : 1,114-9,654). L'analyse a également révélé que les maraîchers qui sont chef de ménage avaient 0,481 fois plus de chance d'avoir une bonne connaissance sur l'utilisation des pesticides (OR =0,481 ; IC à 95% : 0,232-0,997). En ce qui concerne l'éducation, les maraîchers qui ont étudié avaient 3,715 fois plus de chance d'acquérir une bonne connaissance sur l'utilisation des pesticides (OR=3,715 ; IC à 95% : 1,786-7,722). De plus, suivre une formation sur le maraîchage augmente de 2,516 fois la probabilité d'avoir une connaissance adéquate (OR=2,516 ; IC à 95% : 0,873-7,250). En outre, les maraîchers dont le revenu est supérieur 500 milles Fcfa avaient 5,540 fois plus de chance d'avoir une bonne connaissance (OR=5,540 ; IC à 95% : 2,317-13,247) sur l'usage des pesticides.

Concernant l'attitude des maraîchers vis-à-vis des pesticides, les résultats montrent qu'être un homme augmente de 3,671 fois la probabilité d'avoir une attitude positive sur les pesticides (OR=3,671 ; IC à 95% : 1,138-11,838). Ils ont aussi révélé que les maraîchers qui sont chef de ménage avaient 0,532 fois plus de chance d'avoir une attitude positive sur l'usage des pesticides (OR=0,532 ; IC à 95% : 0,273-1,038) par rapport à ceux qui ne le sont pas.

S'agissant des pratiques, les maraîchers âgés de 36 à 45 avaient 3,815 fois plus de chance d'appliquer une bonne pratique d'utilisation des pesticides (OR=3,815 ; IC à 95% : 1,296-11,231) comparativement aux autres. De même, les maraîchers dont le revenu est supérieur à 500 milles Fcfa avaient 1,546 fois plus de chance d'appliquer les bonnes pratiques d'usage des pesticides (OR=1,546 ; IC à 95% : 0,632-3,778) par rapport aux maraîchers qui ont un revenu compris entre 300- 500 milles Fcfa, moins de 100 milles Fcfa et ceux qui n'ont pas de revenu.

Tableau 5 : Résultat des tests de corrélation de Chi2

Caractéristiques	Catégories	Connaissance		Chi 2 p-Value	Attitude		Chi 2p-Value	Pratique		Chi 2 p-Value
		Bonne N (%)	Faible N (%)		Positive N (%)	Négative N (%)		Appropriée N (%)	Inappropriée N (%)	
Genre	Homme	23 (79,31)	6 (20,69)	0,010	5 (17,24)	24 (82,76)	0,070	16 (55,17)	13 (44,83)	0,019
	Femme	111 (53,88)	95 (46,12)		70 (33,98)	136 (66,02)		156 (75,73)	50 (24,27)	
Tranche d'âge (ans)	< 25	8 (72,73)	3 (27,27)	0,014	2 (18,18)	9 (81,82)	0,395	8 (72,73)	3 (27,27)	0,015
	26-35	19 (57,58)	14 (42,42)		10 (30,30)	23 (69,70)		17 (51,52)	16 (48,48)	
	36-45	44 (72,13)	17 (27,87)		16 (26,23)	45 (73,77)		50 (81,97)	11 (18,03)	
	> 45	63 (48,46)	67 (51,54)		47 (31,91)	83 (63,85)		97 (74,62)	33 (25,38)	
Chef de ménage	Oui	95 (60,13)	63 (39,87)	0,168	29 (37,66)	46 (29,11)	0,187	58 (75,32)	19 (24,68)	0,606
	Non	39 (50,63)	38 (49,35)		48 (62,34)	112 (70,89)		114 (72,15)	44 (27,85)	
Statut matrimonial	Marié	84 (56,38)	65 (43,62)	0,003	46 (30,87)	103 (69,13)	0,022	108 (72,48)	41 (26,81)	0,806
	Célibataire	27 (81,82)	6 (18,18)		5 (15,15)	28 (84,85)		23 (69,70)	10 (30,30)	
	Veuf/veuve	22 (42,31)	30 (57,69)		24 (46,15)	28 (53,85)		40 (76,92)	12 (23,08)	
	Divorcé	1 (100)	0 (0,00)		0 (0,00)	1 (100,00)		1 (100)	0 (0,00)	
Scolarisation	Oui	85 (72,65)	32 (27,35)	<0,001	33 (28,21)	84 (71,79)	0,224	83 (73,19)	34 (29,06)	0,438
	Non	49 (41,53)	69 (58,47)		42 (35,59)	76 (64,41)		89 (75,42)	29 (24,58)	
Religion	Musulman	98 (55,37)	79 (44,63)	0,301	61 (34,46)	116 (65,54)	0,089	134 (75,71)	43 (24,29)	0,231
	Chrétien	36 (63,13)	21 (36,84)		13 (22,81)	44 (77,19)		37 (64,91)	20 (35,09)	
	Animiste	0 (0,00)	1 (100)		1 (100)	0 (0,00)		1 (100)	0 (0,00)	
Superficie parcelle (m²)	<200	20 (48,78)	21 (51,22)	0,049	19 (46,34)	22 (53,66)	0,157	23 (56,10)	18 (43,90)	0,065
	200 à 500	43 (50)	43 (50)		27 (31,40)	59 (68,60)		62 (72,09)	24 (27,91)	
	500 à 1000	21 (60)	14 (40)		8 (22,86)	27 (77,14)		28 (80)	7 (20)	
	1000 à 2500	15 (53,57)	13 (50)		11 (39,29)	17 (60,71)		22 (78,57)	6 (21,43)	
	2500 à 5000	15 (53,57)	13 (46,43)		6 (24)	19 (76)		19 (76)	6 (24)	
	>5000	16 (80)	4 (20)		4 (20)	16 (80)		18 (90)	2 (10)	
Expérience sur le maraîchage (an)	< 5	26 (57,02)	25 (49,02)	0,226	12 (23,53)	39 (76,47)	0,297	25 (49,02)	26 (50,98)	<0,001
	5 à 10	24 (50)	24 (50)		18 (37,40)	30 (62,50)		34 (49,02)	26 (50,98)	
	> 10	84 (61,76)	52 (38,24)		45 (33,09)	91 (66,91)		113 (83,09)	23 (16,91)	
Formation sur le maraîchage	Oui	24 (80)	6 (20)	0,006	8 (26,67)	22 (73,33)	0,509	172 (73,19)	63 (26,81)	0,179
	Non	110 (53,66)	95 (46,34)		67 (32,68)	138 (67,32)		147 (71,71)	58 (28,29)	
Revenu (en millier Fcfa)	<100	16 (59,26)	11 (40,74)	0,001	10 (50)	17 (62,96)	0,302	15 (55,56)	12 (44,44)	<0,001
	100 à 300	35 (43,75)	45 (56,25)		27 (33,75)	53 (66,25)		59 (73,75)	21 (26,25)	
	300 à 500	29 (55,77)	23 (44,23)		16 (30,77)	36 (69,23)		43 (82,69)	9 (17,31)	
	>500	48 (78,69)	13 (21,31)		14 (22,95)	47 (77,05)		51 (83,61)	10 (16,39)	

Tableau 6 : Résultat de la régression logistique

Variable	Catégorie	Connaissances			Attitudes			Pratiques		
		Odds Ratio	95% CI		Odds Ratio	95% CI		Odds Ratio	95% CI	
			Inf	Sup		Inf	Sup		inf	Sup
Genre	Homme	3,179***	0,977	10,347	3,671**	1,138	11,838	0,486	0,169	1,396
	Femme	1			1			1		
Tranches d'âge	36-45 ans	3,279**	1,114	9,654	1,544	0,552	4,320	3,815**	1,296	11,231
	< 25 ans	2,588	0,446	15,009	2,311	0,390	13,685	2,128	0,429	10,542
	> 45 ans	1,777	0,606	5,207	1,180	0,427	3,256	2,394	0,833	6,875
Chef ménage	Oui	0,481**	0,232	0,997	0,532***	0,273	1,038	1,101	0,510	2,376
	Non	1			1			1		
Education	Oui	3,715*	1,786	7,728	1,069	0,548	2,086	1,360	0,621	2,979
	Non	1			1			1		
Formation	Oui	2,516***	0,873	7,250	1,034	0,410	2,605	1,413	0,471	4,237
	Non	1			1			1		
Revenu	300-500 milles Fcfa	2,052***	0,904	4,660	1,299	0,591	2,856	1,418	0,566	3,553
	Plus de 100 milles Fcfa	1,895	0,688	5,217	0,803	0,312	2,064	0,390**	0,150	1,012
	Pas de Revenu	0,549	0,152	1,985	0,368	0,109	1,244	0,141*	0,036	0,540
	Plus de 500 milles Fcfa	5,540*	2,317	13,247	1,709	0,771	3,790	1,546	0,632	3,778

Discussion

L'objectif de cette étude a été d'évaluer les connaissances, attitudes et pratiques des maraîchers sur l'usage des pesticides et d'analyser les facteurs socio-démographiques et économiques associés. Il convient de retenir des faits saillants dont nous faisons l'économie dans cette partie.

Caractéristique socio-démographique des maraîchers

Le maraîchage est majoritairement pratiqué par des femmes, ce qui s'expliquerait par un moindre intérêt des hommes pour ce type d'exploitation. Cette tendance corrobore les résultats de Dasylyva et *al.* (2023) à Ziguinchor, qui ont rapporté une proportion de 86 % de femmes maraîchères. En revanche, elle contraste avec les observations de Cissé et *al.*, (2021) dans la zone des Niayes et de Agmas & Adugna (2020) en Éthiopie, où le maraîchage est principalement masculin. La majorité des maraîchers a un âge supérieur ou égal à 45 ans, ce qui pourrait s'expliquer par le fait qu'il s'agit souvent de personnes mariées, responsables de familles nombreuses. Ces résultats rejoignent ceux de Touré (2020) à Banguinéda au Mali, où la tranche d'âge dominante est de 40 à 49 ans. Toutefois, ils diffèrent de ceux de Agmas & Adugna (2020), qui ont observé une proportion plus élevée de jeunes maraîchers (48,7 %). Sur le plan ethnique, les Diolas et les Mandingues sont les plus représentés dans la pratique du maraîchage, ce qui peut être lié à leur forte présence dans la région et à leur ancrage dans des activités agricoles comme la riziculture (ANSD, 2015). Enfin, le niveau d'instruction des maraîchers est majoritairement primaire, ce qui pourrait s'expliquer par les difficultés d'accès au secteur formel pour les personnes peu scolarisées. Ces résultats sont en accord avec ceux de Touré (2020).

Connaissance, attitude et pratique des maraîchers sur l'utilisation des pesticides

Il a été noté que, malgré une connaissance générale des pesticides chez la majorité des maraîchers, des lacunes subsistent quant aux effets environnementaux, aux résidus et à la réglementation en vigueur. Cela étant en lien avec le faible taux de formation formelle et la prépondérance de sources d'information informelles. Ces résultats corroborent ceux de Touré (2020) et Agmas & Adugna (2020). La majorité des maraîchers manifeste une attitude positive envers la gestion des risques, reconnaissant notamment la toxicité des pesticides, l'importance des EPI et des bonnes pratiques de manipulation. Toutefois, un écart persistant est observé entre attitude et pratique. Près d'un tiers des maraîchers adopte encore des comportements à risque incluant le non-respect des doses d'application et des prescriptions, et négligence de l'hygiène après traitement. Ce qui pourrait être expliqué par le faible niveau d'instruction des maraîchers, étant dans l'incapacité de lire et de comprendre

les recommandations sur l'utilisation de ces produits. Ces résultats sont en phase avec les observations de Cissé et *al.* (2021) dans la zone des Niayes (Sénégal). Toutefois, même si certains gestes de protection sont bien connus (utiliser des EPI, éviter de manger, boire ou fumer pendant le traitement, ou préparer les pesticides à domicile), la gestion des emballages reste problématique, avec une majorité les abandonnant dans les champs ou les brûlant, comme en ont aussi fait état Ngakiamama et *al.* (2019) dans la ville de Kinshasa.

Les facteurs influençant les connaissances, attitudes et pratiques des maraîchers

L'étude a permis de comprendre que les hommes ont plus de chance d'avoir une bonne connaissance sur l'utilisation des pesticides par rapport aux femmes. Cela pourrait s'expliquer par leur participation plus fréquente à des formations ou à des réunions de renforcement de compétences sur les pesticides. De plus, les maraîchers ayant suivi des formations avaient davantage de chance d'avoir une meilleure connaissance par rapport aux autres. Ces résultats sont en phase avec ceux de Mubushar et *al.* (2019), qui ont montré que l'éducation et la formation influencent la connaissance des agriculteurs. Les maraîchers âgés de 36 à 45 ans, chefs de ménage et dont le revenu est supérieur à 500 mille FCFA, présentent également une meilleure connaissance de l'utilisation des pesticides. Cette situation s'expliquerait notamment par leur quête active de savoirs, leur maturité, ainsi que leur capacité financière à accéder à des formations de qualité. Ces résultats ne concordent pas avec ceux de Mubushar et *al.* (2019), qui ont conclu que ni l'âge ni le revenu n'avaient d'influence significative sur la connaissance des agriculteurs.

En ce qui concerne l'attitude, les hommes présentent une meilleure disposition vis-à-vis de l'utilisation des pesticides. Cela peut être lié au fait que, dans certaines cultures, ils assument plus souvent les responsabilités agricoles, notamment l'application des produits phytosanitaires. Ces résultats corroborent ceux de Agmas & Adugna (2020). Par ailleurs, les maraîchers chefs de ménage montraient également une meilleure attitude, probablement en raison de leur sens accru des responsabilités familiales, notamment en matière de santé.

Concernant les pratiques, les maraîchers âgés de 36 à 45 ans, ainsi que ceux ayant un revenu supérieur à 500 mille Fcfa, étaient plus enclins à adopter des pratiques appropriées. Ce constat s'explique par leur expérience, qui favorise une meilleure compréhension des risques liés à une utilisation inappropriée des pesticides. En outre, les revenus plus élevés leur permettent d'acquérir le matériel adéquat et les EPI nécessaires.

Conclusion

Cette étude menée dans la ville de Ziguinchor a permis d'évaluer la connaissance, l'attitude et la pratique des maraîchers sur l'utilisation des pesticides, mettant ainsi en lumière la perception globale des acteurs vis-à-vis des pesticides. La connaissance des pesticides est insuffisante chez les maraîchers de la ville de Ziguinchor. Même si la majorité d'entre eux ont une attitude positive sur les pesticides, il est important de noter que les pratiques d'usage des pesticides sont inappropriées dans l'ensemble. Les connaissances, attitudes et pratiques d'usage des pesticides sont fortement corrélées avec l'âge, le sexe, le niveau d'éducation, de formation et le revenu des maraîchers. Dans ce cadre, il est important de renforcer les capacités des maraîchers sur les bonnes pratiques durables d'usage des pesticides. En perspective, il serait intéressant de mener des études sur l'impact environnemental et sanitaire de l'usage des pesticides au niveau des populations urbaines de Ziguinchor.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'endroit du personnel du Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie (LAFE) de l'Université Assane Seck de Ziguinchor et à toute personne qui, de près ou de loin, a contribué à la mise en œuvre de ce travail de recherche. Nos remerciements s'adressent également aux maraîchers qui ont participé à la fourniture de ces précieuses informations.

Contributions de l'auteur

Chaque auteur a contribué de manière significative à l'élaboration de ce manuscrit. SN, MD, BC et LD ont conceptualisé l'étude et élaboré la méthodologie. BD et LGM ont assuré l'acquisition des données. LD, BD et LGM ont rédigé la première version du document. MN et EMD ont revu le manuscrit. SN, MD et BC ont relu et approuvé la version finale.

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 recherche a suivi les orientations du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique du Sénégal ainsi que les procédures du code d'éthique en matière de recherche scientifique du ministère de la santé du Sénégal. Le protocole de

recherche a été approuvé par le conseil scientifique de l'université assane seck de ziguinchor.

References:

1. Adjrah, Y., Dovlo, A., Karou, S. D., Eklou-Gadegbeku, K., Agbonon, A., de Souza, C., & Gbeassor, M. (2013). Survey of pesticide application on vegetables in the Littoral area of Togo. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine: AAEM*, 20(4), Article 4.
2. Agence Ecofin. (2022). *L'Afrique subsaharienne contribuera pour plus de la moitié à l'augmentation de la population mondiale d'ici 2050* (ONU). Agence Ecofin. <https://www.agenceecofin.com/actualites/1207-99627-l-afrique-subsaharienne-contribuera-pour-plus-de-la-moitie-a-laugmentation-de-la-population-mondiale-d-ici-2050-onu>
3. Agmas, B., & Adugna, M. (2020). Attitudes and practices of farmers with regard to pesticide use in NorthWest Ethiopia. *Cogent Environmental Science*, 6(1), 1791462. <https://doi.org/10.1080/23311843.2020.1791462>
4. ANSD. (2013). *Rapport définitif RGPHAE-2013* (p. 19). Agence National de la statistique et de la Démographie.
5. ANSD. (2015). *Projection de la population du Sénégal, 2013-2063. NSD/MEFP* (p. 175). Agence National de la statistique et de la Démographie.
6. ANSD. (2020). *ANDS. (2020). Situation Economique et Sociale de la région de Ziguinchor, 2017-2018. Service Régional de la Statistique et de la Démographie de Ziguinchor.* (p. 130).
7. ANSD. (2022). *Annuaire de la population du Sénégal 2022* (p. 39). Agence National de la statistique et de la Démographie.
8. ANSD. (2023). *Bulletin Mensuel des Statistiques Economiques et Financières* (p. 109). Agence National de la statistique et de la Démographie. <https://www.ansd.sn/Indicateur/bulletin-mensuel-des-statistiques-economiques-et-financieres>
9. Belem, B. C. D. (2017). *Analyse des déterminants de l'adoption des bonnes pratiques de production de l'anacarde au Burkina Faso* [Université Laval]. <https://core.ac.uk/download/pdf/442646955.pdf>
10. Bhandari, G., Atreya, K., Yang, X., Fan, L., & Geissen, V. (2018). Factors affecting pesticide safety behaviour: The perceptions of Nepalese farmers and retailers. *Science of the total environment*, 631, 1560-1571. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.144>
11. Bourbonnais, R. (2015). *Econométrie : Cours et exercices corrigés* (9e édition). Dunod Paris.

- https://www.academia.edu/download/57262758/LIVRE_econometrie_regis_Bourbonnais.pdf
12. Cho, E., & Kim, S. (2015). Cronbach's Coefficient Alpha : Well Known but Poorly Understood. *Organizational Research Methods*, 18(2), Article 2. <https://doi.org/10.1177/1094428114555994>
 13. Cissé, A., Gueye, C. M. L. B., Dia, S., Kane, A., & Sembène, M. (2021). Choix et utilisation des pesticides dans la zone des Niayes : Cas de Notto Gouye Diamo. *Afrique SCIENCE*, 19(2), 55-67.
 14. Climent, M. J., Coscollà, C., López, A., Barra, R., & Urrutia, R. (2019). Legacy and current-use pesticides (CUPs) in the atmosphere of a rural area in central Chile, using passive air samplers. *Science of the Total Environment*, 662, 646-654. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.302>
 15. Cochran, W. G. (1963). *Sampling techniques. 2nd edition*. John Wiley & Sons.
 16. Dasylyva, M., Ndour, N., & Diallo, A. (2023). Diversité et Caractéristiques des Systèmes de Production Agricole Végétale dans la Commune de Ziguinchor au Sénégal. *EuropeanScientific Journal*, 19(3), 120-147. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n3p120>
 17. Dasylyva, M., Ndour, N., Diédhiou, M. A. A., & Sambou, B. (2019). Caractérisation Physico-Chimique des Sols des Vallées Agricoles de la Commune de Ziguinchor au Sénégal. *European Scientific Journal May*, 15(15), 165-189. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n15p165>
 18. Dasylyva, M., Ndour, N., Ndiaye, O., & Sambou, B. (2017). Analyse de la flore, de la végétation ligneuse et des fonctions des vallées en zone péri-urbaine post-conflit (Ziguinchor, Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1), 360-377. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.28>
 19. Diallo, A. (2019). *Analyse des données d'inventaire des pesticides obsolètes et déchets associés du Sénégal* (p. 26) [Rapport de consultation]. Direction de Protection des Végétaux.
 20. Diédhiou, S. O., & Ndiaye, T. M. N. (2021). Caractérisation des catégories d'espaces et contribution du maraîchage à la sécurité alimentaire dans la ville de Ziguinchor au Sénégal. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 4(5), 1-16. <https://rivieresdusud.uasz.sn/handle/123456789/1632>
 21. Diedhiou, S. O., Sy, O., & Margetic, C. (2018). Agriculture urbaine à Ziguinchor (Sénégal) : Des pratiques d'autoconsommation favorables à l'essor de filières d'approvisionnement urbaines durables. *Espace populations sociétés. Space populations societies*, 2018(3), 21. <https://doi.org/10.4000/eps.8250>

22. Endalew, M., Gebrehiwot, M., & Dessie, A. (2022). Pesticide Use Knowledge, Attitude, Practices and Practices Associated Factors Among Floriculture Workers in Bahirdar City, North West, Ethiopia, 2020. *Environmental Health Insights*, 16, 1-10. <https://doi.org/10.1177/11786302221076250>
23. Kothari, C. R. (2004). *Research methodology: Methods and techniques* (2nd Edition). New Age International. https://qnamuni.dspace.vn/bitstream/QNA/1934/1/1.%20Research_methodology_methods_and_techniq.pdf
24. Maldani, M., Dekaki, E. M., Nassiri, L., & Ibijbijen, J. (2017). State of art on the use of pesticides in Meknes Region, Morocco. *American Journal of Agricultural Science*, 4(6), 138-148.
25. Mubushar, M., Aldosari, F. O., Baig, M. B., Alotaibi, B. M., & Khan, A. Q. (2019). Assessment of farmers on their knowledge regarding pesticide usage and biosafety. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), Article 7. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.03.001>
26. Ngakiam, G. N., Mbela, G. K., Pole, C. S., Kyela, C. M., & Komanda, J. A. (2019). Analyse des connaissances, attitudes et pratiques des maraîchers de la Ville de Kinshasa en rapport avec l'utilisation des pesticides et l'impact sur la santé humaine et sur l'environnement. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 26(2), 345-356. <https://search.proquest.com/openview/79dd49b5bfc7f271eac36b5eca3eafda/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2031961>
27. Oerke, E.-C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of agricultural science*, 144(1), 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
28. Sagna, P., Ndiaye, O., Diop, C., Niang, A. D., & Sambou, P. C. (2016). Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC? 2268-3798.
29. Samuel, O., & Saint-Laurent, L. (2001). *Guide de prévention pour les utilisateurs de pesticides en agriculture maraîchère*. Institut de Recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. <https://pharesst.irsst.qc.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1041&context=guides>
30. Sappamrer, R., & Thammachai, A. (2020). Factors affecting use of personal protective equipment and pesticide safety practices: A systematic review. *Environmental research*, 185, 109444. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109444>
31. Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S. J., Esker, P., McRoberts, N., & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on

- major food crops. *Nature ecology & evolution*, 3(3), 430-439.
<https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
32. Shattuck, A., Werner, M., Mempel, F., Dunivin, Z., & Galt, R. (2023). Global pesticide use and trade database (GloPUT) : New estimates show pesticide use trends in low-income countries substantially underestimated. *Global Environmental Change*, 81, 28.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102693>
33. Singh, R., Thakur, P., Thakur, A., Kumar, H., Chawla, P., V. Rohit, J., Kaushik, R., & Kumar, N. (2021). Colorimetric sensing approaches of surface-modified gold and silver nanoparticles for detection of residual pesticides : A review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 101(15), 3006-3022.
<https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1715382>
34. Tostado, L., & Bollmoht, S. (2024). *Atlas des pesticides au Sénégal : Faits et chiffres sur les substances chimiques toxiques dans l'agriculture*.
35. Touré, A. A. dit P. (2020). *Connaissance, Attitude et Pratique des maraîchers sur l'usage rationnel des pesticides à Bamako et à Baguinéda* [Thesis, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako].
36. Toure, A., Cabral, M., Bah, F., Lam, A., Ly, M., Ly, M. D., Sylla, A., Diop, C., & Fall, M. (2022). Intoxications aux pesticides au Sénégal : Données du centre Antipoison de 2009 à 2020. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 34(3), S173. <https://doi.org/10.1016/j.toxac.2022.06.299>
37. Yarou, B. B., Silvie, P., Komlan, F. A., Mensah, A., Alabi, T., Verheggen, F., & Francis, F. (2017). *Pesticidal plants and vegetable crop protection in West Africa. A review*. 21(4), 288-304.
<https://doi.org/10.5555/20183024839>

Niveau de contamination des produits maraîchers par les métaux lourds issus des décharges sauvages dans le district d'Abidjan (Côte d'Ivoire)

Harding Charlemagne Assy

Désiré Yapi Assoi Yapi

Laboratoire de Biocatalyse et des Bioprocédés (LBB)

Université Nangui Abrogoua (UNA), Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p225](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p225)

Submitted: 11 July 2025

Accepted: 19 August 2025

Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Assy, H.C. & Yapi, D.Y.A. (2025). Niveau de contamination des produits maraîchers par les métaux lourds issus des décharges sauvages dans le district d'Abidjan (Côte d'Ivoire). European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 225.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p225>

Résumé

L'intoxication alimentaire, qui peut affecter l'activité des reins et le système endocrinien chez l'homme, est causée par la contamination des aliments par les métaux lourds. Cette étude a été réalisée pour améliorer la sécurité alimentaire en Côte d'Ivoire. Elle a permis de montrer les risques encourus par les consommateurs des cultures maraîchères pratiquées près des décharges sauvages. Des échantillons de sols (sols des décharges sauvages et sols des parcelles de cultures maraîchères) et de produits maraîchers (feuilles de basilic, d'oignon, de laitue et tubercules de manioc) prélevés dans le district d'Abidjan (Abobo Akeikoi village, Bingerville Bingerack city, Cocody M'Pouto village et Port-Bouët 43ème Bima) ont été analysés par la méthode de dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les analyses ont montré que les sols des décharges sauvages des sites étudiés ont été pollués par plusieurs métaux (fer, cuivre, zinc, manganèse, sélénium, arsenic, plomb, cadmium, chrome, nickel et cobalt). Les feuilles de basilic, les feuilles de laitue et les tubercules de manioc ont quant à eux été contaminés par le plomb, le cadmium et le nickel. Seules les feuilles d'oignon ont été contaminées par le plomb. Ainsi, la consommation de produits maraîchers issus de sites non

contaminés serait une solution pour réduire les risques d'intoxication et de maladies.

Mots-clés: Sécurité alimentaire, métaux lourds, produits maraîchers, éléments traces métalliques, décharges sauvages

Level of contamination of market garden produce by heavy metals from uncontrolled dumps in the Abidjan district (Ivory Coast)

*Harding Charlemagne Assy
Désiré Yapi Assoi Yapi*

Laboratoire de Biocatalyse et des Bioprocédés (LBB)
Université Nangui Abrogoua (UNA), Côte d'Ivoire

Abstract

Food poisoning, which can affect kidney activity and the endocrine system in humans, is caused by the contamination of food by heavy metals. This study was carried out to improve food safety in Côte d'Ivoire. It demonstrated the risks to consumers of market garden crops grown near unauthorised landfill sites. Samples of soil (soil from uncontrolled dumps and soil from market garden produce plots) and market garden produce (basil leaves, onions, lettuce and cassava tubers) taken in the Abidjan district (Abobo Akeikoi village, Bingerville Bingerack city, Cocody M'Pouto village and Port-Bouët 43rd Bima) were analysed using the atomic absorption spectrophotometry assay method. The analyses showed that the soil from the uncontrolled dumps at the sites studied was polluted by several metals (iron, copper, zinc, manganese, selenium, arsenic, lead, cadmium, chromium, nickel and cobalt). Basil leaves, lettuce leaves and manioc tubers were contaminated with lead, cadmium and nickel. Only onion leaves were contaminated with lead. Consumption of market garden produce from uncontaminated sites would therefore be a solution to reducing the risks of poisoning and illness.

Keywords: Food safety, heavy metals, market garden produce, trace metals, uncontrolled dumps

Introduction

En Côte d'Ivoire, la taille de la population ivoirienne a considérablement augmenté, passant de 6,7 millions d'habitants en 1975, à plus de 29 millions d'habitants en 2021 (Rgph, 2021). Dans le district

autonome d'Abidjan, la population s'est énormément accrue et compte plus de six millions d'habitants à ce jour (Rgph, 2021 ; Celine *et al.*, 2014). L'engorgement de la ville d'Abidjan mène à plusieurs conséquences économiques, culturelles, environnementales et alimentaires (Tapsoba, 2020). Une des manifestations les plus visibles de la crise urbaine à Abidjan est la dégradation continue de l'environnement par des ordures non collectées qui forment des décharges polluantes ainsi le cadre de vie des riverains (Baudelaire, 2020) à savoir : la pollution des sols, de l'eau et de l'air. Cette dégradation de l'environnement influe ainsi sur la santé et les activités de la population (Kagadju *et al.*, 2023). Certaines de ces activités impactées sont pratiquées sur des sols pollués par ces décharges et parmi elles on distingue la culture maraîchère. La culture maraîchère domine l'agriculture en milieu urbain en raison de sa contribution à l'amélioration des conditions de vie des populations. Plusieurs plantes, fruits, légumes et tubercules y sont cultivés sur des sols pollués, mais la plupart sont les légumes feuilles occupant plus de 2/3 de la production urbaine. L'espèce de légume feuille la plus cultivée est la laitue qui occupe plus de 60 % de la production de légumes feuilles dans le district d'Abidjan suivie du basilic, de la feuille d'oignon, du persil, de l'épinard, de la corète potagère et du chou (Assy *et al.*, 2024). Cependant, le basilic, la feuille d'oignon, la laitue et le manioc ont été les aliments utilisés pour effectuer cette étude étant donné leur abondance, leur grande rentabilité et leur importante place dans les systèmes de productions maraîchères.

Cependant, la présence des décharges sauvages proches des cultures maraîchères constitue l'une des contraintes les plus importantes en agriculture périurbaine. Les polluants chimiques et les métaux lourds issus des déchets ménagers urbains peuvent contaminer localement les sources d'eaux, les sols et affecter directement les cultures, les animaux et les hommes étant donné que les produits maraîchers sont cultivés à proximité des décharges sauvages (Akpo *et al.*, 2016). Ainsi l'objectif général assigné à ce travail est de contribuer à la sécurité alimentaire de la population ivoirienne à travers l'étude de l'impact des décharges sauvages sur la qualité des cultures maraîchères dans le district d'Abidjan. Les objectifs spécifiques assignés à ce travail sont de déterminer le niveau de pollution des sols au niveau des décharges sauvages et des parcelles de cultures maraîchères ; de déterminer le niveau de contamination des produits maraîchers issus des différentes parcelles de cultures maraîchères et d'établir une relation entre la pollution des sols et la contamination des produits maraîchers.

Matériels et méthodes

Présentation de la zone d'étude

La ville d'Abidjan composée de dix communes et trois sous-préfectures est la capitale économique de la Côte d'Ivoire. Elle est située sur

la façade maritime en bordure de la lagune Ebrié. Elle s'étend sur une superficie de 58 000 ha, dont 9 000 ha de lagunes (soit 16 %) et 49 000 ha de terre ferme (soit 84 %). Le relief de la ville est composé de plaines et de plateaux, le sol est hydromorphe et contient beaucoup d'eau (Silue *et al.*, 2021). Cette variation saisonnière climatique influence fortement la décomposition des ordures et intervient dans le processus de fermentation des déchets. Les eaux de pluie imbibent les déchets, composés à 50,6 % de matières organiques et les rendent plus lourds (Coulibaly *et al.*, 2021). Le lixiviat est ainsi entraîné en profondeur par les eaux d'infiltration (Bosso *et al.*, 2020).

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude a été constitué de 3 produits maraîchers et d'un produit vivrier à titre de comparaison. La feuille de basilic (Figure 1), la feuille d'oignon (Figure 2), la feuille de laitue (Figure 3) et le tubercule de manioc (Figure 4).



Figure 1. Feuilles de basilic



Figure 2. Feuilles d'oignon



Figure 3. Feuilles de laitue



Figure 4. Tubercules de manioc

Méthodes

Echantillonnage de sols et de produits maraîchers

La première étape de ce travail a consisté à effectuer des prélèvements de produits maraîchers et de sols sur nos différents sites identifiés dans le

district d'Abidjan. Pour chaque sol, plusieurs échantillons de 500 g composés de 15 sous-échantillons, mélangés ensemble, ont été prélevés. Les sous-échantillons ont été recueillis à différents endroits dans le sol à prélever en se déplaçant en zigzag. Les prélèvements ont été effectués à la même période afin de pouvoir comparer les résultats entre eux. 108 échantillons de sols (soit 27 par site) ont été prélevés dans les sols des décharges sauvages et dans les sols des parcelles de cultures des différents sites.

Concernant les produits maraîchers, le choix a porté sur la feuille de basilic, la feuille d'oignon, la feuille de laitue et un produit vivrier, à savoir le tubercule de manioc. Ces aliments sont les plus cultivés et les plus consommés de la zone d'étude. Les prélèvements ont été réalisés de novembre 2024 à juillet 2025. Les échantillons d'aliments (parties comestibles) ont été prélevés directement sur les parcelles de cultures prêtes pour la récolte. Les sections où il y avait des dégâts sévères, des maladies ou des insectes ont été évitées. Pour le prélèvement de l'échantillon, il a fallu également marcher en zigzag dans les parcelles de cultures pour couper à différents endroits. 96 échantillons (soit 24 par site) de produits maraîchers ont été prélevés dans les sols des parcelles de cultures des différents sites.

Préparation des échantillons pour les analyses

Production des poudres de produits maraîchers

Au laboratoire de biocatalyse et des bioprocédés, les différents échantillons ont été étalés, débarrassés des matières étrangères et triés en fonction des zones à analyser, ensuite lavés proprement avec de l'eau distillée. Une quantité de 500 g de chaque échantillon est séchée à l'étuve (MEMMERT) pendant 72 heures à 45 °C jusqu'à la dessiccation complète, broyée puis réduite en poudre dans un mortier. Les différents broyats ont ensuite été tamisés sur un tamis de diamètre de maille inférieure à 63 µm. Une fraction de 62,5 µm a été retenue pour l'étude en raison de son affinité avec les métaux lourds.

Minéralisation et solubilisation des échantillons de produits maraîchers

La méthode (AOAC, 1990) a été utilisée pour la minéralisation et la solubilisation des échantillons prélevés. La minéralisation et la solubilisation ont été effectuées par voie humide. Cette technique qui permet une meilleure extraction des éléments minéraux a consisté à faire réagir 0,5 g de matière végétale sèche (MVS) avec 6 ml d'acide nitrique (HNO₃) concentré dans un matras pendant 12 heures de temps, puis le mélange a été chauffé à une température de 150 °C durant 60 minutes. À ce mélange, 2 ml d'acide perchlorique (HClO₄) à 70 % ont été ajoutés puis l'attaque s'est poursuivie à une température de 250 °C jusqu'à l'évaporation complète de l'acide. Il a été rincé avec 10 ml d'eau distillée qui ont ensuite été filtrés pour éliminer les

particules en suspension. Le rinçage s'est poursuivi avec l'eau distillée qui a été récupérée à chaque fois jusqu'au trait de jauge d'une fiole de 25 ml.

Dosage des métaux lourds par absorption atomique

L'absorption atomique est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution.

Le dosage des métaux contenus dans les sols et les produits maraîchers s'est fait par la méthode de la spectrophotométrie d'absorption atomique de type SPECTRAA 220 VARIAN GTA 110 connecté à un ordinateur qui affichait directement les résultats en mg/kg (Pinta, 1971). Le dosage a été réalisé à partir du filtrat obtenu lors de la minéralisation et de la solubilisation. Pour doser chaque métal, on a d'abord fait passer au spectrophotomètre les solutions étalons avant de faire passer le filtrat de chaque échantillon obtenu lors de la minéralisation et de la solubilisation en appuyant sur le bouton de lecture. Lorsque le spectrophotomètre ne détecte pas d'éléments traces métalliques dans les produits maraîchers, il affiche « non déterminé ». Le traitement statistique est effectué uniquement sur les valeurs déterminées.

Index de pollution par les éléments traces métalliques dans les sols

L'index de pollution (IP) a été calculé afin de déterminer la toxicité des sols des différents sites de la zone étudiée. En effet, l'IP est un critère qui permet d'évaluer la toxicité globale d'un sol contaminé. Ainsi, il permet de mettre en exergue une contamination de type multiéléments dans les échantillons (Smouni *et al.*, 2010). L'IP est calculé à partir de la moyenne des rapports des concentrations (mg/kg) en métaux dans les échantillons de sol sur la base des valeurs directives limites (Lambienou *et al.*, 2020). Ces valeurs limites correspondent aux niveaux tolérables des concentrations en métaux dans le sol selon la norme AFNOR U44-41 (Lambienou *et al.*, 2020). L'IP est une valeur sans unité et est déterminé par la formule suivante :

$$IP = \frac{\left(\frac{Fe}{1000} + \frac{Cu}{100} + \frac{Zn}{300} + \frac{Mn}{300} + \frac{Se}{10} + \frac{As}{25} + \frac{Pb}{100} + \frac{Cd}{2} + \frac{Cr}{150} + \frac{Ni}{50} + \frac{Co}{30} \right)}{11}$$

Equation (1)

IP > 1 correspond à un sol pollué par plusieurs métaux.

Analyse statistique

Tous les essais relatifs aux différentes analyses ont été effectués en triple et les données obtenues ont été exprimées par la moyenne arithmétique affectée de l'écart-type correspondant. L'analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été réalisée sur l'ensemble des résultats obtenus afin de déterminer l'existence de différences statistiques significatives entre les

valeurs des moyennes calculées. Les facteurs qui ont été utilisés dans l'ANOVA sont les sites de cultures, les cultures maraîchères, les éléments traces métalliques. Ces facteurs répondent aux hypothèses de normalité/homoscedasticité. Les différences statistiques significatives ont été mises en évidence par le test de Duncan à 95 % de niveau de confiance. Cette analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel Statistica 7.1.

Résultats

Index de pollution

L'Index de pollution (IP) est un critère qui permet d'évaluer la toxicité globale d'un sol contaminé. Il est calculé à partir de la moyenne des rapports des concentrations (mg/kg) en métaux dans les échantillons de sol sur la base des valeurs directives limites et est une valeur sans unité (Lambienou *et al.*, 2020). $IP > 1$ correspond à un sol pollué par plusieurs métaux. Les valeurs de l'index de pollution des sols des sites étudiés ont été consignées dans le Tableau 1. Les résultats ont indiqué que les valeurs de l'index de pollution (IP) ont variées d'un site à l'autre. Les sols des décharges sauvages de tous les sites étudiés ont été pollués par des éléments traces métalliques à savoir : Abobo Akeikoi village ($1,630 > 1$), Bingerville Bingerack city ($1,793 > 1$), Cocody M'Pouto village ($2,05 > 1$) et Port Bouët 43ème Bima ($1,312 > 1$). Les sols des parcelles de cultures maraîchères situées à 5 mètres et à 10 mètres des décharges sauvages de tous les sites étudiés n'ont pas été pollués par des éléments traces métalliques. Les valeurs d'IP de tous les sites étudiés ont diminué lorsque les parcelles de cultures maraîchères se sont éloignées des décharges sauvages. Dans les différents sols analysés de tous les sites étudiés, les plus fortes valeurs d'IP ont été observées au niveau du site de Cocody suivie de manière régressive du site de Bingerville et celui d'Abobo. Les plus faibles valeurs d'IP ont été observées au niveau du site de Port-Bouët

Tableau 1 : Index de pollution des différents sols des sites étudiés

Index de Pollution	Sites			
	Abobo Akeikoi village	Bingerville Bingerack city	Cocody M'Pouto village	Port-Bouët 43ème Bima
IP0	1,630	1,793	2,05	1,312
IP1	0,407	0,440	0,473	0,333
IP2	0,165	0,178	0,186	0,123

IP0 : Index de pollution au niveau du sol de la décharge sauvage

IP1 : Index de pollution au niveau des parcelles de cultures maraîchères situées à 5 mètres de la décharge sauvage

IP2 : Index de pollution au niveau des parcelles de cultures maraîchères situées à 10 mètres de la décharge sauvage

Teneur en éléments traces métalliques en fonction des différents sites étudiés

Teneur en éléments traces métalliques dans les produits maraîchers du site d'Abobo Akeikoi village

Tableau 2 : Valeurs-limites des concentrations de métaux dans les aliments (mg/kg) selon la norme AFNOR U44-41 et FAO/OMS

Valeurs-limites* (mg/kg)	Eléments traces métalliques								
	Fer	Cuivre	Zinc	Manganèse	Sélénium	Arsenic	Plomb	Cadmium	Nickel
	8	3	11	10	-	0,2	0,3	0,2	0,2

Les concentrations des éléments traces métalliques sont comparées en fonction de leurs valeurs-limites (Tableau 3). La valeur limite est la concentration au-delà de laquelle un produit maraîcher est considéré comme étant contaminé par un élément trace métallique. Sur le site d'Abobo, plusieurs éléments traces métalliques ont eu des teneurs moyennes supérieures à leurs valeurs limites respectives dans les feuilles de basilic, comme l'arsenic ($As1 : 0,284 \pm 0,010 \text{ mg/kg} > 0,2 \text{ mg/kg}$), le plomb ($Pb1 : 0,675 \pm 0,012 \text{ mg/kg} > 0,3 \text{ mg/kg}$), le cadmium ($Cd1 : 0,410 \pm 0,015 \text{ mg/kg} > 0,2 \text{ mg/kg}$; $Cd2 : 0,250 \pm 0,002 \text{ mg/kg} > 0,2 \text{ mg/kg}$) et le nickel ($Ni1 : 0,300 \pm 0,010 \text{ mg/kg} > 0,2 \text{ mg/kg}$). Le cadmium est le seul métal qui a contaminé les feuilles de basilic des parcelles situées à 10 mètres de la décharge sauvage.

Le Tableau 3 montre que les feuilles d'oignon ont été contaminées uniquement par le plomb ($Pb1 : 0,306 \pm 0,015 \text{ mg/kg} > 0,3 \text{ mg/kg}$). Toutes les feuilles d'oignon cultivées sur les parcelles situées à 10 mètres des produits maraîchers n'ont pas été contaminées.

Les feuilles de laitue quant à elles, ont absorbé beaucoup plus d'éléments traces métalliques comparées aux feuilles d'oignon. Elles ont assimilé des concentrations en cuivre ($Cu1 : 3,160 \pm 0,015 \text{ mg/kg} > 3 \text{ mg/kg}$), en plomb ($Pb1 : 1,776 \pm 0,013 \text{ mg/kg} > 0,3 \text{ mg/kg}$; $Pb2 : 0,700 \pm 0,010 \text{ mg/kg} > 0,3 \text{ mg/kg}$), et en cadmium ($Cd1 : 0,310 \pm 0,010 \text{ mg/kg} > 0,2 \text{ mg/kg}$; $Cd2 : 0,213 \pm 0,010 \text{ mg/kg} > 0,2 \text{ mg/kg}$) supérieures à leurs valeurs limites respectives. Les feuilles de laitue ($0,012 \pm 0,001 \text{ mg/kg}$) et les feuilles d'oignon ($0,010 \pm 0,001 \text{ mg/kg}$) ont été les seuls produits maraîchers qui ont absorbé des teneurs en sélénium.

Les tubercules de manioc du site d'Abobo ont été moins accumulateurs en éléments traces métalliques par rapport aux feuilles de basilic et aux feuilles de laitue. Les tubercules de manioc ont eu des teneurs en plomb et en cadmium supérieures à leurs valeurs limites respectives ($0,3 \text{ mg/kg}$ et $0,2 \text{ mg/kg}$). Tous les produits maraîchers étudiés ont obtenu des teneurs en fer, en zinc et en manganèse inférieures à leurs valeurs limites respectives (8 mg/kg , 11 mg/kg et 10 mg/kg).

Tableau 3 : Teneurs en éléments traces métalliques dans les produits maraîchers du site d'Abobo Akeikoi village

Eléments traces métalliques (mg/kg)	Produits maraîchers				Valeurs-limites* (mg/kg)
	Feuille de basilic	Feuille d'oignon	Feuille de laitue	Tubercule de manioc	
Fer1	3,560 ± 0,015 ^b	4,265 ± 0,010 ^b	4,500 ± 0,010 ^c	3,254 ± 0,016 ^b	8
Fer2	1,224 ± 0,001 ^a	0,220 ± 0,010 ^a	2,822 ± 0,015 ^b	0,030 ± 0,010 ^a	8
Cuivre1	2,010 ± 0,012 ^b	-	3,160 ± 0,015 ^c	-	3
Cuivre2	0,120 ± 0,005 ^a	-	0,740 ± 0,010 ^c	-	3
Zinc1	6,830 ± 0,011 ^b	3,648 ± 0,017 ^a	5,030 ± 0,013 ^d	4,789 ± 0,015 ^c	11
Zinc2	3,106 ± 0,009 ^b	0,160 ± 0,015 ^a	2,698 ± 0,017 ^b	0,451 ± 0,015 ^b	11
Manganèse1	3,500 ± 0,013 ^c	2,267 ± 0,013 ^a	3,490 ± 0,015 ^c	2,713 ± 0,010 ^b	10
Manganèse2	2,145 ± 0,010 ^b	0,130 ± 0,001 ^a	1,496 ± 0,010 ^a	0,430 ± 0,016 ^b	10
Sélénium1	-	0,010 ± 0,001 ^a	0,012 ± 0,001 ^a	-	-
Sélénium2	-	-	-	-	-
Arsenic1	0,284 ± 0,010 ^a	-	0,014 ± 0,001 ^a	-	0,2
Arsenic2	-	-	-	-	0,2
Plomb1	0,675 ± 0,012 ^b	0,306 ± 0,015 ^a	1,776 ± 0,013 ^d	1,628 ± 0,013 ^c	0,3
Plomb2	0,010 ± 0,001 ^a	0,023 ± 0,008 ^a	0,700 ± 0,010 ^a	0,745 ± 0,010 ^b	0,3
Cadmium1	0,410 ± 0,015 ^c	0,063 ± 0,015 ^a	0,310 ± 0,010 ^a	0,319 ± 0,013 ^b	0,2
Cadmium2	0,250 ± 0,002 ^a	-	0,213 ± 0,010 ^a	0,222 ± 0,013 ^a	0,2
Nickel1	0,300 ± 0,010 ^b	-	0,133 ± 0,013 ^b	0,170 ± 0,010 ^b	0,2
Nickel2	-	-	-	-	0,2

Les moyennes affectées de lettres (a, b, c, d, e, f) différentes dans la même ligne sont significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Duncan suivant le paramètre étudié.

ETM1 : Concentrations dans les parcelles de cultures maraîchères situées à 5 mètres des décharges sauvages

ETM2 : Concentrations dans les parcelles de cultures maraîchères situées à 10 mètres des décharges sauvages

**Valeurs limites des concentrations de métaux dans les aliments selon la norme AFNOR U44-41 et FAO/OMS*

- : Valeurs non déterminées

Teneur en éléments traces métalliques dans les produits maraîchers du site de Bingerville Bingérack city

Sur le site de Bingerville, plusieurs éléments traces métalliques ont eu des teneurs moyennes supérieures à leurs valeurs limites respectives dans les feuilles de basilic, comme l'arsenic, le plomb, le cadmium et le nickel. Le cadmium est le seul métal qui a contaminé les feuilles de basilic des parcelles situées à 10 mètres de la décharge sauvage.

Le Tableau 4 montre que les feuilles d'oignon ont été les produits maraîchers les moins accumulateurs d'éléments traces métalliques. Elles ont été contaminées uniquement par le plomb (Pb1 : 0,343 ± 0,010 mg/kg > 0,3 mg/kg). Toutes les feuilles d'oignon cultivées sur les parcelles situées à 10 mètres des produits maraîchers n'ont pas été contaminées.

Les feuilles de laitue quant à elles, ont absorbé beaucoup plus d'éléments traces métalliques comparées aux feuilles d'oignon. Elles ont assimilé des concentrations en cuivre, en plomb et en cadmium supérieures à leurs valeurs limites respectives. Les feuilles de laitue (0,013 ± 0,001 mg/kg)

et les feuilles d'oignon ($0,011 \pm 0,001$ mg/kg) ont été les seuls produits maraîchers qui ont absorbé des teneurs en sélénium.

Les tubercules de manioc ont eu des teneurs en plomb et en cadmium supérieures à leurs valeurs limites respectives. Tous les produits maraîchers étudiés ont obtenu des teneurs en fer, en zinc et en manganèse inférieures à leurs valeurs limites respectives (8 mg/kg, 11 mg/kg et 10 mg/kg).

Tableau 4 : Teneurs en éléments traces métalliques dans les produits maraîchers du site de Bingerville Bingérack City

Eléments traces métalliques (mg/kg)	Produits maraîchers				Valeurs-limites* (mg/kg)
	Feuille de basilic	Feuille d'oignon	Feuille de laitue	Tubercule de manioc	
Fer1	$4,966 \pm 0,012^c$	$4,300 \pm 0,013^b$	$4,720 \pm 0,010^c$	$3,316 \pm 0,011^b$	8
Fer2	$1,321 \pm 0,002^a$	$0,310 \pm 0,010^b$	$2,864 \pm 0,003^b$	$0,036 \pm 0,005^a$	8
Cuivre1	$2,033 \pm 0,012^b$	-	$3,326 \pm 0,015^c$	-	3
Cuivre2	$0,124 \pm 0,003^a$	-	$0,741 \pm 0,013^c$	-	3
Zinc1	$6,966 \pm 0,011^b$	$3,719 \pm 0,013^a$	$5,123 \pm 0,015^d$	$5,790 \pm 0,015^d$	11
Zinc2	$3,323 \pm 0,013^b$	$0,190 \pm 0,017^a$	$2,769 \pm 0,014^b$	$0,472 \pm 0,016^b$	11
Manganèse1	$3,866 \pm 0,017^c$	$2,375 \pm 0,010^a$	$4,291 \pm 0,010^d$	$2,713 \pm 0,013^b$	10
Manganèse2	$2,145 \pm 0,013^b$	$0,147 \pm 0,002^a$	$1,536 \pm 0,011^a$	$0,546 \pm 0,017^b$	10
Sélénium1	-	$0,011 \pm 0,001^a$	$0,013 \pm 0,001^a$	-	-
Sélénium2	-	-	-	-	-
Arsenic1	$0,300 \pm 0,010^a$	-	$0,014 \pm 0,001^a$	-	0,2
Arsenic2	-	-	-	-	0,2
Plomb1	$0,703 \pm 0,005^b$	$0,343 \pm 0,010^a$	$1,801 \pm 0,012^d$	$1,636 \pm 0,017^c$	0,3
Plomb2	$0,010 \pm 0,001^a$	$0,034 \pm 0,005^a$	$0,765 \pm 0,015^a$	$0,783 \pm 0,010^b$	0,3
Cadmium1	$0,415 \pm 0,010^c$	$0,113 \pm 0,015^a$	$0,413 \pm 0,011^a$	$0,417 \pm 0,016^c$	0,2
Cadmium2	$0,243 \pm 0,015^a$	-	$0,224 \pm 0,012^a$	$0,237 \pm 0,017^a$	0,2
Nickel1	$0,323 \pm 0,005^b$	-	$0,333 \pm 0,015^c$	$0,177 \pm 0,017^b$	0,2
Nickel2	-	-	-	-	0,2

Les moyennes affectées de lettres (a, b, c, d, e, f) différentes dans la même ligne sont significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Duncan suivant le paramètre étudié.

ETM1 : Concentrations dans les parcelles de cultures maraîchères situées à 5 mètres des décharges sauvages

ETM2 : Concentrations dans les parcelles de cultures maraîchères situées à 10 mètres des décharges sauvages

*Valeurs limites des concentrations de métaux dans les aliments selon la norme AFNOR U44-41 et FAO/OMS

- : Valeurs non déterminées

Teneur en éléments traces métalliques dans les produits maraîchers du site de Cocody M'Pouto village

Sur le site de Cocody, plusieurs éléments traces métalliques ont eu des teneurs moyennes supérieures à leurs valeurs limites respectives dans les feuilles de basilic comme l'arsenic, le plomb, le cadmium et le nickel. Le cadmium est le seul métal qui a contaminé les feuilles de basilic des parcelles situées à 10 mètres de la décharge sauvage.

Le Tableau 5 montre que les feuilles d'oignon ont été contaminées uniquement par le plomb (Pb1 : $0,390 \pm 0,017$ mg/kg > 0,3 mg/kg). Toutes les

feuilles d'oignon cultivées sur les parcelles situées à 10 mètres des produits maraîchers n'ont pas été contaminées.

Les feuilles de laitues ont assimilé des concentrations en cuivre, en plomb et en cadmium supérieures à leurs valeurs limites respectives. Les feuilles de laitue ($0,014 \pm 0,001$ mg/kg) et les feuilles de d'oignon ($0,023 \pm 0,003$ mg/kg) ont été les seuls produits maraîchers qui ont absorbé des teneurs en sélénium.

Les tubercules de manioc ont eu des teneurs en plomb et en cadmium supérieures à leurs valeurs limites respectives. Tous les produits maraîchers étudiés ont obtenu des teneurs en fer, en zinc et en manganèse inférieures à leurs valeurs limites respectives (8 mg/kg, 11 mg/kg et 10 mg/kg).

Tableau 5 : Teneurs en éléments traces métalliques dans les produits maraîchers du site de Cocody M'Pouto village

Eléments traces métalliques (mg/kg)	Produits maraîchers				Valeurs-limites* (mg/kg)
	Feuille de basilic	Feuille d'oignon	Feuille de laitue	Tubercule de manioc	
Fer1	$5,100 \pm 0,010^c$	$4,874 \pm 0,017^b$	$4,736 \pm 0,015^c$	$3,319 \pm 0,013^b$	8
Fer2	$1,333 \pm 0,002^a$	$0,290 \pm 0,010^b$	$2,986 \pm 0,005^b$	$0,040 \pm 0,017^a$	8
Cuivre1	$2,133 \pm 0,017^b$	-	$3,923 \pm 0,013^d$	-	3
Cuivre2	$0,142 \pm 0,005^a$	-	$0,836 \pm 0,015^d$	-	3
Zinc1	$7,233 \pm 0,008^b$	$3,723 \pm 0,015^a$	$6,013 \pm 0,015^c$	$6,987 \pm 0,014^c$	11
Zinc2	$3,456 \pm 0,010^b$	$0,223 \pm 0,010^b$	$3,249 \pm 0,005^c$	$0,500 \pm 0,003^b$	11
Manganèse1	$4,166 \pm 0,012^c$	$2,581 \pm 0,011^a$	$5,140 \pm 0,010^c$	$2,800 \pm 0,010^b$	10
Manganèse2	$2,320 \pm 0,012^b$	$0,139 \pm 0,001^a$	$1,963 \pm 0,017^a$	$0,560 \pm 0,015^b$	10
Sélénium1	-	$0,023 \pm 0,003^a$	$0,014 \pm 0,001^a$	-	-
Sélénium2	-	-	-	-	-
Arsenic1	$0,302 \pm 0,006^b$	$0,016 \pm 0,001^a$	-	0,2	0,2
Arsenic2	-	-	-	-	0,2
Plomb1	$0,706 \pm 0,005^b$	$0,390 \pm 0,017^a$	$2,013 \pm 0,012^d$	$1,641 \pm 0,011^c$	0,3
Plomb2	$0,011 \pm 0,001^a$	$0,049 \pm 0,007^a$	$0,781 \pm 0,013^a$	$0,814 \pm 0,017^b$	0,3
Cadmium1	$0,430 \pm 0,006^c$	$0,173 \pm 0,015^a$	$0,583 \pm 0,015^a$	$0,693 \pm 0,011^d$	0,2
Cadmium2	$0,270 \pm 0,001^a$	-	$0,232 \pm 0,011^a$	$0,256 \pm 0,010^a$	0,2
Nickel1	$0,328 \pm 0,010^b$	-	$0,983 \pm 0,015^d$	$0,190 \pm 0,010^b$	0,2
Nickel2	-	-	-	-	0,2

Les moyennes affectées de lettres (a, b, c, d, e, f) différentes dans la même ligne sont significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Duncan suivant le paramètre étudié.

ETM1 : Concentrations dans les parcelles de cultures maraîchères situées à 5 mètres des décharges sauvages

ETM2 : Concentrations dans les parcelles de cultures maraîchères situées à 10 mètres des décharges sauvages

*Valeurs limites des concentrations de métaux dans les aliments selon la norme AFNOR U44-41 et FAO/OMS

- : Valeurs non déterminées

Teneur en éléments traces métalliques dans les produits maraîchers du site de Port-Bouët 43ème Bima

Sur le site de Port-Bouët, plusieurs éléments traces métalliques ont eu des teneurs moyennes supérieures à leurs valeurs limites respectives dans les feuilles de basilic, comme l'arsenic, le plomb, le cadmium et le nickel. Le

cadmium est le seul métal qui a contaminé les feuilles de basilic des parcelles situées à 10 mètres de la décharge sauvage.

Le Tableau 6 montre que les feuilles d'oignon ont été les produits maraîchers les moins accumulateurs d'éléments traces métalliques. Elles ont été contaminées uniquement par le plomb. Toutes les feuilles d'oignon cultivées sur les parcelles situées à 10 mètres des produits maraîchers n'ont pas été contaminées.

Les feuilles de laitue quant à elles, ont absorbé beaucoup plus d'éléments traces métalliques comparées aux feuilles d'oignon. Elles ont assimilé des concentrations en cuivre, en plomb et en cadmium supérieures à leurs valeurs limites respectives (Tableau 2). Sur le site de Port-Bouët, seules les feuilles de laitue issues des parcelles de cultures situées à 10 mètres de la décharge sauvage n'ont pas été contaminées par le cadmium. Les feuilles de laitue et les feuilles d'oignon ont été les seuls produits maraîchers qui ont absorbé des teneurs en sélénium.

Les tubercules de manioc ont eu des teneurs en plomb et en cadmium supérieures à leurs valeurs limites respectives (Tableau 2). Tous les produits maraîchers étudiés ont obtenu des teneurs en fer, en zinc et en manganèse inférieures à leurs valeurs limites respectives (8 mg/kg, 11 mg/kg et 10 mg/kg).

Tableau 6 : Teneurs en éléments traces métalliques dans les produits maraîchers du site Port-Bouët 43ème Bima

Eléments traces métalliques (mg/kg)	Produits maraîchers				Valeurs-limites* (mg/kg)
	Feuille de basilic	Feuille d'oignon	Feuille de laitue	Tubercule de manioc	
Fer1	3,380 ± 0,015 ^b	4,070 ± 0,011 ^b	4,043 ± 0,015 ^c	3,126 ± 0,013 ^b	8
Fer2	0,902 ± 0,002 ^a	0,203 ± 0,005 ^a	2,621 ± 0,015 ^b	0,026 ± 0,005 ^a	8
Cuivre1	2,000 ± 0,017 ^b	-	2,036 ± 0,014 ^b	-	3
Cuivre2	0,086 ± 0,007 ^a	-	0,365 ± 0,014 ^a	-	3
Zinc1	5,902 ± 0,010 ^a	3,237 ± 0,017 ^a	4,243 ± 0,010 ^c	3,461 ± 0,013 ^b	11
Zinc2	2,965 ± 0,015 ^b	0,126 ± 0,014 ^a	2,226 ± 0,015 ^a	0,439 ± 0,015 ^b	11
Manganèse1	3,275 ± 0,013 ^c	2,137 ± 0,013 ^a	2,263 ± 0,010 ^b	2,509 ± 0,011 ^b	10
Manganèse2	2,140 ± 0,015 ^b	0,125 ± 0,004 ^a	1,264 ± 0,015 ^a	0,429 ± 0,013 ^b	10
Sélénium1	-	0,009 ± 0,001 ^a	0,010 ± 0,001 ^a	-	-
Sélénium2	-	-	-	-	-
Arsenic1	0,279 ± 0,010 ^c	-	0,013 ± 0,001 ^a	-	0,2
Arsenic2	-	-	-	-	0,2
Plomb1	0,398 ± 0,010 ^a	0,300 ± 0,010 ^a	0,976 ± 0,015 ^c	1,623 ± 0,015 ^c	0,3
Plomb2	0,008 ± 0,001 ^a	0,019 ± 0,004 ^a	0,692 ± 0,015 ^a	0,728 ± 0,013 ^b	0,3
Cadmium1	0,276 ± 0,011 ^a	0,033 ± 0,015 ^a	0,243 ± 0,015 ^a	0,283 ± 0,010 ^{ab}	0,2
Cadmium2	0,204 ± 0,001 ^a	-	0,198 ± 0,008 ^a	0,212 ± 0,017 ^a	0,2
Nickel1	0,294 ± 0,010 ^b	-	0,080 ± 0,010 ^a	0,153 ± 0,015 ^b	0,2
Nickel2	-	-	-	-	0,2

Les moyennes affectées de lettres (a, b, c, d, e, f) différentes dans la même ligne sont significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Duncan suivant le paramètre étudié.

ETM1 : Concentrations dans les parcelles de cultures maraîchères situées à 5 mètres des décharges sauvages

ETM2 : Concentrations dans les parcelles de cultures maraîchères situées à 10 mètres des décharges sauvages

**Valeurs limites des concentrations de métaux dans les aliments selon la norme AFNOR U44-41 et FAO/OMS*

- : Valeurs non déterminées

Discussions

Index de pollution

Le tableau 1 indique que l'IP dans les sols des décharges sauvages est supérieur à 1. Ces résultats sont en accord avec ceux de (Ye, 2020) qui a obtenu des Index de pollution (IP) supérieurs à 1 sur des sols des zones urbaines et périurbaines de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso (Tankari *et al.*, 2013) et dans des zones minières au Maroc (Smouni *et al.*, 2010).

Les résultats indiquent également que tous les sites situés à 5 et à 10 mètres des décharges sauvages ont des valeurs d'IP inférieures à 1, suggérant ainsi qu'il n'y a pas eu de contamination multiple de leurs sols par les éléments traces métalliques à ce niveau. Ces résultats sont en accord avec ceux de (Smouni *et al.*, 2010) et (Kouakou *et al.*, 2019) qui affirment que des concentrations en éléments traces métalliques inférieures à la norme ne présentent pas des risques de contamination du sol. Les résultats obtenus suggèrent donc que les sols des différents sites situés à 5 mètres et à 10 mètres des décharges sauvages sont relativement de bonne qualité.

Teneur en éléments traces métalliques dans les produits maraîchers du site de Port-Bouët 43ème Bima

L'analyse des quatre produits maraîchers étudiés a montré de fortes teneurs en métaux lourds dans ces derniers. La classification des teneurs en métaux par ordre d'importance varie avec les différents produits maraîchers. La comparaison des teneurs totales en éléments traces métalliques dans les aliments par rapport aux valeurs obtenues par d'autres chercheurs montre que les teneurs en cuivre (Cu) dans les feuilles de laitue (de 2,036 mg/kg à 3,923 mg/kg) ont été supérieures à la norme (3 mg/kg). Ces résultats sont inférieurs à ceux de (Kagadju *et al.*, 2023) et (Mpundu *et al.*, 2013) sur les légumes d'amarante étudiées au Congo avec 4,17 mg/kg de cuivre. Mais supérieures à ceux (Kouassi *et al.*, 2022) dans leur étude sur les légumes-feuilles (3,59 mg/kg) cultivés en Côte d'Ivoire à Marcory et Cocody. En effet, le cuivre est un oligo-élément indispensable à de nombreux enzymes. À ce titre, il intervient dans le métabolisme de plusieurs nutriments : glucides (sucres), lipides (graisses) et fer. Cependant, l'excès de cuivre provoque une hépatite, atteinte du foie s'accompagnant le plus souvent d'une jaunisse. Le cuivre active certaines enzymes des plantes, lesquelles jouent un rôle dans la synthèse de la lignine.

Le zinc a présenté des concentrations relativement élevées dans les feuilles de basilic (de 2,965 mg/kg à 7,233 mg/kg), les feuilles de laitue (de 2,226 mg/kg à 6,013 mg/kg) et les tubercules de manioc (de 0,439 mg/kg à 6,987 mg/kg) par rapport aux feuilles d'oignon (de 0,126 mg/kg à 3,723 mg/kg). Ces teneurs sont toutes inférieures à la teneur limite du zinc (Tableau 2) dans les produits maraîchers (11 mg/kg). Ces valeurs reflètent un excellent apport en oligoélément essentiel. Il ne fait pas de doute que les fortes concentrations du zinc dans les aliments analysés sont le résultat d'une pollution urbaine liée à l'apport supplémentaire de zinc dans le lixiviat des décharges sauvages (Pinos, 2023). Toutefois, le zinc est un sel minéral présent dans notre organisme. Il n'en possède pas moins un rôle essentiel : stimulation des défenses immunitaires, protection contre le vieillissement cellulaire. Ce cas est relativement rare, mais lorsqu'un excès de zinc est disponible, les plantes présentent des symptômes proches de ceux de la carence en fer, c'est-à-dire d'une chlorose des jeunes feuilles (Douay & Sterckeman, 2002).

Les teneurs en cadmium (Cd) obtenues dans les produits maraîchers de cette étude (de 0,033 à 0,693 mg/kg) ont été inférieures aux teneurs obtenues dans les plantes cultivées sur les sites métallurgiques de Noyelles-Godault et d'Auby en France, qui atteignent jusqu'à 1,50 mg/kg (Kouassi *et al.*, 2008). Les études de (Dan-Badjo *et al.*, 2013) réalisées sur les sites maraîchers de Cocody et de Marcory en Côte d'Ivoire à Abidjan rapportent des teneurs en cadmium dans les végétaux (de 0,12 à 0,41 mg/kg) inférieures aux teneurs en cadmium obtenues dans cette étude. Des études de (Kumar *et al.*, 2019) sur la laitue et le chou dans la vallée de Gounti à Niamey révèlent également des teneurs en cadmium inférieures aux nôtres (de 0,58 à 0,60 mg/kg). Des travaux rapportent des teneurs en cadmium variant de 0,11 à 0,53 mg/kg (Douay & Sterckeman, 2002). Le cadmium est un contaminant de la chaîne alimentaire qui présente des taux élevés de transfert du sol aux plantes. L'exposition à de faibles niveaux de cadmium peut entraîner des dommages aux reins, au foie, au système squelettique, et au système cardiovasculaire, ainsi qu'une altération de la vue et de l'ouïe. En plus des effets tératogènes et mutagènes importants, le cadmium a des effets néfastes sur la reproduction humaine masculine et féminine et affecte la grossesse (Ammar *et al.*, 2005). Dans des travaux sur les effets du cadmium dans les feuilles de tomate, certains auteurs affirment que le cadmium diminue les teneurs en éléments nutritifs ainsi que celles des pigments photosynthétiques (Taleb, 2021).

Les teneurs élevées en fer sont bénéfiques pour les produits maraîchers, car le fer contribue au transport d'éléments importants par le biais du système circulatoire de la plante (Talhouët, 2020). Sans fer, une plante est incapable de produire de la chlorophylle et donc de créer de l'oxygène (Cayot, 2022). Les teneurs en fer dans les produits maraîchers analysés sur les premières parcelles de sols ont été assez importantes, allant de 3,126 mg/kg

dans les tubercules de manioc du site de Port-Bouët à 5,100 mg/kg dans les feuilles de basilic du site de Cocody. Tous les produits maraîchers analysés ont absorbé des teneurs en fer. Cela suggère ainsi que les produits maraîchers semblent accumuler beaucoup plus le fer (Kumar *et al.*, 2019). Toutefois, les valeurs de fer dans les aliments, obtenues dans cette étude (de 0,026 mg/kg à 5,100 mg/kg) sont inférieures à celles de (Pinos, 2023) et (Delisle-Houde *et al.*, 2020) qui ont recensé des teneurs en fer dans des aliments allant jusqu'à (11 mg/kg).

Les teneurs en nickel (Ni) dans les feuilles de basilic (de 0,294 mg/kg à 0,328 mg/kg), les feuilles de laitue (de 0,333 mg/kg à 0,983 mg/kg) et les tubercules de manioc (0,212 mg/kg) sont supérieures à la norme mondiale (0,2 mg/kg). Des teneurs en nickel supérieures à la norme ont également été trouvées dans des travaux sur le transfert des éléments traces vers la *chénopodiacée spinacia oleracea* (L.) à Constantine (Algérie) (Pinos, 2023). Le nickel dissous et sous forme particulaire s'introduit dans le milieu par l'intermédiaire de lixiviats à la suite d'activités anthropiques (Pinos, 2023). Apporté en quantité raisonnable dans l'alimentation, le nickel peut être important pour lutter contre l'anémie puisqu'il aide l'organisme à mieux absorber le fer. Cependant, le nickel est toxique s'il est consommé en trop grandes quantités. On constate notamment une recrudescence des cancers des poumons, du larynx et de la prostate chez les personnes exposées trop fréquemment au nickel dans le cadre professionnel (Mathilde, 2018). On constate aussi un retardement de la croissance de la plante au-delà d'une certaine teneur en nickel (Ontod *et al.*, 2015).

La teneur limite du manganèse est de 10 mg/kg (Tableau 2). Les teneurs en manganèse obtenues dans les produits maraîchers étudiés ont été de (0,125 mg/kg à 5,140 mg/kg). Ceci laisse supposer que l'absence de symptômes d'intoxication enregistrée dans notre étude peut être attribuée à une faible accumulation du manganèse dans les organes des espèces étudiées. En effet, les symptômes caractéristiques d'une toxicité manganifère sont généralement perceptibles au niveau foliaire. L'Homme et les plantes sont plus proches d'une carence en manganèse que d'un excès en manganèse (Kalonda *et al.*, 2015).

Tous les produits maraîchers analysés ont été contaminés par le plomb (0,3 mg/kg à 2,013 mg/kg). Ce constat est le même que celui d'une étude sur les plantes vivrières consommées couramment dans quelques zones minières de la province du Katanga au Congo (Rouibi *et al.*, 2012). Chez l'Homme, le plomb est responsable de troubles mentaux organiques : céphalées, asthénie, irritabilité, difficultés mnésiques et de concentration, diminution de la libido, troubles du sommeil, altérations de la dextérité et de la coordination (Cecchi, 2008). Dans la plante, il exerce un effet dépressif sur la germination, et retarde

cette dernière dans le temps. Le plomb diminue la teneur en pigments (Toulaïb, 2021).

La laitue et les feuilles de basilic ont été les produits maraîchers étudiés qui accumulaient le plus d'éléments traces métalliques. Les feuilles d'oignon et le manioc ont été moins accumulateurs en éléments traces métalliques. Les plantes à croissance rapide comme les légumes à feuilles légères sont connues pour leur aptitude à l'accumulation des métaux lourds (Yehouenou, 2020). La présente étude montre que les produits maraîchers étudiés sont contaminés par des métaux lourds (Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni et Se), étant donné que les teneurs en concentrations des métaux lourds dans ces produits maraîchers dépassent largement les teneurs de concentrations maximales destinées à l'alimentation selon l'OMS. Ces métaux sont ceux détectés dans les sols sur lesquels sont cultivés les produits maraîchers. Cependant, le taux du transfert des métaux lourds du sol vers le produit maraîcher varie en fonction des espèces et de la biodisponibilité de chaque élément trace (Diop *et al.*, 2022), comme le démontrent les résultats de cette étude. En effet, il existe une diminution de la pollution au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point central et une accumulation de zinc et de plomb à proximité de la décharge (Gnandi, 1998). À partir du point de déversement des déchets phosphatés dans la mer à Goumoukopé (exutoire des déchets) au Togo, les concentrations en métaux diminuent de la côte vers le large et aussi au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source de pollution (Aduayi-Akue *et al.*, 2014). Ces résultats sont en droite ligne avec les études réalisées sur le maïs cultivé dans la même zone de traitement des phosphates de Kpémé au Togo qui montrent que le degré de pollution des localités diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'usine (source de pollution) (Awokunmi *et al.*, 2015). Au niveau du cadmium et du plomb, il ressort des analyses de corrélation qu'une accumulation du plomb dans les racines entraîne également son accumulation dans les feuilles puis dans les grains (Garnier, 2005). Ces résultats viennent confirmer ceux de (Remon, 2006) qui a découvert que l'accumulation du plomb se fait de proche en proche d'abord au niveau des racines, puis des tiges, feuilles et grains. Les métaux lourds ont été détectés dans les sols sur lesquels sont cultivés les produits maraîchers. Cela confirme les différentes teneurs obtenues au niveau des feuilles des produits maraîchers analysés.

Les résultats de cette étude permettent de retenir une affinité entre les teneurs en métaux dans les sols de cultures et leurs teneurs dans les produits maraîchers cultivés sur ces sols. En effet, plus les concentrations en métaux sont élevées dans les sols, plus l'absorption par le transfert de métaux des sols aux produits est élevée.

Conclusion

La détermination de l'index de pollution (IP) a permis d'évaluer la toxicité globale des sols contaminés. Les plus fortes valeurs d'IP ont été observées au niveau du site de Cocody suivies de manière régressive du site de Bingerville, Abobo et Port-Bouët. Plus les parcelles de cultures maraîchères ont été proches des décharges sauvages, plus les teneurs en éléments traces métalliques ont été élevées dans les sols et vice-versa. Les produits maraîchers analysés ont présenté des teneurs en minéraux essentiels comme le fer, le zinc, le manganèse, inférieures à leurs valeurs limites respectives (8 mg/kg, 11 mg/kg et 10 mg/kg). Ce qui représente de bons apports nutritionnels. Cependant, ces produits maraîchers ont accumulé par la même occasion des métaux lourds toxiques pour l'organisme comme l'arsenic, le plomb, le nickel et le cadmium. Ainsi, la mise en pratique de techniques de dépollution des sols comme la réduction chimique et la consommation de produits maraîchers issus de sites non contaminés serait une solution pour réduire les risques d'intoxication et de maladies.

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.

References:

1. Aduayi-Akue, A. A., Gnandi, K. (2014). *Evaluation de la pollution par les métaux lourds des sols et de la variété locale du maïs Zea mays dans la zone de traitement des phosphates de Kpémé (Sud du Togo)*. International Journal Biological and Chemical Science. 8(5) : 2347-2355.
2. Akpo, S. K., Coulibaly, L. S., Coulibaly, L., & Savane I. (2016). *Evolution Temporelle de l'utilisation des pesticides en agriculture tropicale dans le bassin versant de la Marahoué, Côte d'Ivoire*. International Journal of Innovation and Applies Studies. 14(1) : 121-131.
3. Amani, M. K., Kouao, J-M., & Koffi, E. K. (2022). *Caractérisation intra-annuelle de la variabilité climatique en Côte d'Ivoire*. Articles Varia. 99(2) : 289-306
4. Ammar, W. B., Nouairi, I., Tray, B., Zarrouk, M., Jemal, F., & Ghorbel, M. H. (2005). *Effets du cadmium sur l'accumulation ionique*

- et les teneurs en lipides dans les feuilles de tomate (Lycopersicum esculentum)*. Journal de la Société de Biologie. 199 (2) : 157-163.
5. AOAC, 'Official Methods of Analysis, 15ème édition. Association of Official Analytical Chemists ' Washington DC, (1990) 774
 6. Assy, H. C., Dan, C. G., Yapi, A. Y. D., & Ohouo D. R. (2024). *Identification and Characterization of Market Garden Crops Grown Near Landfills in Abidjan District*. Archives of Current Research International. 24(2) : 1-11.
 7. Awokunmi, E. E., Adefemi, O. S., Asaolu, S. S. (2015). *Tissues accumulation of heavy metals by maize (Zea maize L.) cultivated on soil collected from selected dumpsites in Ekiti State, Nigeria*. American Chemical Science Journal. 5 (2) : 156-162.
 8. Baudelaire, N. (2019). *La réparation du dommage à l'environnement du fait des déchets simples en Côte d'Ivoire*. Thèse de doctorat. Droit. Université Côte d'Azur. 1-380.
 9. Bosso, A. V., Sika, N. A., Kwadjo, K., & Pokou, K. P. (2020). *Caractérisation des systèmes de cultures maraîchères dans deux localités du district d'Abidjan (Anyama et Port-Bouët) au sud de la côte d'ivoire*. Revue de l'environnement et de la Biodiversité-PASRES. 5 : 41-50.
 10. Cayot, P. (2022). *Pourquoi le fer est indispensable à notre santé*. Hal open science. Expertise. 1-6.
 11. Cecchi, M. (2008). *Devenir du plomb dans le système sol-plante. Ecosystèmes*. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse. 1-227.
 12. Celine, Y., Koffie-Bikpo., & Akoua, A. A. (2014). *Agriculture commerciale à Abidjan : le cas des cultures maraîchères*. International Pour. 2(224) : 141-149.
 13. Coulibaly, S. Y., Koukougnon, W., & Loba, A. D. (2021). *La pratique des maraichers aux alentours de l'établissement ivoire golf club dans le quartier de la riviéra dans la commune de Cocody à Abidjan (Côte d'Ivoire)*. International Journal of Advance Research. 9(09) : 858-865.
 14. Dan-Badjo., Yadjé G., Nomaou, D., Moussa, B., & Guillaume, E. (2013). *Évaluation des niveaux de contamination en éléments traces métalliques de laitue et de chou cultivés dans la vallée de Gounti Yena à Niamey, Niger*. Journal of Applied Biosciences. 8(67) : 5326 - 5335.
 15. Delisle-Houde, M., François, D., & Russell, J. T. (2020). *Évaluation des produits phytosanitaires pour la lutte contre la rouille tardive des feuilles du framboisier [Pucciniastrum americanum (Farl.) Arthur]*. Un article de la revue Phytoprotection. 100(1) : 16-21.
 16. Diop, T., Abdoulaye D., Mouhamadou, A., & Abdoulaye, D. (2022). *Impact d'une décharge urbaine sur la contamination métallique des*

- sols : cas de la décharge de Mbeubeuss (Dakar)*. International Journal Biological and Chemical Science. 16(6) : 2992-3002.
17. Douay, F., & Sterckeman, T. (2002). *Teneurs en Pb, Cd et Zn dans les végétaux cultivés aux alentours d'usines métallurgiques*. In D. Baise & M. Tercé : *Les éléments traces métalliques dans les sols*. Approches fonctionnelles et spatiales, INRA Editions. Paris. 505-521.
 18. Garnier, R. (2005). *Toxicité du plomb et de ses dérivés*. EMC (Elsevier SAS, Paris), Toxicologie-Pathologie professionnelle. 16 (1) : 7-10.
 19. Gnandi, K. (1998). *Cadmium et autres polluants inorganiques dans les sols et les sédiments de la région côtière du Togo : une étude géochimique*. Thèse de doctorat de l'Université Friedrich Alexandre d'Erlangen Nuremberg, République Fédérale d'Allemagne. 1-133.
 20. Kagadju, A., & Yamonekawasso, J. (2023). *Impacts des décharges incontrôlées sur la qualité du sol dans les quartiers péri-urbains de la ville de Goma (Est RD Congo) : cas du quartier Mugunga*. International Journal Biological and Chemical Sciences. 17(4): 1738-1749.
 21. Kalonda, D. M., Kabamba, T. A., Koto, F. K., & Cansa, H. M. (2015). *Profil des métaux lourds contenus dans les plantes vivrières consommées couramment dans quelques zones minières de la province du Katanga*. Journal of Applied Biosciences. 2(96) : 9049-9054
 22. Kouakou, K. J., Gogbeu, S. J., Sika, A. E., Yao, K. B., & Tahri, M. (2019). *Caractérisation physico-chimique des horizons de surface de sols maraîchers dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire)*. International Journal Biological and Chemical Science. 13(2) : 1193-1200.
 23. Kouassi, J. K., Yves, A. B., Ahoua, E. S., Baize, D., & Fatiha, Z. (2008). *Diagnostic D'une Contamination Par les Éléments Traces Métalliques de L'épinard (Spinacia Oleracea) Cultivé Sur des Sols Maraîchers de la Ville D'Abidjan (Côte D'ivoire) Amendés Avec de la Fiente de Volaille*. European Journal of Scientific Research. (21) : 471-487.
 24. Kouassi, S. K., Kouadio, R. O., & Florence, F. (2022). *Logiques d'implantation des structures sanitaires et disparités socio-spatiales de l'accès à l'offre de soins à Bouaké (Côte d'Ivoire)*. Open Édition Journals. Espace populations sociétés. (2-3) : 38-42.
 25. Kumar, S., & Sharma, A. (2019). *Toxicité du cadmium : effets sur la reproduction et la fertilité humaines*. Revue Environnement Santé. 34(4) : 327-338.
 26. Lambienou, Y., Lompo, D., Sako, A., & Nacro, H. (2020). *Evaluation des teneurs en éléments traces métalliques des sols soumis à l'apport des déchets urbains solides*. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 14(9) : 3361-3371.

27. Mathilde, G. (2018). *Procédés innovants pour la valorisation du nickel directement extrait de plantes hyper accumulatrices*. Thèse de doctorat. Université de Lorraine, 2018. 1-193.
28. Mpundu, M., Useni, S., Ntumba, N., Muyambo, M., & Ilunga, K. (2013). *Évaluation des teneurs en éléments traces métalliques dans les légumes feuilles vendus dans les différents marchés de la zone minière de Lubumbashi*. Journal of Applied Biosciences. (66) : 5106-5113.
29. Ontod, T. D., Lepengue, A. N., & M'batchi, B. (2015). *Effet des concentrations en manganèse du sol sur la croissance du manioc (manihot esculenta crantz) au gabon*. European Scientific Journal. 11(33) : 281-295.
30. Pinta, M. (1971). *Spectrophotométrie d'absorption atomique*. Livre en ligne. Site : https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-04/10340.pdf. Consulté le 31/10/2024. p 855.
31. Pinos, L. (2023). *Les (insoupçonnés !) bienfaits du cuivre pour votre organisme*. Article Novoma en ligne. Consulté le 13-11-2023.
32. Remon, E. (2006). *Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques : vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution*. Thèse de doctorat en Biologie Végétale. 157.
33. Rgph. (2021). *Données socio-démographiques et économiques des localités de la région des lagunes*. Note à diffusion restreinte, Institut national des statistiques. Tome 1, Abidjan : 24.
34. Richard, F., Gabrielle, S., & Greta, T. (2018). *Des enjeux environnementaux à l'émergence d'un capital environnemental ?* Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement hors-série (29) : 102-109.
35. Rouibi, A., Saidi, F., Cheri, H. S., Boukhatem, N., & Boutoumi, H. (2012). *Bioaccumulation du plomb et ses effets sur la germination et certains paramètres moléculaires de la croissance chez triticum durum développé sur un milieu contrôlé*. Revue AgroBiologia. (2) : 75-78.
36. Silue, A. P., & Soro D. (2021). *Dynamique d'occupation du sol et diversité floristique de la forêt classée de la palé (Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal. ESJ. 17(43) : 1-17.
37. Smouni, A., Ater, M., Auguy, F., Laplaze, L., El, M., Berhada, F., & Doumas, P. (2010). *Évaluation de la contamination par les éléments-traces métalliques dans une zone minière du Maroc oriental*. Cahiers Agricultures, 19 (4) : 273-279.
38. Taleb, M. (2021). *Apport dans le métabolisme du fer du modèle murin macrophage autophagie déficient & relations fer - inflammation*.

- Thèse de doctorat en Biochimie, Biologie Moléculaire de l'Université d'Orléans. 1-230.
39. Talhouët, A. (2020). *Stratégies d'acclimatation de deux plantes alpines, Soldanella alpina et Geum montanum, à deux points clefs de leur développement*. Thèse de doctorat en Biologie végétale de l'Université Paris-Saclay. 1-265.
40. Tankari, D-B., Guéro, Y., Dan, L. N., Tidjani, A. D., & Echevarria, G. (2013). *Evaluation de la contamination des sols par les éléments traces métalliques dans les zones urbaines et périurbaines de la ville de Niamey (Niger)*. Revue des Bioressources. 3(2) : 82-95.
41. Tapsoba, A. (2020). *Pauvreté, insécurité alimentaire et vulnérabilité des ménages agricoles dans un système d'irrigation à grande échelle : Le cas du périmètre irrigué de Bagré au Burkina Faso*. Thèse de doctorat. École doctorale n°581 Agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé (ABIES). Agro ParisTech. 1-350.
42. Toulairb, K. (2021). *Réseau d'interactions d'une communauté végétale constituée de plantes maraîchères et de plantes phytoremédiantes*. Thèse de Doctorat. Université Paris Est. Sciences de l'Univers et de l'Environnement. 1-226.
43. Yehouenou, P. E., Azehoun, P. J., & Adamou, M. R. (2020). *Dosage des métaux lourds dans le sol et les produits maraîchers du site maraîcher de Houéyiho au Bénin*. International Journal Biological and Chemical Sciences. 14 (5) : 1893-1901.
44. Ye, L. (2020). *Caractérisation des déchets urbains solides utilisables en agricultures urbaine et périurbaine : cas de Bobo Dioulasso*. Rapport de DEA, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 1-48.

Evaluation des mesures préventives face aux risques liés à l'exposition aux pesticides dans une entreprise agricole au Sénégal

Bocar Baila Diédhiou

Service de Médecine du travail, FMPO/UCAD, Sénégal

Absa Lam

Laboratoire de toxicologie et d'hydrologie, FMPO/UCAD, Sénégal

Armandine Eusébia Roseline Diatta

Service de Médecine du travail, FMPO/UCAD, Sénégal

Habib Touré

Faculté des Sciences Techniques et de Santé de Conakry,
République de Guinée

Aminata Touré

Matilde Cabral

Laboratoire de toxicologie et d'hydrologie, FMPO/UCAD, Sénégal

Mor Ndiaye

Service de Médecine du travail, FMPO/UCAD, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p246](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p246)

Submitted: 25 July 2025

Accepted: 12 August 2025

Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Diédhiou, B.B., Lam, A., Diatta, A.E.R., Touré, H., Touré, A., Cabral, M. & Ndiaye, M. (2025). *Evaluation des mesures préventives face aux risques liés à l'exposition aux pesticides dans une entreprise agricole au Sénégal*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 246. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p246>

Résumé

Introduction : les pesticides constituent une menace pour la sécurité des agriculteurs. L'objectif de cette étude était d'évaluer les mesures préventives mises en place dans une entreprise agricole pour faire face aux risques liés à l'exposition aux pesticides. **Méthodologie :** il s'agissait d'une étude transversale menée du 1^{er} juin au 30 juillet 2024. Les ouvriers de l'entreprise directement exposés aux pesticides constituaient la population d'étude. L'analyse a été effectuée avec les logiciels excel 2016 et R version 4.1.1. Nous avons réalisé une analyse bi variée en utilisant le test de Khi2 de Pearson pour la comparaison des proportions. Le lien a été considéré

significatif si p inférieur à 0,05. **Résultats** : au total, 63 ouvriers agricoles composés exclusivement d'hommes ont été inclus. Les applicateurs de produits phytosanitaires étaient les plus représentés (76,2%). Le nombre moyen d'années d'exposition aux pesticides était de 14 ± 5 ans. Des antécédents d'effets néfastes liés aux pesticides ont été répertoriés dans 23,3% des cas. Parmi les ouvriers, 92,1% ont été formés sur l'usage sécurisé des pesticides et 91,8% lisaient les étiquettes des pesticides avant leur utilisation à des fréquences variables. La visite d'embauche et la visite médicale périodique étaient systématiquement réalisées au profit de ces ouvriers. De même, ils bénéficiaient d'une mesure systématique de la cholinestérase avant et après les campagnes et d'une dotation en équipement de protection individuelle. La catégorie professionnelle et la formation sur l'utilisation des pesticides avaient un lien significatif avec un bon niveau de connaissance des travailleurs ($p < 0,05$). **Conclusion** : l'enquête révèle la nécessité de renforcer davantage la protection des travailleurs par la sensibilisation, la formation, l'évaluation continue des connaissances et le suivi médical des travailleurs.

Mots-clés: Ouvriers, pesticides, pratiques, suivi médical, prévention

Evaluation of preventive measures against risks associated with exposure to pesticides in an agricultural enterprise in Senegal

Bocar Baïla Diédhiou

Service de Médecine du travail, FMPO/UCAD, Sénégal

Absa Lam

Laboratoire de toxicologie et d'hydrologie, FMPO/UCAD, Sénégal

Armandine Eusébia Roseline Diatta

Service de Médecine du travail, FMPO/UCAD, Sénégal

Habib Touré

Faculté des Sciences Techniques et de Santé de Conakry,
République de Guinée

Aminata Touré

Matilde Cabral

Laboratoire de toxicologie et d'hydrologie, FMPO/UCAD, Sénégal

Mor Ndiaye

Service de Médecine du travail, FMPO/UCAD, Sénégal

Abstract

Introduction: Pesticides pose a threat to the safety of farmers. The aim of this study was to assess the preventive measures put in place in a farming business to deal with the risks associated with exposure to pesticides. **Methodology:** This was a cross-sectional study conducted between 1 June and 30 July 2024. The study population consisted of company workers directly exposed to pesticides. The analysis was performed using Excel 2016 and R version 4.1.1 software. We performed a bivariate analysis using Pearson's chi-square test to compare proportions. The link was considered significant if p was less than 0.05. **Results:** a total of 63 all-male agricultural workers were included. Plant protection product applicators were the most represented (76.2%). The average number of years of exposure to pesticides was 14 ± 5 years. A history of pesticide-related adverse effects was recorded in 23.3% of cases. Among the workers, 92.1% had been trained in the safe use of pesticides and 91.8% read pesticide labels before use, with varying frequency. These workers systematically underwent a pre-recruitment check-up and a periodic medical examination. They also had their cholinesterase levels measured systematically before and after campaigns, and were provided with personal protective equipment. Professional category and training in the use of pesticides were significantly associated with a good level of knowledge among workers ($p < 0.05$). **Conclusion:** The survey reveals the need to further

strengthen worker protection through awareness-raising, training, continuous assessment of knowledge, and medical monitoring of workers.

Keywords: Workers, pesticides, practices, medical monitoring, prevention

Introduction

L'usage des pesticides a connu une ascension fulgurante depuis le début des années 1950 et a permis de développer considérablement la production agricole par la réduction des pertes (Gatignol C et al, 2010). Parallèlement, cette forte utilisation des pesticides dans l'agriculture accroît les risques sanitaires chez l'homme suscitant de nombreuses polémiques. Car, la relation entre un pesticide et son effet chimique sur la santé humaine est très difficile à établir. Mais, compte tenu de leur mode d'action et de leur toxicité, certains pesticides peuvent constituer une menace pour la santé humaine (Chubilleau C et al, 2012). Depuis les années 1980, les enquêtes épidémiologiques s'appuyant en particulier sur les observations réalisées dans des cohortes de sujets exposés professionnellement ont évoqué l'implication des pesticides dans plusieurs pathologies cancéreuses, neurologiques et dans la survenue de troubles de la reproduction. Des travaux de recherches ont attiré l'attention sur les effets éventuels d'une exposition même à faible dose lors de périodes sensibles du développement in utero et pendant l'enfance (Norkaew S et al, 2015). Les dégâts causés par les pesticides seraient plus importants dans notre contexte africain où, l'agriculture est habituellement pratiquée dans des conditions rudimentaires avec un usage incontrôlé et inapproprié de produits phytosanitaires sans formation préalable des agriculteurs. Cette situation est aggravée par l'accessibilité de divers types de pesticides homologués ou non, vendus anarchiquement dans le marché noir par des commerçants ambulants ou dans des magasins non homologués. Cette particularité explique la fréquence des intoxications liées aux pesticides dans nos pays en développement. Ainsi, au centre antipoison de Dakar, sur un total de 721 cas d'intoxication répertoriés, 13,73% (n=99) étaient imputés aux pesticides (Touré A et al, 2022). Par ailleurs, cet usage incontrôlé des pesticides, pourrait générer des métaux toxiques et des polluants organiques persistants dans les eaux, dans le sol et les sédiments ainsi que dans les plantes cultivées (Ngweme GN et al, 2020). Au regard de cette problématique posée par les pesticides et de la rareté des études sur ce sujet au Sénégal, nous avons jugé nécessaire de mener cette étude dans une entreprise agricole spécialisée dans l'horticulture au Sénégal. L'objectif était d'évaluer les pratiques préventives réalisées par les ouvriers exposés aux pesticides et par l'entreprise pour faire face aux risques encourus.

Méthodologie

● Cadre d'étude

L'étude a été réalisée au sein d'une entreprise agro-industrielle implantée au Sénégal faisant partie des leaders dans l'horticulture exportatrice. Plusieurs types de culture sont réalisés dans ses champs. Il s'agit entre autres, des tomates, des framboises, des myrtilles, du maïs, des bananes, des cerises, des mangues, des oignons. Cette entreprise développe aussi des cultures de produits maraîchers sous serre. Elle dispose d'un service médical dirigé par un médecin.

● Type et période d'étude

Il s'agissait d'une étude transversale, qui s'est déroulée du 1^{er} juin 2024 au 30 juillet 2024.

● Population d'étude

Tous les travailleurs de l'entreprise exposés directement aux pesticides dans le cadre de leurs activités professionnelles constituaient la population d'étude. Pour être inclus, il fallait être, travailleur de l'entreprise directement exposé aux pesticides et accepter de participer à l'étude.

● Instrument d'étude

Pour réaliser l'enquête, nous avons confectionné un questionnaire lequel a été adapté au contexte par le médecin de l'entreprise. La collecte a été réalisée durant la visite médicale de fin de campagne par le médecin qui a procédé à un interrogatoire individuel des travailleurs pour renseigner les questionnaires lesquels, étaient constitués :

- des caractéristiques sociodémographiques (sexe, âge, niveau d'études, tabagisme, alcoolisme) ;
- des caractéristiques professionnelles (catégories professionnelles, ancienneté dans la profession, durée d'exposition aux pesticides et la fréquence de l'exposition, catégories de pesticides utilisées) ;
- des antécédents d'intoxication ;
- des pratiques préventives réalisées face à l'exposition aux pesticides.

● Collectes des données et analyses

Les données collectées ont été saisies dans excel 2016. L'analyse a été effectuée avec les logiciels excel 2016 et R version 4.1.1. Les données sont exprimées en valeurs absolues ou fréquences et sous forme de moyennes. Elles sont présentées sous forme de tableaux et de graphiques. Nous avons réalisé une analyse bi variée en utilisant le test de Khi2 de Pearson pour la comparaison des proportions. Le lien est considéré significatif si p inférieur à 0,05. Le niveau de connaissance était la variable dépendante avec deux modalités : <bonne connaissance> si la réponse était bonne ou <mauvaise connaissance> si la réponse était mauvaise. Nous avons recherché le lien entre le niveau de connaissance et les caractéristiques socioprofessionnelles telles

que : l'âge, le sexe, la situation matrimoniale, le niveau d'instruction, la catégorie professionnelle, la fréquence d'exposition, la formation.

- **Considérations éthiques**

L'autorisation préalable de la direction de l'entreprise a été obtenue après demande du médecin chef du service médical. L'anonymat et la confidentialité des informations étaient garantis. Le consentement préalable, libre et éclairé des participants a été obtenu avant le remplissage du questionnaire.

Résultats

Caractéristiques sociodémographiques

Au total, 63 travailleurs professionnellement exposés aux pesticides avaient participé à l'enquête. L'âge moyen des participants était de 43 ± 8 ans avec des extrêmes de 19 à 66 ans. Près de $\frac{3}{4}$ des ouvriers (74,2%) avaient un âge supérieur ou égal à 40 ans. Le **tableau 1** illustre les résultats des données sociodémographiques des participants à l'étude.

Tableau 1 : répartition des enquêtés selon les caractéristiques sociodémographiques

Caractéristiques sociodémographiques	Effectifs	Pourcentages (%)
Sexe		
Masculin	63	100
Féminin	0	0
Situation matrimoniale		
Mariés	62	98,4
Célibataires	1	1,6
Niveau d'instruction		
Non instruit	22	35
Primaire	21	33,3
Moyen	14	22,2
Secondaire	6	9,5
Tabagisme		
Oui	7	11,1
Non	56	88,9
Alcoolisme		
Oui	0	0
Non	63	100

Caractéristiques professionnelles

- **Catégories professionnelles**

Plusieurs catégories professionnelles ont été retrouvées dominées par les applicateurs de produits phytosanitaires (76,2%). Les autres étaient composés de manutentionnaires (6,3%), d'aides magasiniers (4,7%), de conducteurs d'engin (3,2%), de gestionnaires des produits phytosanitaires (4,8%), de magasiniers (1,6%), de tactoristes (1,6%) et d'ouvriers agricoles (1,6%).

- **Ancienneté**

La moyenne d'ancienneté dans la profession était de 14 ± 5 ans avec des extrêmes de 3 à 27 ans.

- **Exposition professionnelle aux pesticides**

Le degré d'exposition aux pesticides était variable. Ainsi, 50,8% estimaient être toujours exposés aux pesticides au cours du travail (cfr figure 1).

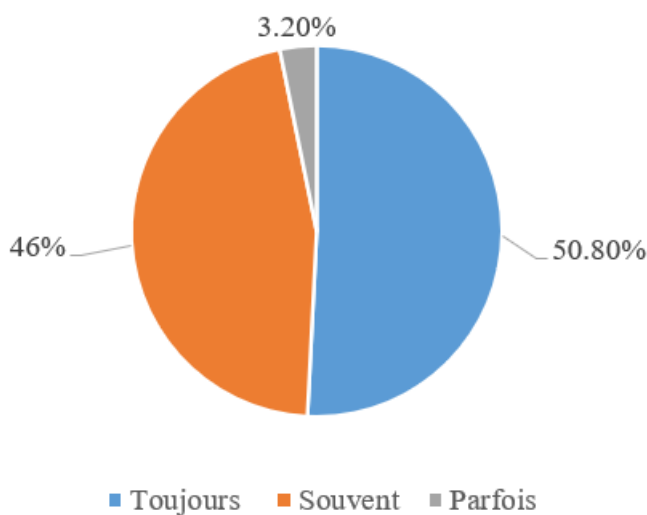


Figure 1 : répartition des enquêtés selon la fréquence d'exposition aux pesticides

- **Pesticides utilisés**

Les enquêtés avaient énuméré plusieurs types de pesticides utilisés au niveau des champs. Il s'agissait des fongicides, des insecticides, des régulateurs de croissance, des molluscicides, des désherbants, des désinfectants, des nématicides.

- **Effets néfastes liés aux pesticides**

Parmi les enquêtés, 23,3% (n=14) avaient des antécédents d'effets néfastes liés aux pesticides. Les effets néfastes recensés étaient les irritations cutanées dans 42,9% (cfr figure 2).

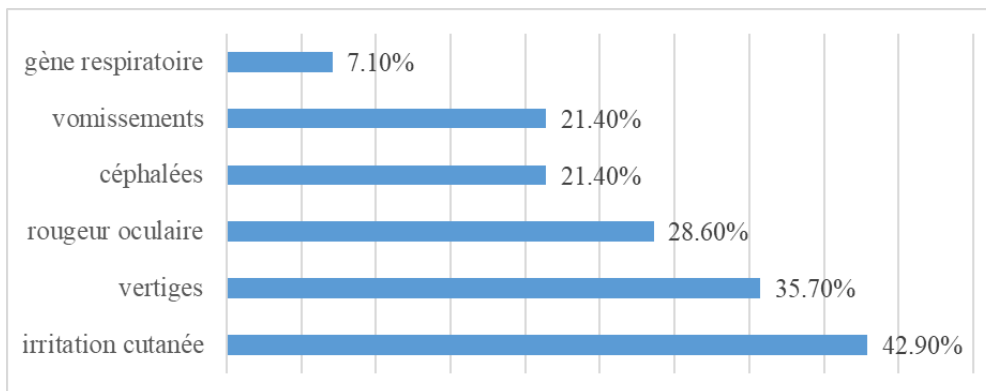


Figure 2 : répartition des victimes selon les effets néfastes répertoriés

Pratiques des professionnelles

- **Pratiques des victimes devant la survenue des effets néfastes**

La figure 3 illustre les pratiques des victimes d'effets néfastes liés aux pesticides.

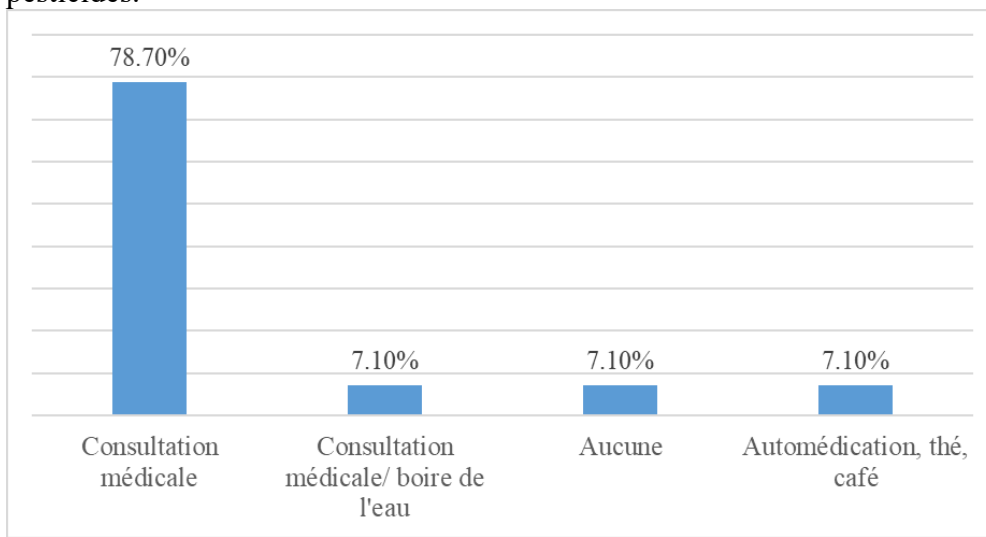


Figure 3 : pratiques réalisées par les victimes après l'apparition des effets néfastes

- **Lecture des directives d'utilisation des produits chimiques**

Parmi les enquêtés, 91,8% lisaient les étiquettes des pesticides avant leur utilisation à des fréquences variables (cfr figure 4).

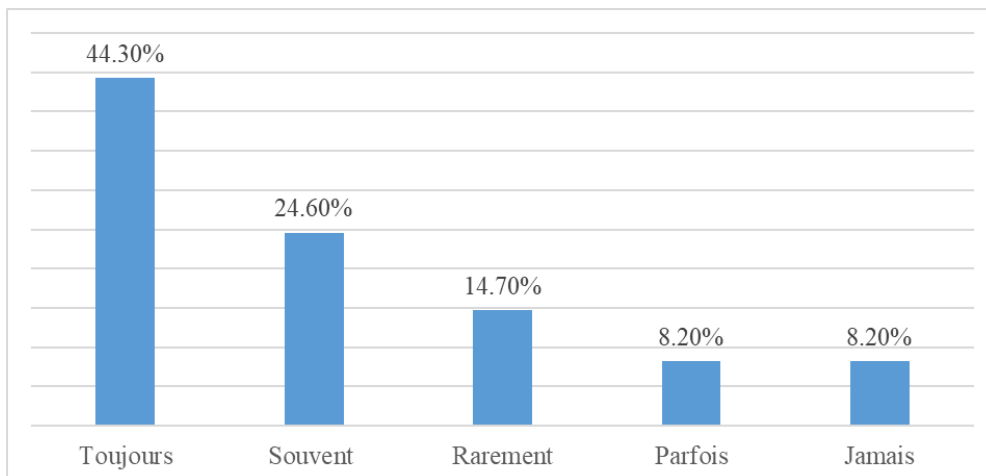


Figure 4 : répartition des enquêtes selon la fréquence de la lecture des étiquettes

- **Règles d'hygiène et de sécurité**

Certaines règles d'hygiène et de sécurité étaient systématiquement pratiquées par les travailleurs lors de la manipulation des pesticides (cfr tableau 2).

Tableau 2 : répartition des travailleurs selon le respect des règles d'hygiène et de sécurité

Règles d'hygiène et de sécurité	Effectifs	Pourcentages (%)
Toilette après utilisation des pesticides		
Oui	63	100
Non	0	0
Lavage des mains après contact avec un pesticide		
Oui	63	100
Non	0	0
Respect des délais avant récolte		
Oui	63	100
Non	0	0
Mise en place d'une indication sur les parcelles traitées avec la date du traitement		
Oui	63	100
Non	0	0
Respect des délais d'entrée dans les parcelles une fois traitées		
Oui	63	100
Non	0	0
Elimination des EPI après utilisation		
Oui	0	0
Non	63	100
Respect des doses prescrites		
Oui	63	100
Non	0	0

Le choix des produits chimiques et des doses à utiliser était habituellement réalisé par un technicien de culture.

- **Actions médicales préventives**

Tous les travailleurs avaient bénéficié d'une visite médicale d'embauche (100%), d'une visite médicale annuelle (100%) et d'une surveillance médicale particulière (100%). Cette dernière était systématiquement pratiquée durant la période pré et post campagne. Il consistait à réaliser en faveur de ces travailleurs exposés aux pesticides, un examen clinique et une mesure systématique de la cholinestérase avant et après campagne.

- **Formation des travailleurs sur l'usage sécurisé des pesticides**

Parmi les enquêtés, 92,1% (n=58) avaient bénéficié d'une formation pratique sur l'usage sécurisé des pesticides organisée par l'entreprise. Durant ces formations, le service médical participait aussi au renforcement de la sensibilisation surtout sur les questions relatives aux risques sanitaires.

- **Dotation en équipements de protection individuelle (EPI)**

Tous les travailleurs exposés aux pesticides étaient dotés en EPI (masques, gants, tablier, bottes, lunettes) et d'un entreposage sécurisé pour les pesticides.

Connaissances des professionnelles

- **Conscience des risques liés aux pesticides**

Parmi les enquêtés, 96,8% (n=61) avaient estimé être conscients des risques sanitaires liés à l'exposition aux pesticides.

- **Délais de pré récolte**

Le respect des délais de pré récolte était jugé indispensable par 95,1% des enquêtés (n=58).

- **Information sur les risques liés aux pesticides**

Parmi les enquêtés, 72,1% avaient estimé être bien informés sur les risques liés aux pesticides.

- **Connaissance des risques liés aux pesticides sur la santé dans le long terme**

Au total, 98,4% ont estimé avoir connaissance des risques sur la santé dans le long terme.

- **Connaissances des pictogrammes figurant sur les emballages des pesticides**

Les pictogrammes A, B et C étaient ceux les plus connus (cfr tableau 3).

Tableau 3 : répartition des travailleurs selon le niveau de connaissance des pictogrammes

Pictogrammes	Bonnes réponses	Pourcentages (%)
 A : Produit inflammable	53	84,1
 B : Produit toxique, mortel	49	77,8
 C : Produit dangereux pour l'environnement	37	58,7
 D : Produit corrosif	22	34,9
 E : Produit dangereux en cas de contact	3	4,8

- **Liens entre le niveau des connaissances et les caractéristiques socioprofessionnelles**

La catégorie professionnelle et la formation sur l'utilisation des pesticides ont un lien significatif avec le bon niveau de connaissance des travailleurs ($p < 0,05$). En effet, les applicateurs phytosanitaires avaient un niveau de connaissance sur les pesticides plus élevé.

Tableau 4 : lien entre le niveau des connaissances et les caractéristiques socioprofessionnelles

Variables	Niveau des connaissances		p-value
	Bon	Mauvais	
Age	44.1 (8.08)	43.4 (8.21)	0.727
Niveau d'étude			0.967
Non instruit	13 (37.11%)	9 (32.14%)	
Primaire	12 (34.3%)	9 (32.1%)	
Moyen	7 (20.0%)	7 (25.0%)	
Secondaire	3 (8.57%)	3 (10.7%)	
Situation matrimoniale			0.444
Célibataires	0 (0.00%)	1 (3.57%)	
Mariés	35 (100%)	27 (96.4%)	
Catégories professionnelles			0.023+++
Applicateur phyto	32 (91.4%)	19 (67.9%)	
Conducteur engin	1 (2.86%)	1 (3.57%)	
Magasinier	1 (2.86%)	3 (10.7%)	
Manutentionnaire	0 (0.00%)	4 (14.3%)	
Ouvrier agricole	0 (0.00%)	1 (3.57%)	

Variables	Niveau des connaissances		p-value
	Bon	Mauvais	
Tactoriste	1 (2.86%)	0 (0.00%)	0.898
Fréquence exposition			
Parfois	1 (2.86%)	1 (3.57%)	
Souvent	17 (48.6%)	12 (42.9%)	0.014+++
Formation			
Non	0 (0.00%)	5 (17.9%)	
Oui	35 (100%)	23 (82.1%)	

Discussion

Cette étude est une contribution dans la recherche portant sur l'utilisation des pesticides en milieu agricole. Elle revêt toutefois, des limites parmi lesquelles, la réticence par rapport à la finalité de l'étude malgré la préparation et la garantie sur la confidentialité des données. Certains travailleurs n'avaient pas le niveau d'étude requis pour lire et répondre aux questionnaires. De surcroît, le manque de temps des travailleurs, était un frein pour réaliser cette enquête. Face à ces difficultés, il fallait s'adapter à ces réalités. Ainsi, la collecte a été menée durant les visites de compagnie des travailleurs.

L'âge moyen des participants était de 43 ± 8 ans. Ce résultat est proche de celui retrouvé chez des travailleurs du secteur agricole à Séfa au Sénégal soit, 44 ans (Diatta AER et al, 2021). De même, une étude réalisée au Brésil avait rapporté un âge moyen de 43,9 ans chez des travailleurs exposés aux pesticides (Bernieri T et al, 2019). Dans notre série, la totalité de l'échantillon était constituée d'hommes. En revanche, dans la série de Diatta, 84% de l'échantillon étaient composés d'hommes. Cette particularité de l'unicité masculine quadragénaire dans notre série serait due à la pénibilité des métiers du secteur agricole (Diatta AER et al, 2021). En effet, ces agents exercent habituellement dans des conditions de travail difficiles. Ils sont exposés à la forte chaleur du sahel, aux postures contraignantes et à la manutention de charge. Cette rudesse du travail contraste avec la modestie des revenus et justifie également la faible proportion d'adultes jeunes. Près de $\frac{3}{4}$ des ouvriers (74,2%) avaient un âge supérieur ou égal à 40 ans. Dans notre étude, le niveau d'étude des enquêtés était très bas. Seuls, 9,5% des participants avaient le niveau d'étude secondaire autrement dit, la majorité des travailleurs était analphabète. Au Maroc, Sine avait retrouvé 47,8% d'analphabètes et 37,6% des agriculteurs déscolarisés dès le cycle primaire dans une étude faite en milieu agricole (Sine H et al, 2019). Ces observations sont à l'image de la plupart des agriculteurs particulièrement en Afrique Sud Saharienne, confrontés au problème d'illettrisme (Diatta AER et al, 2021 ; Ngweme GN et al, 2023). Cela constitue une des raisons majeures des intoxications accidentelles liées aux pesticides. Ces raisons sont entre autres, la

méconnaissance des règles d'utilisation, l'ignorance des effets néfastes des pesticides sur l'organisme et le non-respect du port des équipements de protection individuelle. A cela s'ajoute, l'absence de formation (Diatta AER et al, 2021). Selon Morillon, l'élévation du niveau d'étude augmente le niveau des connaissances sur les produits phytosanitaires (Morillon A, 2016). Dans cette série d'ouvriers agricoles aux profils multiples, les applicateurs de produits phytosanitaires étaient plus représentés (76,2%). Ce résultat explique le fait que la majorité des enquêtés soit constamment exposée aux pesticides au cours du travail. Cette exposition fréquente aux pesticides démontre aussi les risques encourus dans le long terme. De même, la durée moyenne d'exposition aux pesticides des travailleurs était longue (14 ± 5 ans) et constitue un danger pour les travailleurs. Dans la série, 11,1% étaient tabagiques. Or, l'exposition simultanée aux pesticides et au tabagisme accroît les risques de survenue des cancers, des troubles neurologiques, des troubles respiratoires et des troubles de la fertilité (Keraudren A, 2024 ; Cabry-Goubet R, 2018). Cela prouve la nécessité d'encourager l'arrêt de la consommation du tabac chez ces travailleurs exposés aux pesticides.

La lecture de l'étiquette d'un produit phytosanitaire est très importante pour un usage correct et sécurisé. Car, elle renseigne sur les dangers potentiels du produit et les conseils de prudence à respecter. L'enquête a montré que 91,8% des ouvriers lisaient les étiquettes des pesticides avant leur utilisation à des degrés différents. Cette lecture n'était systématique que dans 43,4% des cas. Ce résultat pose un véritable problème de sécurité au regard des risques encourus. L'utilisation routinière des pesticides, la banalisation, le niveau d'étude bas et l'absence de formation de certains enquêtés sont entre autres des facteurs pouvant justifier ces attitudes. Ces défaillances peuvent expliquer les antécédents d'effets néfastes répertoriés liés aux pesticides (23,4%). Certaines règles de sécurité liées à la manipulation des pesticides étaient systématiquement respectées par les travailleurs. Il s'agissait des pratiques telles que : le port des équipements de protection individuelle, la toilette après utilisation de pesticide, le lavage des mains après contact avec un pesticide ou son contenant, le respect des délais avant récolte, la mise en place d'une indication sur les parcelles traitées avec la date du traitement et le respect des délais d'entrée dans les parcelles une fois traitées. Toutefois, une étude sénégalaise n'avait observé que 42,5% des agriculteurs qui respectaient les règles d'hygiène de sécurité (Diatta AER et al, 2021). En effet, dans notre contexte, la formation du personnel est le déterminant de ces bonnes pratiques de sécurité. Ces règles d'hygiène mentionnées sont des gestes simples, faciles à réaliser et qui permettent de lutter efficacement contre d'éventuelles intoxications majeures. En république démocratique du Congo, une étude menée dans le secteur agricole avait révélé que la totalité des maraichers n'avait pas bénéficié de formation sur l'utilisation des intrants chimiques.

Ainsi, le problème de la manipulation des pesticides à mains nues par beaucoup d'agriculteurs est déploré particulièrement dans l'agriculture informelle où la plupart des agriculteurs ne portent pas habituellement des équipements de protection lors de la manipulation (Ngweme GN et al, 2023). Cela pose la lancinante problématique de l'absence de formation des agriculteurs du secteur informel dans notre contexte africain. Des cas d'effets néfastes mineurs ont été répertoriés (23,3%) dans notre série. Ces effets néfastes avaient nécessité une consultation médicale dans 78,6% des cas. Toutefois, certaines victimes pratiquaient l'automédication prouvant ainsi la nécessité de sensibiliser les travailleurs exposés à notifier les éventuels effets néfastes pour une bonne prise en charge. Dans cette entreprise, le choix des produits et des doses à utiliser est fait par un technicien qualifié. De même, la mise en place d'indication sur les parcelles traitées est importante. Elle permet le respect des délais de récolte et donc de minimiser le risque d'intoxication aux pesticides.

Plusieurs efforts étaient réalisés pour protéger le personnel exposé aux pesticides au sein de cette entreprise tels que : la dotation en équipements de protection individuelle des travailleurs et des actions médicales préventives réalisées par le médecin de l'entreprise. Ces actions sont constituées :

- de la visite médicale d'embauche qui permet d'évaluer l'aptitude d'un travailleur par rapport à un poste et de rechercher d'éventuelles contre-indications ;
- de la visite médicale périodique, réalisée annuellement pour évaluer le maintien de l'aptitude à un poste d'un travailleur. Cette visite aide le médecin à dépister tôt une pathologie pour un meilleur pronostic et à proposer éventuellement un aménagement de poste, une mutation voire une inaptitude en cas d'incompatibilité de l'état de santé du travailleur par rapport à un poste ;
- de la surveillance médicale particulière indiquée en médecine du travail, dès lors que des travaux comportant des exigences ou des risques spéciaux sont réalisés tels que les travaux exposant à des produits chimiques dangereux. Elle permet de renforcer la surveillance médicale des salariés au regard des risques encourus. Dans notre contexte, cette surveillance médicale particulière est réalisée par le médecin de l'entreprise depuis 3 ans aux travailleurs exposés constamment aux pesticides. Ces travailleurs bénéficiaient en plus d'un examen médical, d'une mesure de l'acétylcholinestérase systématiquement en pré et post campagne. Cela permettait une surveillance optimale de l'exposition aux pesticides. Dans notre série, tous les résultats étaient satisfaisants. Par contre, Diatta avait observé un degré moyen d'inhibition de l'acétylcholinestérase (AChE) de base de 14,07%. Cette baisse d'activité de l'AChE et le non-respect des

règles d'utilisation et de gestion des pesticides (port d'équipement de protection individuelle, respect des règles d'hygiène et de sécurité et la gestion des déchets) avaient un lien significatif (Diatta AER et al, 2021). Ces mesures permettent au médecin d'ordonner éventuellement un arrêt de l'exposition aux pesticides en cas d'inhibition importante. Ces résultats satisfaisants dans notre contexte, seraient dus aux mesures strictes de prévention exigées aux travailleurs dans l'entreprise mais aussi aux exigences du marché européen. Ainsi, 92,1% des enquêtés avaient bénéficié d'une formation sur l'usage sécurisé des pesticides laquelle, était réalisée par des experts extérieurs à l'entreprise annuellement. Ces formations étaient d'ordre surtout pratique renforcée par des séances de sensibilisation sur les risques encourus. Durant ces formations, le service médical était convié pour renforcer la sensibilisation sur les risques professionnels. La formation avait un lien significatif avec un bon niveau de connaissances ($p < 0,05$) et était aussi le déterminant du niveau d'information des enquêtés par rapport aux risques encourus. Parmi les enquêtés, 96,8% estimaient être conscients des dangers liés à l'exposition aux pesticides. Selon Naamane, le manque d'information induit des pratiques irrationnelles susceptibles d'avoir des impacts néfastes sur l'environnement et les êtres vivants (Naamane A et al, 2020).

Conclusion

Il ressort de notre enquête, que beaucoup de moyens de prévention sont mis à la disposition des travailleurs par l'entreprise lesquels sont entre autres, le suivi médical, les équipements de protection individuelle, la formation sur l'usage sécurisé des pesticides. Ces actions doivent être renforcées car la maîtrise des risques liés à l'exposition aux pesticides en milieu agricole mérite une attention particulière et des actions concrètes de prévention. Il s'agira de renforcer la connaissance et de développer une culture de prévention par le biais de la formation continue et de superviser les pratiques des travailleurs.

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 concernant les participants humains : cette étude a été approuvée par l'université Cheikh Anta Diop de Dakar et les principes de la déclaration d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. Bernieri, T, Rodrigues, D, Barbosa, IR, Ardenghi, PG, Basso, DaSilva, L. (2019). Occupational exposure to pesticides and thyroid function in Brazilian soybean farmers. *Chemosphere*, 218, 425-9.
2. Cabry-Goubet, R. (2018). Impact des facteurs environnementaux sur la fertilité : rôles du tabac et des pesticides. <https://theses.hal.science/tel-03691927v1> (consulté, le 6/08/2025).
3. Chubilleau, C, Comte, J, Ben-Brik, E, Pubert, M, Hulin, A, Leonard, S, Giraud, J, Ingrand, P. (2012). Pesticides et santé, étude écologique du lien entre territoire et mortalité en Poitou-Charentes entre 2003 et 2007. *AMPE*, 73(3), 553-54.
4. Diatta, AER, Diatta, AL, Fall, MC, Ndiaye, M. (2021). Exposition aux pesticides organophosphorés des travailleurs du domaine agricole communautaire de Séfa Sédhio. *Toxicologie Analytique & Clinique*, 33(3), 116-122.
5. Gatignol, C, Etienne, JC. (2010). Pesticides et santé. Rapport parlementaire. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. <https://www.senat.fr/rap/r09-421/r09-421-syn.pdf> (consulté, le 2/2/2025).
6. Keraudren, A. (2024). Santé. Pesticides : des risques de cancer comparables au tabagisme. <https://www.breizh-info.com/2024/08/02/236061/sante-pesticide-cancer-americains/> (consulté, le 7/08/2025).
7. Morillon, A. (2016). Les risques liés à l'utilisation des pesticides: Enquête auprès des agriculteurs du Poitou-Charentes. Thèse pour le diplôme d'État de Docteur en pharmacie. <https://theses.hal.science/tel-00330431v1> (consulté, le 13/02/2025).
8. Naamane, A, Sadiq, A, Belhouari, A, Ioune, N, El Amrani, S. (2020). Enquête sur l'utilisation des engrais et pesticides chez les agriculteurs de la région de Casablanca-Settat. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét*, 8(3), 279-285.
9. Ngweme, GN, Al Salah, DMM, Laffite, A, Sivalingam, P, Grandjean, D, Konde, JN, Mulaji, CK, Breider, F, Poté, J. (2021). Occurrence Of Organic Micropollutants And Human Health Risk Assessment Based On Consumption Of *Amaranthus Viridis*, Kinshasa In The Democratic Republic Of The Congo. *Science Of The Total Environment*, 754(3), 1-44.

10. Ngweme, GN, Atibu, EK, Al Salah, DMM, Muanamoki, PM, Kiyombo, GM, Mulaji, CK, Poté, JW. (2020). Heavy Metal Concentration In Irrigation Water, Soil And Dietary Risk Assessment Of *Amaranthus Viridis* Grown In Peri-Urban Areas In Kinshasa, Democratic Republic Of The Congo, Watershed Ecology And The Environment, 2(17), 16-24.
11. Ngweme, GN, Kiyombo, GM, Mata, HK, Kumbu, RK, Minengu, JDD. (2023). Usage abusif des intrants chimiques (Pesticides, Herbicides et Fertilisants) dans les cultures maraîchères de Kinshasa et impact sur la santé des maraîchers et consommateurs. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology, 17(12), 48-53.
12. Norkaew, S, Lertmaharit, S, Wilaiwan, W, Siriwong, W, Perz, HM, Robson, MG. (2015). An association between organophosphate pesticides exposure and parkinsonism amongst people in an agriculture area in Ubon Ratchathani Province, Thailand. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny, 66(1), 21-26.
13. Sine H, El Grafel, K, Alkhammal, A, Achbani, A, Filali, K. (2019). Serum cholinesterase biomarker study in farmers —Souss Massa region, Morocco: case-control study. Biomarkers, 24(8), 771- 5.
14. Touré, A, Cabral, M, Bah, F, Lam, A, Ly, M, Ly, MD, Sylla, A, Ly, MD, Sylla, A, Diop, C, Fall, M. (2022). Intoxications aux pesticides au Sénégal: données du centre Antipoison de 2009 à 2020. Toxicologie analytique et clinique, 34(3), S173.

Appendix



Image 1 et 2 (gauche vers droite) : applicateurs de produits phytosanitaires porteurs d'EPI

Caractéristiques structurales et écologiques des populations de quelques espèces d'arbres à valeur commerciale des forêts classées de Sota et de Wari-Marô au Bénin

Nicolas Atchade Samuel

Cossi Jean Ganglo

Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques,
Laboratoire des Sciences Forestières, Abomey-Calavi, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n24p264](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p264)

Submitted: 03 February 2025

Accepted: 22 August 2025

Published: 31 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Atchade Samuel, N. & Ganglo, C.J. (2025). *Caractéristiques structurales et écologiques des populations de quelques espèces d'arbres à valeur commerciale des forêts classées de Sota et de Wari-Marô au Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (24), 264.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n24p264>

Résumé

La pression anthropique accélère la dégradation des forêts béninoises, compromettant la pérennité des espèces de valeur commerciale. Au même moment, les données sur leur structure restent limitées, freinant ainsi leur conservation et gestion durable. Cette étude vise à analyser la structure des populations de quelques espèces dans les forêts du Bénin en vue de leur conservation. Elle a été menée en zone soudano-guinéenne (forêt classée Wari-Marô) et en zone soudanienne (forêt de Sota). Le diamètre de tous les arbres a été mesuré dans des placeaux de 0,25 ha installés dans ces forêts. Une analyse de correspondance détendue (DCA) suivie d'une analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les indices de valeur d'importance (IVI) ont permis de comparer la composition floristique des forêts. Les indices de diversité, les paramètres dendrométriques et les densités de régénération ont été calculés ; les structures en diamètre ont été réalisées. Au vu des indices de valeur d'importance (IVI), *Isobertia doka* et *Anogeissus leiocarpa* étaient plus importantes dans la forêt classée de Wari-Marô tandis que *Azela africana*, *Prosopis africana* et *Pterocarpus erinaceus* étaient plus importantes dans la forêt classée de Sota. *Pseudocedrela kotschy* et *Diospyros mespiliformis* avaient des indices faibles dans toutes les forêts. Au vu des irrégularités constatées dans les structures en diamètre et les densités de

régénération, des déficits seront notés à terme dans les récoltes de bois, aux diamètres d'exploitabilité respectifs des espèces.

Mots-clés: Forêts classées, Composition floristique, pression, intérêt commercial, conservation, Bénin

Structural and ecological characteristics of populations of trade tree species in the Sota and Wari-Maró forests in Benin

Nicolas Atchade Samuel

Cossi Jean Ganglo

Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques,
Laboratoire des Sciences Forestières, Abomey-Calavi, Benin

Abstract

Escalating anthropogenic pressures are degrading Benin's forests and threatening commercially valuable tree species, while limited structural data hinder conservation and sustainable management. This study aims to analyze the population structure of a few species in the forests of Benin with a view to their conservation. It was conducted in the Sudano-Guinean zone (Wari-Maró classified forest) and in the Sudanian zone (Sota forest). The diameter of all trees was measured in 0.25-ha plots located in these forests. A relaxed correspondence analysis (RCA) followed by a principal component analysis (PCA) carried out on the importance value indices (IVI) made it possible to compare the floristic composition of the forests. Diversity indices, dendrometric parameters and regeneration densities were calculated; diameter structures were made. Based on the importance value indices (IVI), *Isobertlinia doka* and *Anogeissus leiocarpa* were more important in the Wari-Maró classified forest while *Azelia africana*, *Prosopis africana* and *Pterocarpus erinaceus* were more important in the Sota classified forest. *Pseudocedrela kotschy* and *Diospyros mespiliformis* had low indices in all the forests. Based on the irregularities noted in the diameter structures and regeneration densities, the study concludes that wood deficit will be noted during tree harvests at the exploitable diameters of the respective species.

Keywords: Savannah, open forest, floristic composition, regeneration, management, Benin

Introduction

La forêt contribue à l'équilibre de la nature et du climat. Elle sert d'habitat à un grand nombre d'espèces animales et végétales, mais remplit

également de nombreuses autres fonctions notamment le contrôle de l'érosion, le stockage de l'eau, la fixation et la fertilisation du sol, l'interception et la redistribution des précipitations (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Les ressources forestières constituent la principale source d'aliments, de revenus, de médicaments et une série de biens et de services écosystémiques pour les populations rurales riveraines (FAO, 2020 ; Hounkpèvi et al., 2011 ; Rasolofoson, 2024). Mais la croissance démographique et la nécessité de favoriser le développement économique, le développement de l'exploitation forestière, l'agriculture itinérante, les feux saisonniers, le pâturage intensif et l'exploitation abusive des espèces forestières à usages multiples ont contribué à la dégradation des forêts (Ganglo & de Foucault, 2011 ; Moluh Njoya *et al.*, 2024 ; Tyukavina *et al.*, 2018). Ce qui a pour conséquences la perte de biodiversité et la raréfaction des essences de valeur commerciale qui étaient bien représentées dans les forêts du Bénin par le passé (Sinsin *et al.*, 2004). A cet effet, une gestion rationnelle et durable des ressources forestières s'avère nécessaire afin de limiter significativement cette pression qui pèse sur les ressources.

Le Bénin, est un pays à couverture forestière modeste, dominée par les savanes où l'on retrouve plusieurs espèces de valeur (Adomou *et al.*, 2010). La notion d'espèce forestière de valeur fait souvent référence à des espèces à usages multiples ayant soit une importance ethnobotanique, ou économique, soit une grande valeur de conservation (Akpona *et al.*, 2017). Avec une approche multi-critère, ces auteurs ont déterminé les 10 espèces de valeur prioritaires pour la conservation au Bénin. Parmi ces espèces, *Azela africana* Sm., *Pterocarpus erinaceus* Poir., *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. & Perr., *Pseudocedrela kotschy* (Schweinf.) Harms, *Isoberlinia doka* Craib & Stapf. sont prises en compte dans le cadre de cette étude. Les travaux de Atchadé Samuel et Ganglo (2024) ont relevé un intérêt croissant pour *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. et *Diospyros mespiliformis* Hochst. Ex A.DC. et justifient leur prise en compte dans le cadre de ce travail. *A. africana*, *P. erinaceus* et *P. africana* sont bien connus pour la qualité de leurs bois, et leurs utilisations en médecine traditionnelle, en agroforesterie, et pour l'alimentation des ruminants (Akame & Boukpepsi, 2024). *A. leiocarpa* est connu pour son importance médicinale, et sa capacité à lutter contre les pathogènes fait que son bois est résistant et très apprécié, utilisé aussi bien comme bois d'œuvre mais aussi comme bois de feu et de service (Assogbadjo *et al.*, 2010 ; Rondeux, 1999). *P. kotschy* est aussi utilisée en médecine traditionnelle, *P. kotschy* et *I. doka* sont utilisés comme bois d'œuvre et de feu (Atchadé Samuel et Ganglo, 2024, Akpona *et al.*, 2017). Quant à *D. mespiliformis*, elle est utile sur les plans médicinal et alimentaire, y compris pour les animaux frugivores et fournit un bois de très bonne qualité technologique (Atchadé Samuel et al., 2021). Avec la demande croissante des produits de ces espèces,

les méthodes traditionnelles de collecte ont progressivement laissé place à des méthodes irrationnelles si bien que les avis des experts penchent beaucoup plus pour une régression de leurs populations. En vue d'une bonne conservation des populations de ces espèces, une bonne connaissance des caractéristiques structurale et écologique est indispensable. En effet, la connaissance approfondie des caractéristiques structurales telles que la densité, la structure en diamètre et en hauteur et la répartition spatiale des populations d'espèces forestières est indispensable pour caractériser leur démographie (Herrero-Jáuregui *et al.*, 2011). Elles renseignent sur le potentiel ligneux, les problèmes éventuels de sylviculture en lien avec l'écologie et la biologie des espèces et méritent d'être étudiées plus en profondeur (Feeley & Davies, 2007; Nishimura *et al.* 2008 ; Yêhouénou-Tessi *et al.*, 2012).

Les aires protégées offrent une meilleure protection aux populations d'espèces et sont généralement ciblées pour la mise en œuvre d'actions de conservation. La présente étude a été réalisée dans la forêt classée de la Sota située dans la zone soudanienne, et dans la forêt classée de Wari-Marô située dans la zone soudano-guinéenne. En effet, ces deux forêts permettent de prendre en considération la zone de savane dans laquelle se retrouvent ces espèces s'étendant en grande partie sur la zone soudano-guinéenne et la zone soudanienne au Bénin. Quelle est la composition floristique de chacune des forêts étudiées ? Quelles sont les caractéristiques structurales des populations des espèces de valeur dans les différentes formations végétales ? Les populations des espèces de valeur sont-elles viables dans ces forêts ? Les réponses à ces questions permettront de guider les travaux d'aménagement et de gestion durable des forêts étudiées.

Matériel et méthodes

Milieu d'étude

La Forêt de la Sota (FCS) a été classée par l'arrêté n°1862/SE du 16 mai 1947. Elle s'étend entre 10°58' et 11°11' de latitude Nord et 3°03' et 3°25' de longitude Est et couvre une superficie de 53000 hectares (figure 1). Le climat est de type tropical soudanien avec une pluviosité moyenne de 967,4 mm. Les sols sont ferrugineux tropicaux mais on remarque aussi des sols minéraux-brutes. La forêt est arrosée par la Sota, un affluent du fleuve Niger en rive droite, qui lui donne son nom. Selon Zakari *et al.* (2015), la végétation est composée de forêt claire et savanes boisées (29,85%), de savanes arborées et arbustives (55,89%), de plantations (0,78%), et de mosaïques cultures et jachères (8,44%). On observe aussi les forêts galeries (4,90%) le long de certains cours d'eau. La forêt classée de Wari-Marô (FCWM) s'étend entre 8°80'-9°10' de latitude Nord et 1°55'-2°25' de longitude Est (figure 1). Elle a fait l'objet de classement le 25 novembre 1955 par arrêté n°9190 SE et couvre une superficie d'environ 120686 ha. Le climat est de type soudanien humide

avec une pluviosité moyenne de 1122 mm. Les sols dominants sont ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions, sur granites et embrêchites. La végétation y est constituée de 88% de savane arborée, 5% de forêt galerie et 7% de savane arbustive (PAMF, 2007).

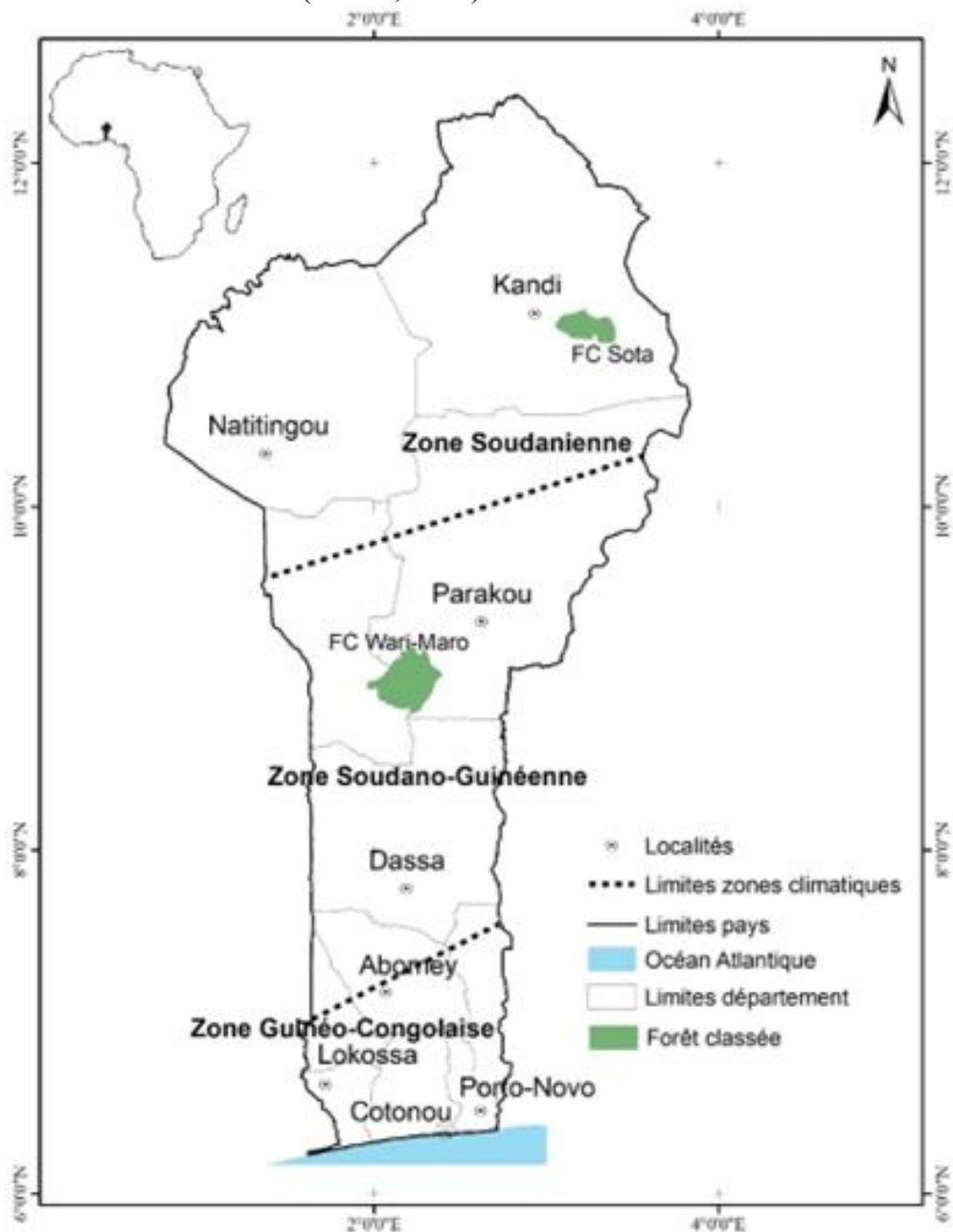


Figure 1 : Carte de situation géographique des forêts classées de Sota et de Wari-Marô

Collecte des données

Les placeaux de 50 m × 50 m ont été installés suivant un plan d'échantillonnage aléatoire. Au total, dans la FCS, 76 placeaux ont été inventoriés. Dans le cadre de ce travail, la dénomination "Forêt claire" (FC) a été attribuée à l'ensemble "Forêt claire et savane boisée", et la dénomination "Savane arborée" (SA) a été attribuée à l'ensemble "Savane arborée et savane arbustive". En effet, selon Sokpon *et al.* (2006), le terme forêt claire dans son sens élargi, incluait des formations voisines comme la forêt dense sèche et la savane boisée. Dans la FCWM, au total 72 placeaux ont été installés de façon aléatoire. A l'intérieur de chaque placeau, les mesures de diamètre à 1,30 m au-dessus du sol (dbh) et de hauteur des arbres de dbh supérieur ou égal à 10 cm ont été faites respectivement à l'aide du ruban π et du clinomètre Suunto. Afin d'évaluer la densité de régénération, trois (03) placettes de 10 m x 10 m ont été implantées suivant une diagonale dans chaque placeau (Dessard & Bar-Hen, 2004). Un dénombrement de la régénération (dbh < 10 cm) a été réalisé, ce qui nous a permis d'estimer la régénération au niveau des espèces de valeur. Trois classes de régénération ont été prises en compte (Feeley & Davies, 2007 ; Sokpon, 1995) : plantules (dbh < 1 cm) ; juvéniles (dbh: 1 cm ≤ dbh < 5 cm) ; jeunes arbres (5 cm ≤ dbh < 10 cm).

Traitement des données

Pour discriminer la composition floristique des formations végétales, une matrice de Présence-Absence a été réalisée et soumise à une DCA (Detrended Correspondance Analysis) grâce au package *vegan* dans le logiciel R. Les paramètres floristiques que sont la *richesse spécifique*, l'*indice de Shannon* et l'*équitabilité de Pielou* ont été ensuite calculés pour chaque formation végétale. La richesse spécifique a été déterminée en mettant ensemble tous les placeaux tandis que les indices de Shannon et d'équitabilité de Pielou ont été calculés par placeau et la moyenne a été déterminée pour chaque formation. Afin de déterminer l'importance des espèces, l'Indice de Valeur d'Importance (IVI) a été calculé de la manière suivante pour chaque espèce x : $IVI_x = RD_x + RF_x + RC_x$ (4). Sa valeur est comprise entre 0 et 3 et traduit le niveau d'importance de l'espèce dans la formation végétale considérée. Les IVI des espèces des 3 formations végétales ont été soumises à une ACP, ce qui a permis de déterminer dans chaque formation, les espèces les plus importantes.

Les paramètres dendrométriques tels que la *densité*, la *surface terrière*, *contribution en surface terrière* de chaque espèce, le *diamètre quadratique moyen* et la *hauteur moyenne de Lorey* ont été calculés par placeau et la moyenne a été déterminée pour chaque formation. Les structures en diamètre des populations des espèces de valeurs ont été réalisées pour décrire leur abondance relative par classe de diamètre. Le coefficient d'asymétrie (g_1) qui

est une comparaison de la proportion relative de petits et grands arbres (Ganglo & de Foucault, 2006), a été calculé. La densité moyenne de la régénération a été calculée pour chaque espèce de valeur et par classe de régénération dans les formations végétales. La comparaison des moyennes a été faite grâce au test d'ANOVA suivi du test de Student-Newman-Keulhs (SNK) lorsque les données suivent une distribution normale. Dans le cas contraire le test non paramétrique de Kruskal-Wallis suivi du test de Mann-Whitney a été appliqué.

Résultats

Composition floristique des formations végétales

Dans la forêt de la Sota, 63% des placeaux sont installés en forêt claire et savane boisée (FC_FCS), et 37% en savane arborée et arbustive (SA_FCS). Quant à la forêt de Wari-Marô, toutes les placettes sont en "Savane arborée" (SA). L'analyse du plan factoriel issu de la DCA (figure 2) montre que la dimension 1 sépare les placeaux de la FCS de ceux de la FCWM. De la partie négative vers la partie positive, on retrouve successivement les placeaux de la FC_FCS, ensuite ceux de la SA_FCS et ceux de la SA_FCWM.

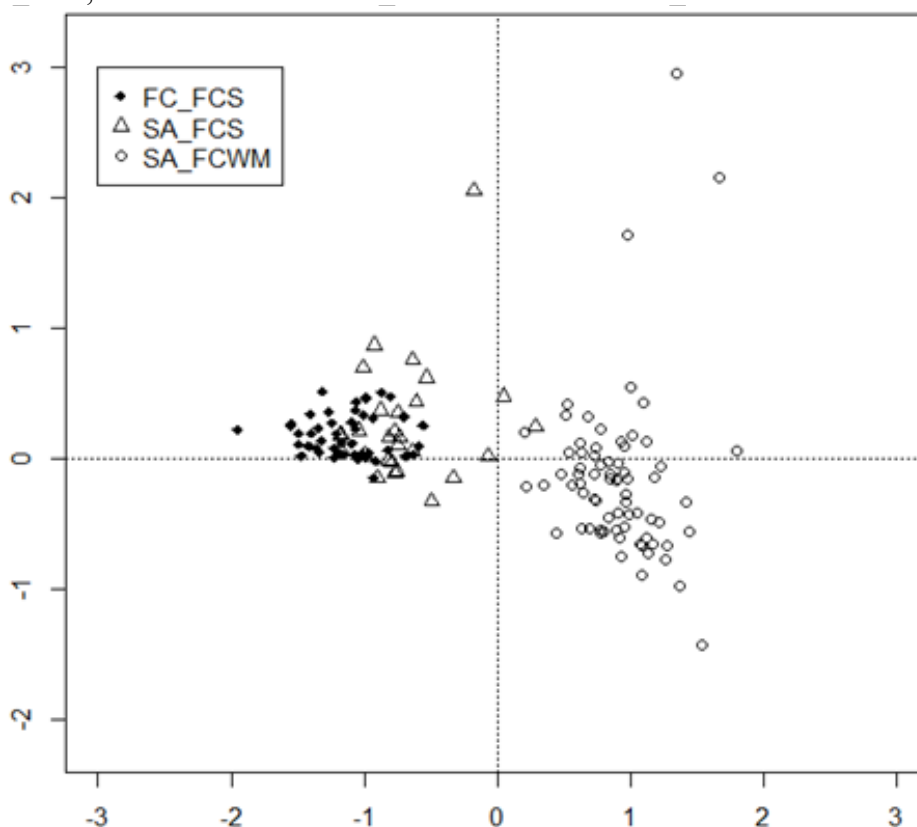


Figure 2 : Discrimination des placeaux sur le plan factoriel en fonction de leur composition spécifique

L'analyse en composantes principales des IVI a permis de classer les espèces en quatre groupes (figure 3) compte tenu de leur importance relative dans chaque formation végétale. La dimension 1 oppose les groupes 1 et 2 constitués respectivement des espèces à IVI élevé (*Vitellaria paradoxa* et *Burkea africana*) et du groupe 2 des espèces à IVI faible (*Monotes kerstingii*, *Ceiba pentandra*, *Pseudocedrela kotschy*, *Diospyros mespiliformis*) dans les 3 formations végétales. La dimension 2 oppose le groupe 3 des espèces à IVI élevés dans la SA_FCWM (*Daniellia oliveri*, *Isobertinia doka*, *Parinari polyandra*, *Anogeissus leiocarpa*, *Pericopsis laxiflora*) et celui des espèces à IVI élevé dans la FC_FCS (*Detarium microcarpum*, *Crossopteryx febriguga*, *Terminalia avicennioides*, *Azelia africana*, *Prosopis africana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Parkia biglobosa*). Les espèces de la SA_FCS à IVI élevé se retrouvaient en partie au sein du groupe 4 et en partie au sein du groupe 3.

[illegible]

www.eujournal.org

Tableau 1 : Diversité floristique des formations végétales

Formations végétales	Richesse spécifique	Indice de Shannon		Equitabilité de Pielou	
		Moyenne	CV%	moyenne	CV%
Forêt claire, FC Sota	37	2,90	14,53	0,83	8,85
Savane arborée et arbustive, FC Sota	55	3,04	17,92	0,84	8,42
Savane arborée, FC Wari-Maró	63	2,95	15,86	0,83	9,66
Prob.	-	0,266		0,438	

Caractéristiques structurales des populations des espèces de valeur

Lorsqu'on considère toutes les espèces ensemble, il a été noté une différence significative entre les formations du point de vue du diamètre moyen, de la surface terrière et de la hauteur (tableau 2, $p \geq 0,05$). Le diamètre moyen et la surface terrière étaient nettement plus élevés dans la savane arborée (25,6 cm et 9,39 m²/ha) que dans la forêt claire (17,2 cm et 4 m²/ha ; $p < 0,05$). La hauteur de Lorey était plus faible dans la savane arborée. *A. africana*, *P. africana* et *P. erinaceus* sont les seules espèces présentes dans les trois formations végétales considérées. Leurs densités étaient généralement comprises entre 8 et 10 arbres/ha pour un diamètre moyen entre 20 et 30 cm. Leurs surfaces terrières étaient généralement en dessous de 0,6 m²/ha, mais dans les placeaux ils contribuaient de façon très variable à la surface terrière : 14 à 25% pour *A. africana* ; 10 à 20% pour *P. africana* ; et pour *P. erinaceus*, 20% dans la FC_FCS et la SA_FCS mais 9% dans la SA_FCWM. *I. doka* était trois fois plus abondant dans la SA_FCWM que dans la SA_FCS ($p \leq 0,05$) avec une importante surface terrière (1,27 à 2,20 m²/ha). *A. leiocarpa* était observée seulement dans la SA_FCWM, il en est presque de même pour *D. mespiliformis* et *P. kotschy*, chacune observée en plus de la SA_FCWM dans un seul placeau de la SA_FCS. La surface terrière de *A. leiocarpa* et *D. mespiliformis* sont relativement élevés (> 1 m²/ha) grâce respectivement au nombre d'individus pour la première espèce et aux gros arbres de la seconde espèce. La surface terrière de *P. kotschy* était faible et le nombre d'individu est de 11 arbres/ha. Les structures en diamètre sont présentées par les figures 4 à 9. La figure 4 montre que la structure en diamètre de la FC_FCS était similaire à celle de la SA_FCS et ces deux structures différaient de celle de la SA_FCWM (Khi deux = 54,956 ; DL = 4 ; $p = 0,000$). Les arbres de 10 à 20 cm de diamètre étaient plus abondants dans les deux premières formations (141 à 147 arbres/ha contre 92 arbres/ha), tandis que les arbres de 20 à 40 cm y étaient moins abondants (29 à 43 arbres/ha contre 88 arbres/ha). Ces structures présentent une allure décroissante caractérisant des peuplements multi-spécifiques d'âges multiples (figure 4a). Dans les structures en diamètre des espèces (figure 5 à 9), on remarque une faible densité d'arbres dans les

classes, au maximum 4 à 6 arbres à l'hectare. La plupart des distributions sont irrégulières avec une variation de la densité d'arbres d'une classe à une autre sans tendance claire, sauf pour *A. africana* dont la structure est en forme de cloche.

Tableau 2 : Paramètres dendrométriques des espèces de valeur en fonction des formations végétales

Espèce	Formation	Densité (m ² /ha)		Diamètre moyen (cm)		Surface terrière (m ² /ha)		Hauteur de Lorey (m)		Contribution surface terrière (%)	
		m	CV%	m	CV%	m	CV%	m	CV%	m	CV%
Global	FC_FCS	172	31,13	17,2a	13,03	4,00a	39,95	9,6ab	12,28	-	-
	SA_FCS	194	25,27	19,8b	21,11	5,98b	47,09	10,1b	23,99	-	-
	SA_FCWM	191	40,02	25,6c	18,88	9,39c	35,09	9,2a	16,56	-	-
<i>Azelia africana</i>	FC_FCS	8	40,82	29,9	48,28	0,65	86,41	9,8	13,46	25,23	67,61
	SA_FCS	10	64,06	25,6	21	0,51	78,48	9,9	32,56	16,7	68,01
	SA_FCWM	9	34,99	25,5	45,82	0,60	85,61	8,5	24,19	14,67	80,09
<i>Anogeissus leiocarpa</i>	FC_FCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SA_FCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SA_FCWM	20	94,08	27,1	37,62	1,37	103,59	10,0	28,94	29,35	112,26
<i>Diospyros mespiliformis</i>	FC_FCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SA_FCS	4	-	29,0	-	0,26	-	8	-	7,48	-
	SA_FCWM	7	46,48	44,7	34,82	1,03	56,54	10,9	19,12	19,7	46,24
<i>Isoberlinia doka</i>	FC_FCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SA_FCS	9a	59,27	28,5	74,4	1,27	153,61	10,7	44,62	28	127,05
	SA_FCWM	27b	76,28	32,0	23,14	2,20	83,6	10,7	19,64	48,45	77,67
<i>Prosopis africana</i>	FC_FCS	10	124,03	21,3	27,09	0,42	142,23	10,4	22,31	19,13	143,28
	SA_FCS	11	63,7	20,1	28,52	0,39	100,15	8,3	14,18	16,82	93,08
	SA_FCWM	9	64,18	25,4	31,52	0,46	91,64	9,5	25,14	10,76	71,41
<i>Pseudocedrela kotschy</i>	FC_FCS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SA_FCS	4	-	23,6	-	0,17	-	8	-	4,95	-
	SA_FCWM	11	119,29	25	34,73	0,53	100,65	9,2	29,3	10,56	91,18
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	FC_FCS	8	57,74	23,5	33,38	0,37	82,38	10,8	20,9	19,08b	87,51
	SA_FCS	10	69,28	25,5	36,43	0,60	96,09	11,7	79,75	20,48b	84,95
	SA_FCWM	8	60,76	26,6	32,77	0,43	59,88	9,3	28,37	9,01a	45,23

FC_FCS = Forêt claire dans la forêt de Sota ; SA_FCS = Savane arborée et arbustive dans la forêt de Sota ; SA_FCWM : Savane arborée dans la forêt de Wari-Marou ; Les valeurs accompagnées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% ; l'ordre de grandeur des lettres est comme suit : $a < b < c$.

D'une façon générale et pour la plupart des espèces, la régénération n'a été observée que dans un plateau et/ou dans une formation végétale ; c'est ce qui explique le non-calcul des coefficients de variation. Il n'y avait pas de différence significative entre les formations là où les tests de comparaison étaient possibles. La régénération de *A. africana* était quasi-rare dans les formations, et limitées à la première classe de régénération dans un seul plateau dans chaque formation (Tableau 3). Les espèces *A. leiocarpa*, *D. mespiliformis*, *I. doka*, *P. kotschy* et *P. erinaceus* avaient une régénération

abondante, seulement dans la SA_FCWM. *P. africana* était la seule espèce ayant une abondante régénération dans les 3 formations.

Tableau 3 : Densité de régénération des espèces de valeur dans les formations végétales

Espèces	Formation	dbh<1 cm		10 cm ≤ dbh < 5 cm		5 cm ≤ dbh < 10 cm	
		m	CV%	m	CV%	m	CV%
<i>Azelia africana</i>	FC	33	-	-	-	-	-
	SAA	67	-	-	-	-	-
	SA	33	-	-	-	-	-
<i>Anogeissus leiocarpa</i>	FC	33	-	-	-	-	-
	SAA	-	-	-	-	-	-
	SA	643	181	206	146	161	193
<i>Diospyros mespiliformis</i>	FC	-	-	33	-	-	-
	SAA	-	-	-	-	33	-
	SA	74	177	79	224	48	276
<i>Isoberlinia doka</i>	FC	-	-	-	-	-	-
	SAA	-	-	-	-	-	-
	SA	156	65	122	88	122	173
<i>Prosopis africana</i>	FC	108	46	23	190	23	190
	SAA	152	77	26	255	4	300
	SA	144	101	48	118	22	218
<i>Pseudocedrela kotschy</i>	FC	-	-	-	-	-	-
	SAA	-	-	-	-	-	-
	SA	324	114	100	133	80	214
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	FC	100	-	-	-	20	224
	SAA	-	-	-	-	-	-
	SA	109	67	21	145	12	254

NB : "-" = absence de valeur

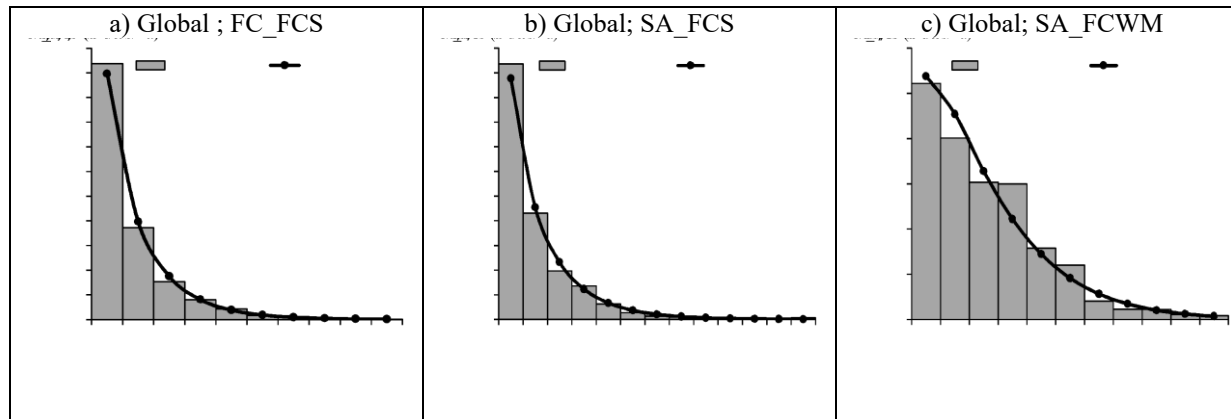


Figure 4 : Distribution par classes de diamètre des arbres dans les formations des forêts étudiées

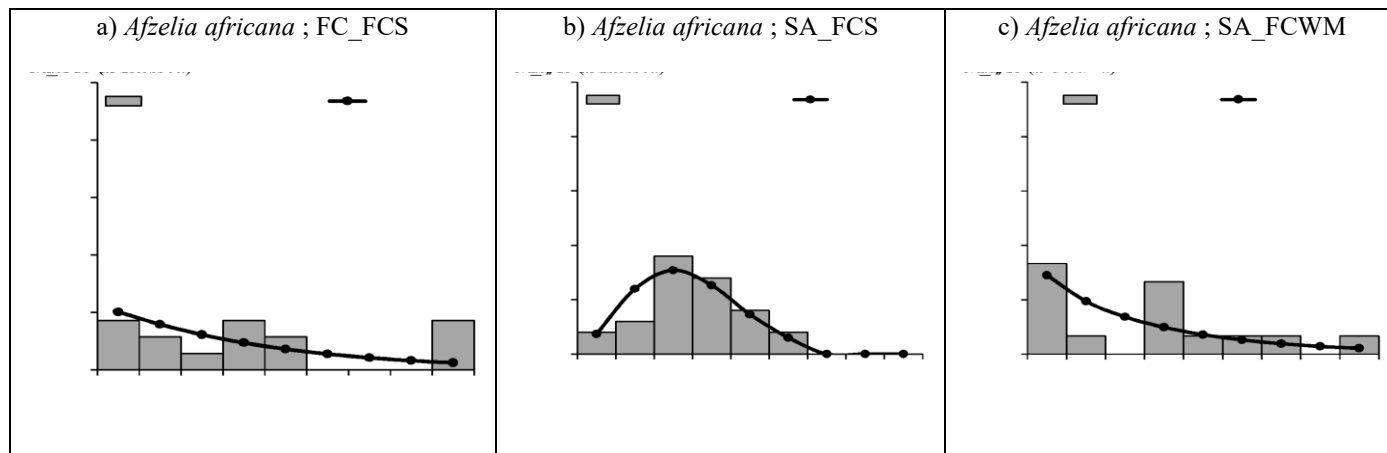


Figure 5 : Distribution par classes de diamètre des arbres de *Afzelia africana* dans les formations des forêts étudiées

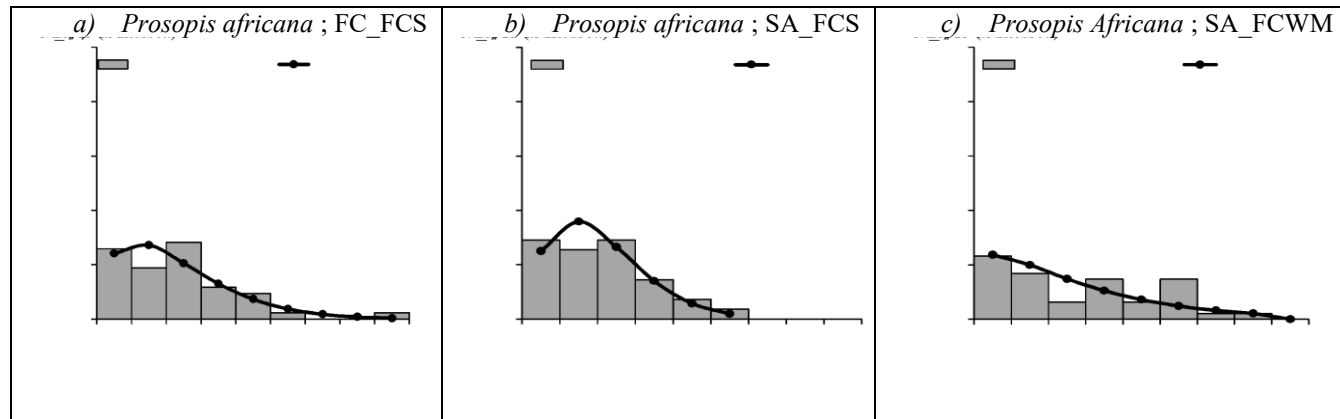


Figure 6 : Distribution par classes de diamètre des arbres de *Prosopis Africana* dans les formations des forêts étudiées

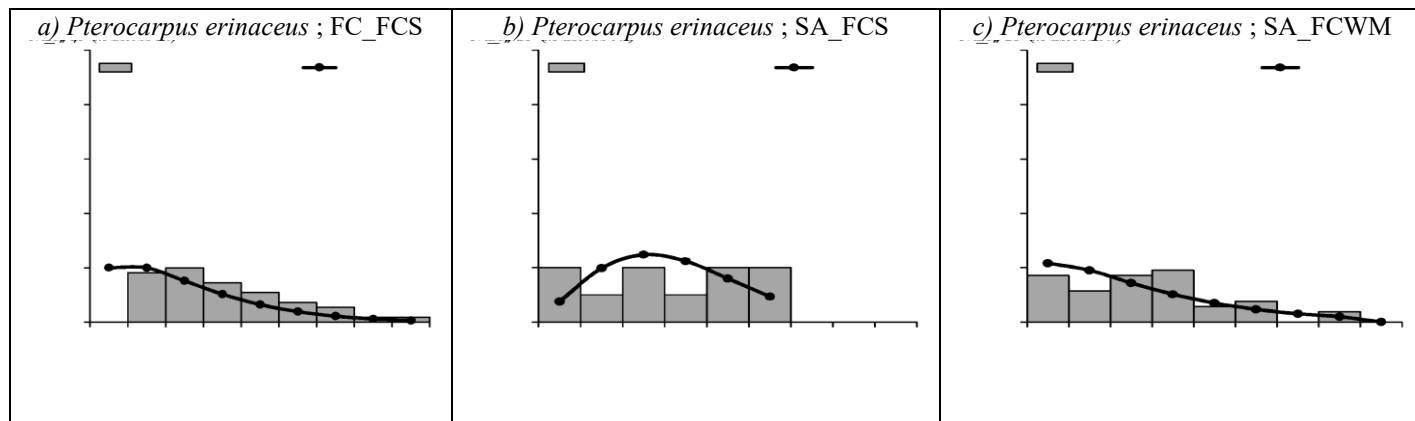


Figure 7 : Distribution par classes de diamètre des arbres de *Pterocarpus erinaceus* dans les formations des forêts étudiées

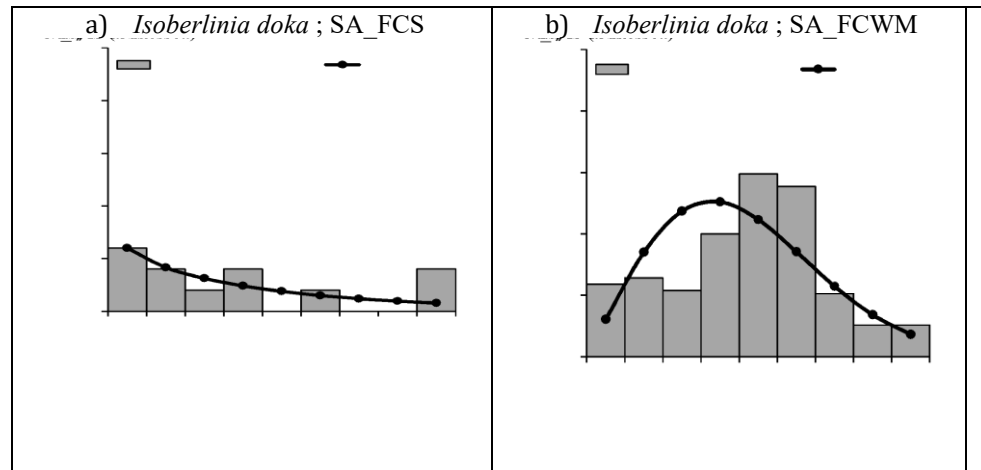


Figure 8 : Distribution par classes de diamètre des arbres de *Isoberlinia doka* dans les formations des forêts étudiées

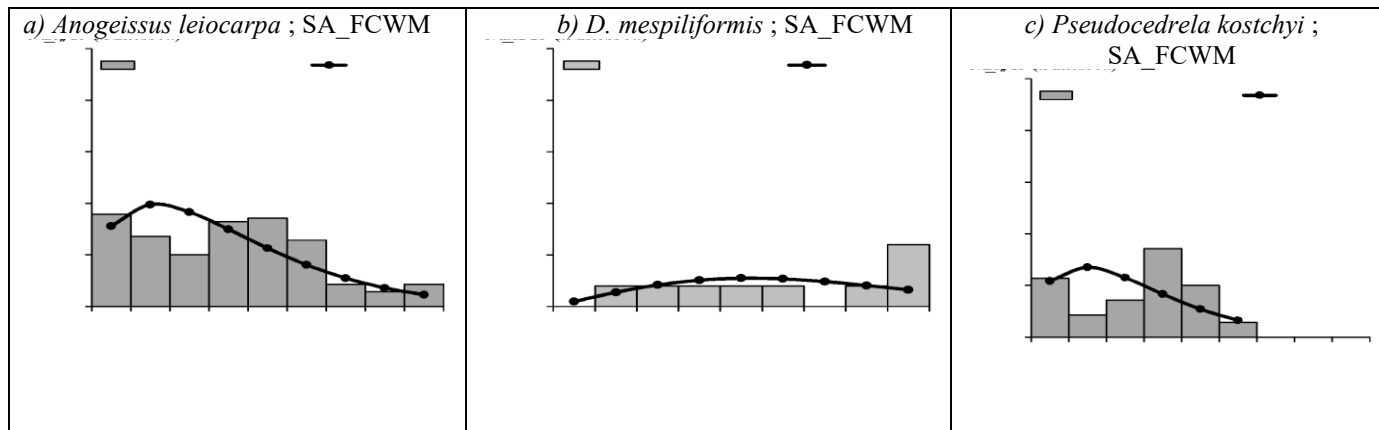


Figure 9 : Distribution par classes de diamètre des arbres de *Anogeissus leiocarpa* , *D. mespiliformis*, *Pseudocedrela kostchyi* dans SA_FCWM

Discussion

Composition floristique et paramètres dendrométriques des formations végétales

La composition floristique variait d'une formation végétale à une autre. La composition floristique de la FC_FCS était complètement différente de celle de la SA_FCWM. On dénombre dans la SA_FCWM, 41 espèces ne se retrouvant pas dans la FC_FCS. De même, on dénombre 15 espèces de la FC_FCS qui ne se retrouvent pas dans la SA_FCWM. Celles-ci ont des IVI élevées dans FC_FCS ont des IVI faibles dans la SA_FCWM. De même, *D. oliveri*, *I. doka*, *P. polyandra*, *A. leiocarpa*, *P. laxiflora* ont des IVI élevées dans la SA_FCWM et des IVI faibles dans la FC_FCS. La composition de la SA_FCS était intermédiaire. On note plus d'espèces dans la SA_FCWM comparativement aux autres formations. Ceci peut être lié à l'écologie des espèces qui pour la plupart, trouvent certainement leurs préférences stationnelles dans la FCWM. En effet, selon Assédé *et al.* (2023), les caractéristiques écologiques et les types de sol jouent un rôle crucial dans la distribution des associations végétales.

Les savanes arborées de cette étude sont plus riches en espèces que celle de la forêt classée de Goungoun (33 espèces) située au Nord Bénin, à cheval sur les communes de Kandi, Malanville et de Ségbana (Mazo *et al.*, 2020). Du point de vue diversité, on remarque que les savanes arborées de notre étude ont une diversité voisine de celles des savanes de la forêt de Dinderesso et de la forêt classée de Goungoun. Dans les savanes de la forêt de Dinderesso, l'indice de Shannon était compris en 3,16 et 4,50 bits et l'équitabilité de Pielou entre 0,73 et 0,87 (Zampaligre *et al.*, 2020). Dans la forêt de Goungoun, l'indice de Shannon était compris en 2,26 et 2,87 bits et l'équitabilité de Pielou entre 0,81 et 0,85 (Mazo *et al.*, 2020).

La densité des arbres était comprise entre 172 et 194 arbres/ha. Ces valeurs sont relativement faibles comparativement aux 225 tiges/ha observées par (Glèlè Kakaï & Sinsin, 2009) en savane arborée de la FC Wari-Marô. Les densités étaient encore plus faibles que celles des formations à *A. leiocarpa* étudiées par (Assogbadjo *et al.* 2010) dans la forêt de Wari-Marô. La surface terrière de la SA_FCWM était presque le double des surfaces terrières des formations végétales de la FCS. Cela peut être lié aux conditions climatiques des deux forêts. En effet, la pluviométrie dans la zone soudano-guinéenne où est localisé la FCWM est meilleure que celle de la zone soudanienne qui abrite la FCS. Ce qui s'assimile bien aux résultats de Idrissou *et al.* (2020) qui ont démontré que les gradients climatiques, notamment les variations de température et de précipitations, jouent un rôle crucial dans la distribution des espèces. Par ailleurs, les surfaces terrières dans la FCWM sont similaires à celles de Glèlè Kakaï & Sinsin (2009) dans les formations végétales de la FCWM mais plus faibles que les surfaces terrières trouvées par Assogbadjo *et*

al. (2010). Nous suggérons que les deux forêts sont soumises à des pressions anthropiques qui affectent le potentiel ligneux, mais que la pression était plus importante dans la FCS que dans la FCWM. On observe aussi que les formations végétales de la FCS ont des diamètres inférieurs à celles de la FCWM. Ainsi, on suggère que les prélèvements affectent les grands arbres dans ces différentes forêts. Quand on considère les espèces de valeur, la densité et la surface terrière d'*A. africana* sont trop faibles par rapport aux résultats de Fandohan *et al.* (2008) qui ont inventorié 142 arbres/ha, pour une surface terrière de 7,9 m²/ha et un diamètre moyen de 27 cm. La même tendance est observée pour les autres espèces. Glèlè Kakaï & Sinsin (2009) ont inventorié 78 à 90 arbres de *I. doka* par hectare pour des surfaces terrières de plus 5 m²/ha. Assogbadjo *et al.* (2010) ont inventorié environ 110 arbres/ha pour une surface terrière de 10 m²/ha dans les formations végétales à dominance d'*A. leiocarpa* et soumises à de faibles niveaux de pressions anthropiques. Dans cette étude, la densité d'*I. doka* était inférieure à 27 arbres/ha pour une surface terrière de moins de 2 m²/ha. Celle de *A. leiocarpa* était d'environ 20 arbres/ha pour une surface terrière comprise entre 1 et 3 m²/ha. La différence avec les données actuelles peut être liée au fait que ces espèces subissent une exploitation abusive tel que le suggèrent Agbani *et al.* (2018) ou encore Boubou Madja *et al.* (2023). Selon ceux-ci, une forte pression peut entraîner une diminution du diamètre moyen et de la hauteur des arbres, affectant ainsi la structure globale de la forêt. Ces différences peuvent cependant être aussi liées au fait que les placeaux n'aient pas été installés dans des peuplements à dominance de ces différentes espèces, ou plutôt que les fortes qualités technologiques de ces espèces font qu'elles sont vraiment exploitées et laissent place à d'autres espèces secondaires. Entre les formations végétales, aucune différence significative n'a été notée pour les paramètres dendrométriques des espèces cibles. On ne peut donc pas conclure de l'impact d'un gradient climatique sur les paramètres dendrométriques de ces espèces.

Viabilité des populations d'espèces de valeur

L'étude du regroupement des tiges par classe de diamètre présente un grand intérêt en aménagement forestier car elle est une expression de la structure du peuplement. La forme classique de la structure d'un peuplement inéquienne ou multispécifique non dégradé est caractérisée par une fréquence élevée de jeunes individus dans les petites classes de diamètre et une diminution progressive des individus au fur et à mesure que le diamètre devient grand (Glèlè Kakaï & Sinsin, 2009). On note une allure globalement décroissante pour toutes les formations végétales étudiées dans ce travail. Il y avait plus de petits arbres dans la FCS comparativement à la FCWM, tandis qu'il y avait plus de grands arbres dans la FCWM. Lorsque les espèces sont

prises individuellement, on remarque de façon classique une allure globalement décroissante pour les espèces qui tolèrent l'ombre et une allure généralement en forme de cloche pour les espèces exigeantes en lumière (Geldenhuys, 1992 ; Sokpon, 1995). Assogbadjo *et al.* (2010) ont observé une structure en forme de J-renversée pour les populations d'*A. leiocarpa*, avec une abondance des individus de 10 à 40 cm. Des structures similaires ont été observées par Glèlè Kakaï & Sinsin (2009). Ici, la faible densité, généralement ≤ 10 arbres/ha, constatée pour les espèces dans les formations végétales ne permet pas d'apprécier vraiment la dynamique de leurs populations. L'utilisation du coefficient d'asymétrie combiné à l'étude de la régénération permet de voir la distribution des arbres en deux grandes catégories que sont : les grands arbres ou les semenciers, et les petits arbres et la régénération destinés à assurer le renouvellement dans la population (Feeley & Davies, 2007). *A. africana*, *A. leiocarpa*, *D. mespiliformis* et *P. kotschy* avaient des coefficients d'asymétrie supérieur à 0, traduisant une prédominance des arbres de faibles diamètres dans leur sous-populations. Les sous-populations de *A. africana* sont caractérisés en plus d'une quasi-inexistence de la régénération, ce qui pose un problème de recrutement à long-terme dans toutes les formations. Les trois autres espèces avaient une bonne régénération dans la SA_FCWM, ce qui permet de conclure sur l'existence d'un bon potentiel de renouvellement dans cette formation, mais une difficulté à s'établir dans la SA_FCS et la FC_FCS. Dans les SA_FCWM, les sous-populations de *I. doka*, *P. africana* et *P. erinaceus* sont caractérisés par une prédominance des petits arbres et une bonne régénération. Cela suggère un bon potentiel de renouvellement de leurs sous-populations. Dans les autres formations, leurs sous-populations sont caractérisées par une prédominance des grands arbres, et une faible régénération, sauf pour *P. africana* qui a une bonne régénération dans toutes les formations. Ainsi, les sous-populations de *I. doka* et *P. erinaceus* auront des problèmes de renouvellement à long terme si aucune mesure d'aménagement n'est prise. Comparativement aux autres études, les densités de régénération obtenues au cours de ce travail sont faibles. Glèlè Kakaï & Sinsin (2009) ont enregistré des densités de l'ordre du millier pour *I. doka* dans les forêts de Wari-Marô. La faible densité de semenciers peut expliquer les faibles densités de semis obtenus pour la plupart des espèces. Les potentiels de régénération varient vraiment en fonction des espèces dans les différentes formations végétales. Un bon potentiel de jeunes arbres existe pour *A. leiocarpa* (FCWM) et *P. africana* (FCS et FCWM). Il n'en est pas de même pour les autres espèces. Les coefficients de variation très élevé traduisent la variabilité dans la distribution de la régénération (Atchadé Samuel, 2014). Compte tenu de leurs valeurs d'importances dans les différentes forêts, de la dynamique de leurs populations, des interventions sylvicoles doivent être menées pour assurer un bon renouvellement et une bonne accumulation dans

les sous-populations de ces espèces. Les mesures ne peuvent se faire sans une participation et une bonne sensibilisation des populations riveraines.

Conclusion

L'analyse de la structure des populations des espèces de valeur dans les forêts du Bénin selon un gradient climatique a été menée dans la forêt classée Wari-Marô (zone soudano-guinéenne) et dans la forêt classée de la Sota (zone soudanienne). Par rapport aux espèces de valeur cibles, *Isoberlinia doka* et *Anogeissus leiocarpa* étaient plus importantes dans la forêt classée de Wari-Marô tandis que *Azelia africana*, *Prosopis africana* et *Pterocarpus erinaceus* étaient plus importantes dans la forêt classée de Sota. *Pseudocedrela kotschy* et *Diospyros mespiliformis* avaient des indices de valeur d'importance (IVI) faibles dans toutes les forêts. Même si aucune différence significative n'a été notée entre les forêts pour les paramètres dendrométriques, il a été noté qu'à long terme, des déficits seront notés dans les récoltes de bois, aux diamètres d'exploitabilité respectifs des espèces. Des interventions sylvicoles comme l'enrichissement sont à faire pour augmenter la densité de chacune de ces espèces en forêt et pour assurer leur viabilité à court, moyen et long terme.

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.

References:

1. Adomou, A.C., Sinsin, B., Akoégninou, A.A., & van der Maesen, J. (2010). Plant species and ecosystems with high conservation priority in Benin. In: van der Burgt X., van der Maesen J. & Onana J.-M. (eds). Systematics and Conservation of African Plants, Royal Botanic Gardens, 429–444.
2. Agbani, P.O., Amagnide A., Goussanou, C., Azihou, F., & Sinsin, B. (2018). Structure des peuplements ligneux des formations végétales de la forêt sacrée de Nassou en zone soudanienne du Bénin. Int. J. Biol. Chem. Sci. 12(6): 2519-2534. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i6.5>
3. Akame, L., & Boukpepsi, T. (2024). Incidence de l'exploitation forestière et fourragère sur la dynamique structurale de *Prosopis africana* (Gill. & Perr.) Taub., de *Pterocarpus erinaceus* Poir., et de

- Afzelia africana* Smith ex Pers., dans la commune de Kéran 1 au Nord-Togo. *European Scientific Journal, ESJ*, 20(20), 110. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n20p110>
4. Akpona, J.D.T., Assogbadjo, A.E., Fandohan, A.B., & Glele Kakaï, R. (2017). Inventory and multicriteria approach to identify priority commercial timber species for conservation in Benin. *Bois et Forêts des Tropiques*, 333(3): 5-16.
 5. Assédé, E.S.P., Biaou, S.S.H., Azihou, A.F., Orou, H., Geldenhuys, C.J., & Chirwa, P.W. (2023). Trees response to selective thinning and pruning in Sudanian woodland zone. *Front. For. Glob. Change* 6:1108323. doi: 10.3389/ffgc.2023.1108323
 6. Assogbadjo, A.E., Glèlè Kakaï, R.L., Sinsin, B., & Pelz, D. (2010). Structure of *Anogeissus leiocarpa* Guill., Perr. Natural stands in relation to anthropogenic pressure within Wari-Marô Forest Reserve in Benin. *Afr. J. Ecol.*, 48, 644–653
 7. Atchadé Samuel, N. (2014). Caractéristiques structurale, écologique et ethnobotanique de la population de *Diospyros mespiliformis* Hochst. Ex A.DC. (Ebenaceae) dans la forêt classée de Wari-Marô (Nord-Bénin). Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master Professionnel Gestion des Ressources Naturelles et de la Biodiversité, Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques. 75p
 8. Atchadé Samuel, N., Koura, K., & Ganglo, C.J. (2021). "Ethnobotanical assessment of *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A.DC (Ebenaceae) in the classified forest of Wari-Marô (Sudano-guinean area of Benin, West Africa)". *Ethnobotany Research and Applications*, 22 (2021) 1 - 12. Retrieved from <https://ethnobotanyjournal.org/index.php/era/article/view/2739>
 9. Atchadé Samuel, N. & Ganglo, C.J. (2024). Caractéristiques ethnobotaniques de quelques espèces d'arbres à usages multiples des forêts classées de Wari-Marô et Sota au Bénin. *Afrique SCIENCE* 25(2) (2024) 1 - 24
 10. Bounou Madja, R., Morou, B., Idrissa, I., Moussa, S., & Mahamane, A. (2023). Caractéristiques dendrométriques et structurales des ligneux fourragers en zone sahélo - soudanienne : cas de *Maerua crassifolia* Forssk. *Afrique SCIENCE* 23(5) (2023) 81 – 93.
 11. Dessard, H., & Bar-Hen, A. (2004). Experimental Design for spatial sampling applied to the study of tropical forest regeneration. *Canadian Journal of Forest Research*, 35:5, 1149-1155
 12. Dossou, M.E., Lougbégnon, O.T., Houessou, G.L., Téka, S.O., & Tenté, A.H.B. (2012). Caractérisation phytoécologique et structurale des groupements végétaux de la forêt

- marécageuse d'Agonvè et de ses milieux connexes au Sud-Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 53: 3821 – 3830
13. Fandohan, B., Kakai Glèlè, R., Sinsin, B., & Pelz, D. (2008). Caractérisation dendrométrique et spatiale de trois essences ligneuses médicinales dans la forêt classée de Wari-Marou au Bénin. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 12: 173 – 186.
 14. FAO. (2020). *Global forest resources assessment 2020: Main report*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
 15. Feeley, K., & Davies, S.J. (2007). Do current stem size distribution predict future population changes? An empirical test of intraspecific patterns in tropical trees at two spatial scales. *Journal of Tropical Ecology*, 23 : 191-198.
 16. Ganglo, J.C., & de Foucault, B.D. (2006). Plant communities, forest site identification and classification in Toffo reserve, South-Benin, *Bois et Forêts des Tropiques*, 288 (2) : 25 – 38
 17. Geldenhuys, C.J. (1992). The use of diameter distributions in sustained-use management of forests: Examples from Southern Africa. *Proceedings of an International Symposium*, Victoria Falls, Zimbabwe, 27-29 July 1992. Zimbabwe Forestry Commission and SAREC, Harare, 154-167
 18. Glèlè Kakai, R., & Sinsin, B. (2009). Structural description of two *Isoberlinia* dominated vegetation types in the Wari-Marou Forest Reserve (Benin). *South African Journal of Botany*, 75 : 43–51
 19. Herrero-Jáuregui C., García-Fernández C., Sist P.L.J., & Casado M.A. (2011). Recruitment dynamics of two low-density neotropical multiple-use tree species. *Plant Ecology*, 212 (9) : 1501-1512.
 20. Hounkpèvi, A., Yévidé, A.S.I., Ganglo, J.C., Devineau, J.L., Azontonde, A.H., Adjakidje, V., Agbossou, E.K., & de Foucault, B. (2011). Structure et écologie de la forêt à *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A.DC. et à *Dialium guineense* Willd. de la réserve de Massi (La Lama), Bénin. *Bois et forêts des tropiques*, 308 (2) : 33-46
 21. Idrissou, Y., Mama Sambo Seidou, Y., Assani Seidou, A., Sanni Worogo, H., Assogba, B. G. C., Alkoiret Traoré, I., & Houinato, M. (2020). Influence du pâturage et du gradient climatique sur la diversité floristique et la productivité des parcours naturels au Bénin. *Revue d'élevage Et De médecine vétérinaire Des Pays Tropicaux*, 73(3), 161–167. <https://doi.org/10.19182/remvt.31894>
 22. Mazo, I., Zakari, S., & Toko Imorou, I. (2020). Diversité et structure de la végétation ligneuse dans la forêt classée de Goungoun et ses terroirs riverains au Nord-Bénin. *Revue de Géographie du Bénin*, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 27 : 4 - 27

23. Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC, 156p.
24. Moluh Njoya, H., Hounkpati, K., Adjonou, K., Kokou, K., Sieber, S., & Löhr, K. (2024). Socioeconomic analysis of deforestation and economically sustainable farming systems to foster forest landscape restoration in central Togo. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, Article 1466008. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1466008>
25. Nishimura, S., Yoneda, T., Fujii, S., Mukhtar, E., & Kanzaki, M. (2008). Spatial patterns and habitat associations of Fagaceae in a hill dipterocarp forest in Ulu Gadut, West Sumatra. *Journal of Tropical Ecology*, 24 : 535-550.
26. PAMF. (2007). Plan d'Aménagement Participatif du complexe des forêts classées de Wari-Marou et des Monts Kouffé. Volume A (Partie descriptive), 267 p.
27. Rasolofoson, R. A. (2024). Access to human health benefits of forests in rural low and middle-income countries: A literature review and conceptual framework. *Challenges*, 15(1), Article 12. <https://doi.org/10.3390/challe15010012>
28. Rondeux, J. (1999). La mesure des arbres et des peuplements forestiers. *Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux*, 521 p.
29. Sinsin, B., Eyog Matig, O., Assogbadjo, A.E., Gaoué, O.G., & Sinadouwirou, T. (2004). Dendrometric characteristics as indicators of pressure of *Azelia africana* Sm. trees dynamics in different climatic zones of Benin. *Biodiversity and Conservation*, 13 : 1555–1570
30. Sokpon, N. (1995). Recherche écologique sur la forêt dense semi-décidue de Pobè au Sud-Est du Bénin : groupements végétaux, structure, régénération naturelle et chute de litière. Thèse de Doctorat, *Université Libre de Bruxelles*, p350
31. Sokpon, N., Biao, S.H., Ouinsavi, C., & Hunhyet, O. (2006). Bases techniques pour une gestion durable des forêts claires du Nord-Bénin : rotation, diamètre minimal d'exploitabilité et régénération. *Bois et forêts des tropiques*, 287 (1) : 45-57
32. Tyukavina, A., Hansen, M. C., Potapov, P., Parker, D., Okpa, C., Stehman, S. V., Turubanova, S. (2018). Congo Basin forest loss dominated by increasing smallholder clearing. *Science Advances*, 4(11), eaat2993. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat2993>
33. Yêhouénou-Tessi, D.R., Akouèhou, G.S., & Ganglo, J.C. (2012). Caractéristiques structurales et écologiques des populations de *Antiaris toxicaria* (Pers.) Lesch et de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn dans les forêts reliques du Sud-Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(6): 5056-5067

34. Zakari, S., Tente, B.A.H., Toko Imorou, I., Yabi, I., Afouda, F., & N'Bessa, B. (2015). Variabilité hydropluviométrique et dynamique de l'occupation des terres dans le bassin de la Sota à l'exutoire de Coubéri au Bénin (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 13(2): 235-250
35. Zampaligre, N., Kagambega, F.W., Zida, D., Traore, C.T., & Sawadogo, L. (2020). Composition floristique, diversité et structures des ligneux de savanes pâturées : cas de la zone sylvopastorale de Dinderesso, Burkina Faso. *Afrique Science* 16(1): 78 – 91