

European Scientific Journal, *ESJ*

July 2025

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

July 2025 edition vol. 21, No. 21

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

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

Sincerely,

Daniel B. Hier, MD

European Scientific Journal (ESJ) Natural/Life/Medical Sciences
Editor in Chief

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Robert Szucs,
University of Debrecen, Hungary

Dragica Vujadinovic,
University of Belgrade, Serbia

Pawel Rozga,
Technical University of Lodz, Poland

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

Rashmirekha Sahoo,
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Faranak Seyyedi,
Azad University of Arak, Iran

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 Olavegogeoascocoechea,
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,
College of Nursing, Qatar University, Qatar

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

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

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,
Université 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

Benie Aloh J. M. H.,
Felix Houphouet-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

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

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

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

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

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

Gibet Tani Hicham,
Abdemalek Essaadi University, Morocco

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

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

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

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

Umut Sener,
Aksaray University, Turkey

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

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

Heba Mostafa Mohamed,
Beni Suef University, Egypt

Abdul Basit,
Zhejiang University, China

Karim Iddouch,
International University of Casablanca, Morocco

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

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

Dolantina Hyka,
Mediterranean University of Albania

Yaya Dosso,
Alassane Ouattara University, Ivory Coast

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

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

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

Rafael Antonio Estevez Ramos,
Universidad Autónoma del Estado de México

Mohamed El Mehdi Saidi,
Cadi Ayyad University, Morocco

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

Murry Siyasiya,
Blantyre International University, Malawi

Benbrahim Mohamed,

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

Emmanuel Gitonga Gicharu,

Mount Kenya University, Kenya

Er-razine Soufiane,

Regional Centre for Education and Training Professions, Morocco

Foldi Kata,

University of Debrecen, Hungary

Elda Xhumari,

University of Tirana, Albania

Daniel Paredes Zempual,

Universidad Estatal de Sonora, Mexico

Jean Francois Regis Sindayihebura,

University of Burundi, Burundi

Luis Enrique Acosta Gonzzlez,

University of Holguin, Cuba

Odoziobodo Severus Ifeanyi,

Enugu State University of Science and Technology, Enugu, Nigeria

Maria Elena Jaime de Pablos,

University of Almeria, Spain

Soro Kolotcholoma Issouf,

Peleforo Gon Coulibaly University, Cote d'Ivoire

Compaore Inoussa,

Université Nazi BONI, Burkina Faso

Dorothee Fegbawe Badanaro,

University of Lome, Togo

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

Nicolas Serge Ndock,
University of Ngaoundere, Cameroon

Abebe Bahiru,
Zhejiang Normal University, China

Diana Maria Lopez Celis,
Jorge Tadeo Lozano University of Bogotá, Colombia

Fathi Zerari,
Souk-Ahras University, Algeria

Hermann Victoire Feigoudozoui,
University of Bangui, Central African Republic

Omowunmi A. Odeyomi,
North Carolina A&T State University, USA

Daniel Kon Ater,
University of Juba, Republic of South Sudan

Manasvi Hrishikesh Patil,
Dr. Vishwanath Karad MIT World Peace University, India

Steven Thomas Tumaini,
College of Business and Education, Tanzania

Table of Contents:

Impact of Metaverse Technologies Integration on Biotechnological Innovation: A Literature Review.....	1
--	----------

Amra Abazi Feta

Hiqmet Kamberaj

Alternative to the right-hand rule: Farah's method.....	18
--	-----------

Mo'ath Farah

Teaching Magnetism to Preschoolers through ICT: An Early Childhood Science Approach.....	39
---	-----------

Stavroula Skothou

Maria Trapali

Occupational Health Problems: An Assessment of the Cardiovascular Health Status of Road Construction Workers in Imo State, Nigeria.....	55
--	-----------

John Mark Bwala

Agwu Nkwa Amadi

Chimezie Christian Iwuala

Ugo Uwadiako Enebeli

Impact of Composting and Vermicomposting of Three Types of Animal Manure on the Dynamics of Macronutrients Nitrogen, Phosphorus, and Potassium.....65

Issa Ale Ndiaye

Amadou Balde

Oumar Seydi

Etienne Tendeng

Serigne Sylla

Karamoko Diarra

GIS-Based Modeling of Site Suitability and Capacity for Small Hydropower Generation in Edo State, Southern Nigeria.....78

Akpofure Miller Fakpor

Olamiposi Caleb Fagunloye

Titus Endurance Igben

Emmanuel Dada

Aspects épidémiologiques et causes des décès maternels dans le département de la Donga de 2020 à 2024.....106

Mavlyson Kolawolé Zinvokpodo

Georgia Barikissou Damien

Rousseau Christel Segbegnon Zinvokpodo

Ignace Coovi Nonwanou Tokpanoude

Josué Gildas Nical Kenet Nounon Tchilamessi

Badirou Aguemon

**Aspects diagnostiques et thérapeutiques de la fistule de l'ouraque dans un
hôpital rural peu équipé : à propos de 7 cas.....121**

Biréga Koutora

Mibirim Agbogawo

Amouki Serge Trésor Anate

Kamou Okassate Sibabi-Akpo

Kodjo Tengue

**État des connaissances sur *Borassus aethiopum* Mart. en Afrique de
l'Ouest : revue bibliométrique.....131**

Zaneidou Habou Housseini

Douma Soumana

Soumana Idrissa

Alio Sanda Abdelkader

Inoussa Maman Maarouhi

Ali Mahamane

**Effets de la diversité des sols et du niveau topographique sur l'activité
microbienne et le cycle du carbone en contexte de bas-fonds sud-
soudaniens du Burkina Faso.....153**

Bintou Céline Sanou

Daouda Guébré

Edmond Hien

Invagination intestinale chronique chez des enfants de 13 et 8 ans : cas cliniques.....172

S.M. Talboussouma

A. Folly

K.A.R. Segbedji

O-B. Tchagbele

K. Kombieni

D.F Opekou

M.A. Boume

K.D. Azoumah

Influence des facteurs environnementaux sur l'ichtyofaune de la rivière Mpieme (Kinshasa, République Démocratique du Congo).....185

Clément Munganga Kilingwa

Santos Kavumbu Mutanda

Willy Lusasi Swana

Thierry Tangou Tabou

Bekeli Mbomba Nseu

Victor Pwema Kiamfu

Impact of Metaverse Technologies Integration on Biotechnological Innovation: A Literature Review

Amra Abazi Feta

Hiqmet Kamberaj

International Balkan University, Faculty of Engineering,
Department of Computer Engineering, Skopje, R.N. Macedonia

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p1](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p1)

Submitted: 09 May 2025

Accepted: 25 July 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Feta, A.A. & Kamberaj, H. (2025). *Impact of Metaverse Technologies Integration on Biotechnological Innovation: A Literature Review*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p1>

Abstract

The convergence of metaverse technologies (such as virtual reality, augmented reality, artificial intelligence, and digital twins) into biotechnology is ushering in a new age for the creation of pharmaceuticals, medical science research, and teaching. The interactive and immersive environments enable collaboration without geographical limitations through virtual labs, improve the articulation of complex biological processes, and accelerate experiments using enhanced models powered by artificial intelligence. High-visibility use cases comprise virtual clinical trials founded on digital twin models that simulate individual patient profiles. The application of AI in drug discovery medicine, with its expedited time-to-market and 3D learning environments, enhances the knowledge and procedural precision of biotech professionals. This systematic review focuses on the transformative role of the metaverse in biotechnology, analysing its capacity to enable global collaboration, advanced simulations, and immersive education. By synthesising peer-reviewed literature (2019-2025), we highlight key advancements, such as AI-driven drug discovery and virtual laboratories, while addressing critical challenges, including data privacy, ethical concerns, and computational requirements. In this review, we aim to highlight the metaverse's potential to transform biotechnological research and emphasise the need for interdisciplinary solutions to harness its benefits. This study employs a qualitative methodological approach, comprising an extensive literature review coupled

with a case study analysis, to reflect on the participation of metaverse technologies within the biotechnology sector. Drawing on an analysis of trends in cloud collaboration, digital simulation, immersive learning, and ethical issues, the research provides a critical analysis of the challenges and problems posed by the digital revolution. Key areas discussed in immense detail include data privacy, algorithm bias, computational infrastructure, and regulatory uncertainty. Our findings emphasise the need for interdisciplinary research and the provision of comprehensive ethical and technical guidelines to enable the secure and equitable use of metaverse technologies in biotechnology. This study will primarily contribute to the growing corpus of scholarly literature by providing a concise and logical synthesis of existing knowledge, identifying key areas for future research and development.

Keywords: Metaverse, Biotechnological Innovation, Virtual Collaboration, Immersive Environments, Digital Twins, Simulation, Data Security

Introduction

The metaverse is a virtual networking space that incorporates various technologies, like Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), Blockchain, and Artificial Intelligence (AI). It presents a transformative potential for biotechnological developments (Mystakidis, 2022; Lee, 2021). The review synthesises the current research to explore how metaverse technologies drive innovation in biotechnology, from virtual labs to AI-powered clinical trials. The capabilities of this emerging digital ecosystem enable a new era of virtual interaction, overcoming traditional research obstacles. The metaverse adopts an environment that enables academic researchers, scientists, and industrial professionals to optimise their time, facilitating efficient collaborative work and advanced research, achieving the desired speed and effectiveness.

With continuous advancement in the network infrastructure and computational power, the evolution of the metaverse is growing rapidly and becoming a robust platform that supports real-time developments, immersive experiences across medicine, scientific research, and educational training (Shen, 2025; Uddin, 2024).

Biotechnology is an advanced discipline that encompasses complex biological processes, such as genetic modification, computational analysis, and drug discovery. They require high-level interdisciplinary collaborative work, the use of advanced simulation techniques, and big data analysis to support high-probability decision-making (Bordukova, 2023; Mercado, 2023).

In conventional settings, research is often hindered by natural restraints, partly due to limited access to the laboratory's equipment and the high costs of the experiments. In contrast, in the metaverse, the transformative

solution through virtual labs enables scientists to engage in virtual experimentation (Mercado, 2023).

The latest research suggests that the integration of virtual reality into biotechnological advancements has paved the way for discoveries. Innovation includes AI-based drug discovery, virtual clinical trials, and cross-border global collaboration. By studying virtual clinical trials, we create patient representations, called *digital twins*. Virtual constructs that enable the testing of molecular drugs in their preliminary stages prior to traditional clinical trials are made possible through digital twins (Venkatesh, 2022).

Digital twins are utilised for various purposes, such as testing, simulation, and adapting models from the physical to the virtual world, allowing failures to be predicted. In contrast to traditional clinical trials, digital twins facilitate the initial stages of virtual constructs testing for molecular drugs in medicine. Simulation, based on Artificial Intelligence, enables research on real-time virtual models. Additionally, the metaverse gives the possibility for researchers to connect without any geographical constraints (Venkatesh, 2022).

The potential of the metaverse in biotechnology also raises several challenges. Securing data in the metaverse remains the main critical issue. Data (such as genetic and medical information) about patients must be protected from misuse, vulnerabilities and cyber threats. Another challenge of the metaverse includes the demand for computational resources, such as cloud storage, powerful Graphical Processing Units (GPUs), and high-speed internet connections, which may not be available to all researchers worldwide (Mosharraf, 2025).

Policies surrounding ethics will be significantly important for scientific accuracy when dealing with virtual constructions and simulations. The privacy of participants, informed consent in virtual trials, and the right to equitable access to resources within the metaverse require attention to avoid discrimination and inequality gaps in biotechnological advancements (Mosharraf, 2025; Kaddoura, 2023).

The integration of the metaverse into biotechnology is a specific problem, which, however, has already captured the interest of numerous businesses and academic research institutions willing to invest in focused research and development. In practice, the merging of different technologies is not limited to research and development; it also revolutionises teaching and training in the industrial biotechnological sector.

Students and professionals can externally visualise complicated biological concepts in a 3-dimensional (3D) environment using the metaverse, which makes it easier for them to grasp and apply the information provided. The acquisition of practical skills, combined with enhanced retention of knowledge, proves beneficial. Advanced virtual laboratories have the potential

to be invaluable in the education of future biotechnologists and medical professionals (Kaddoura, 2023; Venkatesh, 2022; Petrigna, 2022).

This review paper is structured as follows. Section 2 reviews the relevant work-related publications, focused on the most important milestones in understanding metaverse use in biotechnology. In Section 3, we discuss the methodology of how the virtual metaverse simulation influences our understanding of major concepts in a biological system. Section 4 discusses the main findings. In Section 5, we discuss the most significant practices of integrating the metaverse in biotechnology.

Finally, we draw the main conclusions of this study in Section 6.

Literature Review

The integration of metaverse technologies into biotechnology has taken significant attention in recent years, with exploration of their potential use in promoting collaborative work, accelerating drug discovery, and revolutionising medical training (Mystakidis, 2022; OOi et al., 2024). This literature review categorises the existing body of knowledge into four key areas: (i) the convergence of metaverse technologies with biotechnology, (ii) the role of AI, digital twins, and simulation in biotech research, (iii) immersive training and education platforms within the metaverse, and (iv) data privacy, security and integrity, and ethical issues related with virtual environments of biotechnological resources.

Metaverse and Biotechnological Convergence

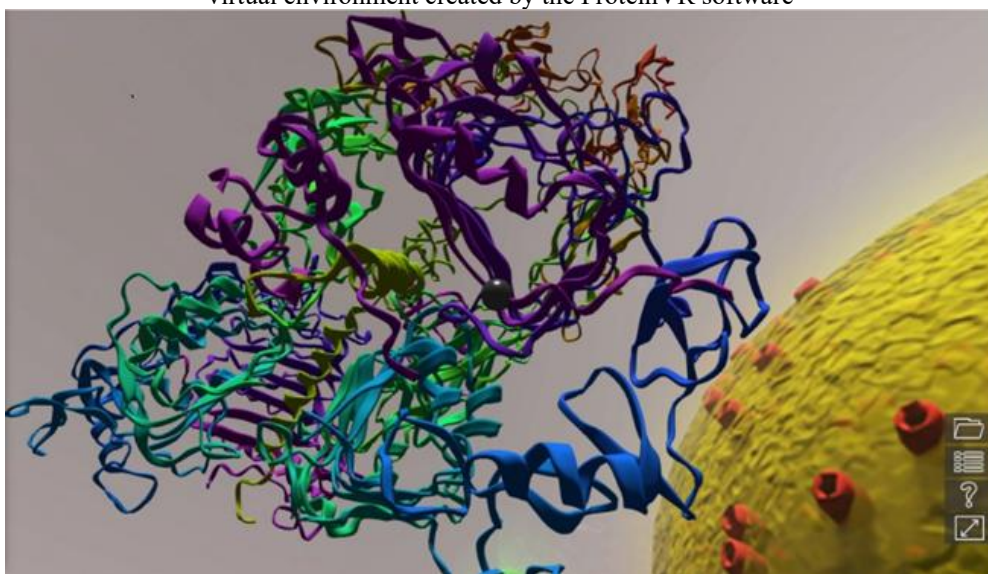
The metaverse serves as an interconnected virtual space that enables individuals to interact with each other utilising digital avatars. This is an ongoing, rapidly evolving experience. Additionally, other fields have found it helpful, including healthcare and biotechnology (Mystakidis, 2022). Bioinformatics research is undergoing a transformation with the integration of virtual environments (Taylor, 2022). It has been found that interactive 3D models significantly aid in the understanding of large and complex biological systems. By utilising these models in the field of bioinformatics, researchers can gain a deeper understanding of the types of structures and processes that take place at the molecular level.

Biotechnology researchers are increasingly employing metaverse technologies to mimic complex biological systems. Molecular dynamics simulations in virtual reality enable an interactive and intuitive experience with proteins and their interactions in cells (Deeks, 2020). This highly interactive approach may enable us in the future to examine a simulated organism at a molecular level - an engineering achievement that could someday transform medicine. Drug delivery systems (DDS) that release their payload in the appropriate quantity at the proper time and location will propel

the discipline toward more efficient, targeted, and personalised therapy. Increasing insight in these areas, owing to VR, can only serve to advance biomedicine.

Figure 1 illustrates, as an example, the virtual reality of an insulin protein (T. Gutmann, 2019), prepared using the ProteinVR software (Cassidy, Šefčík, Raghav, Chang, & Durrant, 2020).

Figure 1: Human insulin receptor ectodomain bound by four insulins in an intercellular virtual environment created by the ProteinVR software



(Cassidy, Šefčík, Raghav, Chang, & Durrant, 2020)

Furthermore, remote collaboration platforms powered by the metaverse are breaking down geographical boundaries, allowing international research consortia to conduct joint experiments in virtual labs. According to Lee et al., these platforms are found to be especially useful during the COVID-19 pandemic era, when travel was heavily restricted and organisations had to turn to substitutes for maintaining the kind of collaborative biomedical research that typically takes place at numerous locations (Williams, 2023).

Ultimately, the use of virtual environments in bioinformatics enhances research and enables unprecedented global collaboration, leading to entirely new, groundbreaking solutions that are quite possible in this space. Despite these advantages, some challenges arise regarding the standardisation of metaverse applications in biotechnology. Notably, the lack of universal regulatory frameworks and the high cost of metaverse hardware have limited its widespread adoption (Chengoden, 2023).

AI, Digital Twins, and Simulation in Biotechnology

Artificial intelligence and digital twin technologies are at the heart of the metaverse-based biotechnology revolution. AI algorithms improve predictive modelling in drug discovery, and digital twins (virtual replicas of the same biological systems) allow for personalised simulation of disease progression and response to their treatment (Patel, 2022; Wang, 2023).

Digital twins have also proven to be of great significance in clinical trial planning, enabling scientists to run virtual trials on AI-modelled patient simulations prior to proceeding to human trials. Patel indicates that digital twins can reduce the duration and expenses of traditional clinical trials by approximately 40% and thereby enhance the effectiveness of experimental treatments (Patel, 2022). Similarly, Wang et al. highlight the role of AI in streamlining medical drug development, employing metaverse-based digital twins to optimise molecule production processes (Wang, 2023).

Virtual reality-based surgery simulations, coupled with an AI-powered feedback system, have also significantly improved the precision in the field of medicine (Gani, 2022). Such immersive technologies enable biomedical engineering researchers and clinicians to refine and implement their technical skills in an adaptable and risk-free setting. Simulation of obscure stages with real-time feedback, these systems, known as *in-silico*, enhance surgical precision, reduce errors, and streamline overall medical training before it occurs either *in vitro* or *in vivo*.

Immersive Training and Education in Biotechnology

The metaverse has introduced new methods of learning and professional development in biotechnology. Traditional models of learning are textbook-based and utilise static 2-dimensional (2D) diagrams, which are insufficient to explain the complexity of some systems, such as cells and biological molecular structures. Interactive VR-based learning systems, on the other hand, provide interactive 3D learning modules that significantly enhance knowledge retention (Mystakidis, 2022).

For example, Tsai et al. contrasted conventional medical instruction with metaverse instruction. The study revealed that students subjected to VR learning systems demonstrated a 25% improvement in comprehension and a 30% increase in procedural accuracy for laboratory simulations (Tsai, 2022). Wiederhold reported similar findings, revealing that medical professionals trained in VR environments were more competent and self-assured when performing real surgeries (Wiederhold, 2022).

Another application of the metaverse in education is the establishment of virtual laboratories, which allow researchers and students to conduct experiments in controlled, secure virtual environments (Taylor, 2022). The laboratories provide access to high-end equipment that may be prohibitively

expensive due to budget constraints, facilitating inclusive high-level biotechnological research.

However, viability for metaverse learning depends on accessibility and infrastructure. Prohibitive expenses on VR hardware and software development may eliminate large-scale use in low-income regions (Kim, Lee, & Choi, 2023). In addition, inclusivity in virtual learning environments encompasses consideration of factors, such as the compatibility of haptic devices for individuals with disabilities (Kostick-Quenet, 2023).

Data privacy, security and integrity, and ethical issues related to virtual environments of biotechnological resources

The handling of personal biological and patient data in the metaverse raises important questions about privacy invasions, cybersecurity threats, and ethical controls. While blockchain and encryption technologies offer some answers (Shah, 2024), the decentralized nature of virtual worlds makes it challenging to oblige region-specific laws like GDPR or HIPAA, resulting in loopholes in data protection. For instance, genomic-based digital twins of anonymized individuals are at risk of re-identification, exacerbating consent challenges in virtual clinical trials (Kostick-Quenet, 2023). Additionally, AI-based diagnostic biases such as the underrepresentation of non-Western populations in training data can perpetuate healthcare inequalities if unaddressed. They need technological protection as well as interdisciplinary frameworks to safeguard innovation from patient rights and fair access.

Methodology

This qualitative research study aims to examine the effect of metaverse applications on biotechnological innovation with a focus on artificial intelligence, digital twins, virtual reality, and augmented reality applications. A methodological framework is designed to provide an integrative synthesis of existing research, utilising a systematic literature review followed by chosen case studies. These enable a comprehensive understanding of metaverse technologies in the biotechnology sector.

Research Design

The study is exploratory and attempts to investigate and explain the prevailing knowledge on biotechnology applications in the metaverse. Here, the systematic literature review aimed to define key technological leaps, strengths, and weaknesses of the emerging technology. A comparative evaluation of metaverse-driven educational training models and digital twins infused with AI in clinical research was conducted to validate findings.

Data Collection

Data for this study were collected from peer-reviewed journal articles, conference proceedings, government reports, and industry white papers published between 2019 and 2025. Principal databases used were:

- PubMed (for biomedical and clinical applications) (PubMed, 2025)
- IEEE Xplore (for AI and digital twin technologies) (IEEE Xplore Digital Library, 2025)
- SpringerLink & ScienceDirect (for interdisciplinary biotechnology applications) (SpringerLink, 2025) (ScienceDirect, 2025)
- Google Scholar (for supplementary academic literature) (Google Scholar, 2025)

The search criteria included terms, such as (PubMed, 2025; SpringerLink, 2025):

- "Metaverse in biotechnology,"
- "AI-driven molecule drug discovery in medicine,"
- "Digital twins in healthcare,"
- "VR-based medical training,"
- "Metaverse and sustainability in biotech."

The so-called “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses” (PRISMA) model (Nikulina, Simon, Ny, & Baumann, 2019) and its guidelines were utilised in this study to select the information, which is known for its accuracy and suitability.

Data Analysis

The collected literature was examined utilising thematic content analysis to identify emerging trends and recurring themes. Our analysis focused on four primary themes derived from the literature review, as outlined below.

1. The Convergence of the Metaverse and Biotechnology: The focus was on examining the impact of VR, AR, and AI-powered digital twins in pharmaceutical development and biological research.
2. AI and Digital Twin Technologies in Clinical Applications: Here, we aim to evaluate their role in molecular medicine drug development, precision in medicine, and virtual clinical trials.
3. Immersive Education and Training in Biotechnology: We evaluated the effectiveness of VR-based learning models compared to conventional methods.
4. Ethical, Regulatory, and Sustainability Challenges: We aimed to analyse the ethical concerns regarding bias in AI, data privacy and

security, and the environmental impact of applications demanding high computational power.

Case Study Approach

We conducted a case study analysis to examine the implementation of virtual clinical trials as a complement to the literature review. For that, we utilised digital twin models. The case study employed real-world applications of AI-powered simulations in molecular drug testing in medicine and patient modelling, thereby evaluating their efficiency, accuracy, and limitations.

Reliability and Validity

- Reliability: Our study included only peer-reviewed studies and high-impact sources to ensure consistency and validity. Gathered studies were cross-verified across multiple databases.
- Validity: We compared the findings with real-world case studies and expert opinions from white papers published by the World Health Organisation (WHO), MIT Technology Review, and Harvard Medical School.

Limitations

- Technological Scope: The study is limited to AI, VR, AR, and digital twin applications in biotechnology. Other emerging technologies (e.g., quantum computing and blockchain in biotech) were not extensively covered.
- Timeframe: Due to rapid technological advancements, some findings may become outdated as newer research emerges.
- Data Availability: Some proprietary industry reports were inaccessible, restricting insights into specific commercial applications of the metaverse in biotechnology.

Findings

From the analysis of published research and case studies, we found various crucial findings concerning the impact of metaverse technologies (including AI, digital twins, VR, and AR) on biotechnological innovation. The outcomes indicate how these technologies are transforming research practice, clinical trials, medical education, and sustainability activities in the field of biotechnology.

The findings are organised into four major areas, which are described in the following discussion.

1. Metaverse-Enabled Virtual Collaboration in Biotechnology.

2. AI-Driven Simulation and Digital Twins in Drug Discovery and Clinical Trials.
3. Immersive Learning and Training through VR-Based Education.
4. Metaverse challenges in Data Security, Ethical AI, and Privacy.

Metaverse-Enabled Virtual Collaboration in Biotechnology

The most significant impact of the metaverse includes its ability to facilitate global collaboration between biotechnology researchers, pharmaceutical companies, and healthcare institutions. Virtual laboratories and digital research environments eliminate geographical constraints, enabling real-time experimentation, data sharing, and AI-driven modelling.

Case Study: Virtual Research Laboratories

A study by Lee et al. (2022) found that metaverse-based research environments increased collaboration efficiency by 35% compared to traditional lab-based work. Researchers in different locations could simulate protein-folding experiments in shared virtual spaces, analyse molecular interactions in 3D, and conduct remote-controlled lab experiments without requiring physical access to laboratory infrastructure (Lee, 2021).

Key Findings:

- Virtual collaboration allows interdisciplinary teams to access high-resolution simulations, real-time data, and AI-assisted molecular modelling.
- Global teams can replicate laboratory conditions in the metaverse without expensive physical resources.
- Real-time VR-based interactions in virtual biotechnological hubs provide faster peer reviewing and knowledge transfer.

AI-Driven Simulation and Digital Twins in Drug Discovery and Clinical Trials

AI-powered digital twins, precise virtual replicas of human patients, cells, and molecular-level interactions of medical drugs, are revolutionising drug development in medicine and clinical trials. These data-driven models simulate disease progression, predict patient-specific treatment responses, and reduce reliance on traditional animal and human testing.

Findings from AI-Powered Drug Discovery Models

- Patel (2022) reports that AI-driven drug simulations reduce the average drug development timeline from 12 years to 5 years by predicting molecular interactions more efficiently than traditional testing (Patel, 2022).

- Wang et al. (2023) highlight that digital twins improve personalised medicine accuracy by 40%, allowing for targeted drug design based on real-time biological data (Wang, 2023).
- AI-powered models can test millions of drug compounds in silico, identifying the most promising candidates in weeks instead of years.

Case Study: AI-Powered Simulations and Digital Twin Models in Drug Testing

Ren et al. (2025) demonstrated a groundbreaking application of AI-driven digital twin technology in Alzheimer's disease (AD) research, as seen in their work on virtual clinical trials and precision drug discovery. The study leveraged multi-omics data (genomics, transcriptomics, and proteomics) and longitudinal clinical records from leading Alzheimer's disease databases (e.g., ADNI, ROS-MAP, and electronic health record systems) to construct patient-specific digital twins. These AI-powered virtual models simulated disease progression under various drug interventions, enabling in silico clinical trials that reduced reliance on large control groups and accelerated therapeutic validation (Yunxiao Ren, 2025).

A key innovation was the integration of network-based AI frameworks (e.g., GPSnet) with data-driven generated perturbation responses. By combining GWAS data and single-cell RNA sequencing, researchers identified medical drugs, such as anti-inflammatory agents, with potential efficacy against Alzheimer's disease (Yunxiao Ren, 2025). Additionally, DTs were continuously updated with real-time biomarker data (such as MRI/PET imaging, CSF, and blood biomarkers), which provided higher predictions of early disease detection and significantly improved personalised treatment procedures.

While maintaining high predictive accuracy, this approach reduces the development timelines and costs compared with traditional clinical trials. The success of these AI-powered simulations highlights the transformative potential of digital twin technology in precision medicine, providing a faster and more efficient pathway to drug discovery for complex neurodegenerative diseases (Yunxiao Ren, 2025).

Immersive Learning and Training through VR-Based Education

While the cited studies (Tsai, 2022)(Wiederhold, 2022) show measurable benefits of VR/AR training for medicine, the assessment overlooks significant weaknesses that temper their transformative potential. For instance, those same-improved comprehension (25%) and process effectiveness (30%) may not account for selection bias - studies select very small numbers of technologically savvy volunteers or controlled environments that lack the diversity of real-world classrooms. Furthermore, the prohibitively

high costs of VR hardware, software development, and maintenance (Kim et al., 2023) render it unavailable, unfairly affecting low-resource institution representation disproportionately. Attention to the effectiveness of haptic feedback circumvents accusations of fidelity; in complex surgeries, VR haptic nuances during training might be responsible for cadaveric training persisting (Gani et al., 2022), which raises doubts about long-term skill transfer.

Moreover, pedagogical reasoning - i.e., better retention of knowledge - is generally founded on short-term assessment, and few studies demonstrate the long-term learning outcomes. Interactive 3D modelling, while engaging, also has the potential to prioritize visual appeal over complexity of conception; students may retain molecular shapes better but can't place them in wider biological contexts (Taylor, 2022). The UC Medical Centre VR integration case study, as uplifting as it is, does not raise discussion of challenges to implementation, such as resistance from teachers or the time required to redesign curricula. A more balanced synthesis would acknowledge such trade-offs, weighing enthusiasm for innovation against careful consideration of scalability, equity, and pedagogical strength (Tsai, 2022), (Wiederhold, 2022).

Challenges in Data Security, Ethical AI, and Privacy in the Metaverse

With the adoption of metaverse technologies in biotechnology, security, privacy, and ethical concerns remain significant challenges. AI-driven decision-making models, digital twins, and VR-based patient data management raise concerns over data protection, patient confidentiality, and algorithmic biases.

Findings on AI Bias and Ethical Challenges

- Shah et al. (2024) highlighted concerns that 80% of AI-powered clinical trial datasets still rely on Western-centric medical data, potentially misrepresenting global patient populations (Shah, 2024).
- Rahimzadeh found that AI models in digital twin healthcare applications showed biases in diagnostic accuracy, with up to 15% higher error rates for underrepresented demographic groups (Rahimzadeh).

Discussion

The combination of AI, digital twins, AR, and VR in biotechnology is revolutionising drug discovery, medical education, and clinical trials through greater efficiency, cost-effectiveness, and global collaboration. AI-powered digital twins enhance drug development by reducing reliance on physical testing and improving accuracy in precision medicine, while virtual clinical trials reduce cost and risk for pharmaceutical companies (Patel, 2022). Second, VR-based training in medicine enhances procedural accuracy and

knowledge retention, enabling students and medical professionals to hone complex techniques in simulated environments (Tsai, 2022). However, AI bias, regulatory gaps, and data security attacks remain pressing concerns, as AI-assisted healthcare models must be rigorously tested to prevent diagnosis errors and ensure effective treatment protocols (Kostick-Quenet, 2023).

Moreover, metaverse apps require enormous amounts of computational capabilities, which have implications for sustainability, with AI model energy consumption having no signs of decline (Shah, 2024). Improved AI regulation, ethical standards, and environmentally friendly computing solutions are required to realise the full potential of the metaverse in biotechnology.

In the classroom environment, the teaching methodology should incorporate a variety of supportive learning techniques, including scientific reading materials, data structures, tables and graphs, videos, interactive discussion, animations, and software. They should be combined with problem and project-based learning methodologies, including AR, VR, and AI technologies (Goldstein, 2016; W. Muliawan, 2016) (S. T. Kanyesigye, 2022) (J. R. C., 2024) (J. A. V., 2024) (J. P. W., 2024) (Vaughan, 2016). More importantly, the students should be prepared to identify the most important quantities and to measure and identify trends in the user data, utilising data processing tools and graphics (Vaughan, 2016).

Conclusion

The integration of metaverse technologies into biotechnology constitutes a paradigm shift with real potential to transform drug discovery, medical education, and the practice of medicine, according to recent research showing improved efficiency in trials involving digital twins (Patel, 2022) and improved learning outcomes with VR training (Tsai, 2022). Such promising uses, though, must be offset against substantial limitations and problems, such as the preponderance of initial study (frequently at modest sample sizes and short test durations), substantial infrastructural demands potentially exacerbating existing healthcare inequities, and issues regarding long-term maintenance of learning and transfer of skill. The rapid development of these technologies has been outpacing the development of effective regulatory measures, leaving governing gaps in AI testing, security of patient data in virtual environments, and digital twin standardization of healthcare applications. Secondly, despite having potential sustainability benefits through reduced physical use of resources, the high energy intensity of metaverse solutions and their environmental impact cannot be overlooked. Unleashing the promise of this tech convergence will require concerted effort on multiple fronts: large-scale, rigorous clinical testing of metaverse technology; development of holistic, globally harmonized regulation

standards; access policies to ensure fairness and avoid widening the digital divide; and environmentally sustainable computing infrastructure investment. The biotechnology community must contemplate treating this new discipline in an even-handed sense of optimism, understanding that metaverse technologies possess transformative potential but their successful application depends on solutions of these early challenges by interdisciplinary action, evidence-based policy formation, and ongoing critical evaluation of the benefits and the limitations. (V. K. LaBoskey, 2004) (Vygotsky, 1978) (Vaughan, 2016).

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. Mystakidis, S. (2022). Metaverse. Encyclopedia, 2(1), 486-497. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031>
2. Lee, L. H., Braud, T., Zhou, P., Wang, L., Xu, D., Lin, Z., Kumar, A., Bermejo, C., & Hui, P. (2021). All One Needs to Know about Metaverse: A Complete Survey on Technological Singularity, Virtual Ecosystem, and Research Agenda. *arXiv preprint arXiv:2110.05352*. URL: <https://arxiv.org/abs/2110.05352> □
3. Shen, S., Qi, W., Liu, X. et al. From virtual to reality: Innovative practices of digital twins in tumor therapy. *J Transl Med* 23, 348 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12967-025-06371-z>
4. Uddin, Mueen & Obaidat, Muath & Manickam, Selvakumar & Laghari, Shams Ul Arfeen & Dandoush, Abdulhalim & Ullah, Hidayat & Ullah, Syed Sajid. (2024). Exploring the convergence of Metaverse, Blockchain, and AI: A comprehensive survey of enabling technologies, applications, challenges, and future directions. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. 14. 10.1002/widm.1556.
5. Bordukova, M., Makarov, N., Rodriguez-Esteban, R., Schmich, F., & Menden, M. P. (2023). Generative artificial intelligence empowers digital twins in drug discovery and clinical trials. *Expert Opinion on Drug Discovery*, 19(1), 33–42. <https://doi.org/10.1080/17460441.2023.2273839>
6. Mercado, Justine & Picardal, Jay. (2023). Virtual Laboratory Simulations in Biotechnology: A Systematic Review. *Science Education International*. 34. 52-57. 10.33828/sei.v34.i1.6.

7. Maedeh Mosharraf, Data governance in metaverse: Addressing security threats and countermeasures across the data lifecycle, *Technology in Society*, Volume 82, 2025, 102910, ISSN 0160-791X, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2025.102910>.
8. Kaddoura S, Al Hussein F. The rising trend of Metaverse in education: challenges, opportunities, and ethical considerations. *PeerJ Computer Science*, 2023 Feb 13;9:e1252. doi: 10.7717/peerj-cs.1252. PMID: 37346578; PMCID: PMC10280453.
9. Venkatesh, K.P., Raza, M.M. & Kvedar, J.C. Health digital twins as tools for precision medicine: Considerations for computation, implementation, and regulation. *npj Digit. Med.* **5**, 150 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41746-022-00694-7>
10. Petrigna, L., & Musumeci, G. (2022). *The Metaverse: A New Challenge for the Healthcare System: A Scoping Review. Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 7(3), 63, [10.3390/jfmk7030063](https://doi.org/10.3390/jfmk7030063)
11. K. -B. Ooi et al., "The Metaverse in Engineering Management: Overview, Opportunities, Challenges, and Future Research Agenda" in *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 71, pp. 13882-13889, 2024, doi: 10.1109/TEM.2023.3307562.
12. Taylor, S., & Soneji, S. (2022). Bioinformatics and the Metaverse: Are We Ready? *Frontiers in Bioinformatics*, 2, 863676. DOI: [10.3389/fbinf.2022.863676](https://doi.org/10.3389/fbinf.2022.863676)
13. Deeks, H. M., Walters, R. K., Hare, S. R., O'Connor, M. B., Mulholland, A. J., & Glowacki, D. R. (2020). Interactive Molecular Dynamics in Virtual Reality for Accurate Flexible Protein-Ligand Docking. *PLOS ONE*, 15(3), e0228461. DOI: [10.1371/journal.pone.0228461](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228461)
14. T. Gutmann, I. B. Schaefer, C. S. Poojai, I. Vattulainen, M. Strauss, U. Coskun, Cryo-EM structure of the complete and ligand-saturated insulin receptor ectodomain
15. J. Cell Biol., 219, 1540-8140, 2020 in an intercellular virtual environment created using the ProteinVR software.
16. Williams, A., Lee, J., Kadakia, K., et al. (Eds.). (2023, February 10). Emerging stronger from COVID-19: Priorities for health system transformation. *The Learning Health System Series*. National Academy of Medicine. National Academies Press. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK589824/>
17. Chengoden, R., Victor, N., Huynh-The, T., Yenduri, G., Jhaveri, R. H., Alazab, M., & Gadekallu, T. R. (2023). Metaverse for healthcare: a survey on potential applications, challenges and future directions. *IEEE Access*, 11, 12765-12795.

18. Patel, S. K. (2022). R&D Using the Metaverse and Digital Twins. *Applied Clinical Trials*, 31(7/8). URL: <https://www.appliedclinicaltrialsonline.com/view/r-d-using-the-metaverse-and-digital-twins>
19. Wang, X., Zhang, Y., & Zhang, Y. (2023). AI-Driven Virtual Environments for Predictive Medicine. *arXiv preprint arXiv:2301.00001*. URL: <https://arxiv.org/abs/2301.00001>
20. Gani, Abrara; Pickering, Oliver; Ellis, Caroline; Sabri, Omar; Pucher, Philip. Impact of haptic feedback on surgical training outcomes: A Randomised Controlled Trial of haptic versus non-haptic immersive virtual reality training. *Annals of Medicine & Surgery* 83(), November 2022. | DOI: 10.1016/j.amsu.2022.104734
21. Kostick-Quenet, K., Rahimzadeh, V. Ethical hazards of health data governance in the metaverse. *Nature Machine Intelligence*, 5, 480–482 (2023). <https://doi.org/10.1038/s42256-023-00658-w>
22. Tsai, M. C., Liang, J. C., & Tsai, C. C. (2022). Virtual Reality Enhancing Medical Education and Practice: Brief Communication. *Journal of Medical Education*, 26(4), 599–601. DOI: [10.3946/kjme.2022.234](https://doi.org/10.3946/kjme.2022.234)
23. Wiederhold, B. K. (2022). The Metaverse in Healthcare: Accelerating Research and Innovation. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 25(6), 345–346. DOI: [10.1089/cyber.2022.29210.editorial](https://doi.org/10.1089/cyber.2022.29210.editorial)
24. Wiederhold BK. Metaverse Games: Game Changer for Healthcare? *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 2022 May; 25(5):267-269. doi: 10.1089/cyber.2022.29246.editorial. PMID: 35549346.
25. Minji Kim, Seungzoon Lee, Jeongil Choi. (2023). A Study on Factors Affecting Intention to Continuous Use Metaverse Platform Service. *Journal of Korean Society for Quality Management*, 51(1), 97–117. <https://doi.org/10.7469/JKSQM.2023.51.1.97>
26. Shah, C., Pathak, J., & Kumar, S. (2024). Utilizing Blockchain Technology for Healthcare and Biomedical Research: A Review. *Cureus*, 16(10), e72040. DOI: [10.7759/cureus.72040](https://doi.org/10.7759/cureus.72040)
27. Rahimzadeh, V., Kostick-Quenet, K., Blumenthal Barby, J., & McGuire, A. L. (2023). Ethics Education for Healthcare Professionals in the Era of ChatGPT and Other Large Language Models: Do We Still Need It? *The American Journal of Bioethics*, 23(10), 17–27. <https://doi.org/10.1080/15265161.2023.2233358>
28. PubMed. (n.d.). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
29. IEEE Xplore Digital Library*. (n.d.). Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

30. *SpringerLink*. (n.d.). Retrieved from <https://link.springer.com/>
31. *ScienceDirect*. (n.d.). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/>
32. *Google Scholar*. (n.d.). Retrieved from <https://scholar.google.com/>
33. Sakala IG, Eichinger KM, Petrovsky N. Neonatal vaccine effectiveness and the role of adjuvants. *Expert Review of Clinical Immunology*, 2019 Aug;15(8):869-878. doi: 10.1080/1744666X.2019.1642748. Epub 2019 Jul 25. PMID: 31293189; PMCID: PMC6678067.
34. Yunxiao Ren, Andrew A. Pieper, Feixiong Cheng, Utilization of precision medicine digital twins for drug discovery in Alzheimer's disease, *Neurotherapeutics*, Volume 22, Issue 3, 2025, e00553, ISSN 1878-7479, <https://doi.org/10.1016/j.neurot.2025.e00553>.
35. O. Goldstein. *Cogent Education* 3, 1200833 (2016).
36. W. Muliawan, W. S. Nahar, C. E. Sebastian, E. Yuliza, and Khairurrijal. *Journal of Physics: Conference Series* 739, 012139 (2016).
37. S. T. Kanyesigye, J. Uwamahoro, and I. Kemeza. *Physical Review Physics Education Research* 18, 010140 (2022).
38. R. Cross. *European Journal of Physics*, 45, 035003 (2024).
39. A. Vidak et al. *European Journal of Physics*, 45, 023002 (2024).
40. P. Wul. *European Journal of Physics*, 45, 023001 (2024).
41. L. Moran and H. Vaughan. *New Directions in the Teaching of the Physical Sciences* 8, 17–21 (2016).
42. V. K. LaBoskey, J. Loughran, and M. L. Hamilton. *International Handbook of Self-study of Teaching and Teacher Education Practices* 2, 817–869 (2004).
43. L. S. Vygotsky. *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA, Harvard, (1978).

Alternative to the right-hand rule: Farah's method

Mo'ath Farah, PhD

American International University, Kuwait

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p18](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p18)

Submitted: 24 May 2025

Accepted: 29 June 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Farah, M. (2025). *Alternative to the right-hand rule: Farah's method*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 18. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p18>

Abstract

Right-hand rule (RHR), the conventional tool to establish directions of magnetic field and force in electromagnetism, is hard to use because it involves hand motions and three-dimensional visualisation. This paper presents an alternative approach, called Farah's Method, using rotation of Cartesian coordinate axes rather than hand movements, so students can learn it more easily and with less mental burden, as the proposed method is based on the rotation between the axes.. A challenge encountered in this study was the lack of available resources addressing an alternative approach to the right/left-hand rules. In a quasi-experimental study involving 60 secondary school students, we compared Farah's Method to the RHR through pre- and post-tests with conceptual and problem-solving activities, as shown in Figures 11-13. Under the Farah's Method condition, there were significantly improved post-test scores (80.47% vs. 61.27%, $p < 0.001$), better problem-solving accuracy (87.63% vs. 66.87%), shorter response latencies (35.87 s vs. 53.12 s), and lower self-reported cognitive load (overall rating: 4.31 vs. 3.70). These results draw attention to the method's capacity to simplify vector analysis into concise, significant aspects and foster conceptual understanding. This method is also compatible with learning technologies such as PhET simulations and virtual reality interfaces, where coordinate rotations can be dynamically visualised, making it easier to implement in digital learning environments. This approach has future uses in STEM fields such as mechanics and engineering and offers an accessible, scalable pedagogy for overcoming spatial reasoning obstacles. The research implies that Farah's Method is preferable to the RHR with excellent prospects for revolutionising electromagnetism teaching via technology-enhanced learning.

Keywords: Farah's Method, electromagnetism, spatial reasoning, STEM pedagogy, physics education, Cartesian coordinate rotations

Introduction

The right-hand rule is a fundamental physics teaching tool that allows students to determine the direction of magnetic forces on moving charges and current-carrying wires, and magnetic field patterns produced by electric currents (Serway & Vuille, 2013). Used extensively in physics textbooks, the technique provides a graphical representation of vector relationships in three-dimensional space (Young, et al., 2012). However, learners are unable to correctly apply the right-hand rule because they face challenges coordinating spatial relation visualisation, hand orientation, and finger placement. This leads them to generate incorrect force or field predictions, and consequently, electromagnetism misconceptions emerge (Giancoli, 2020). For example, students may misalign their fingers or fail to map directions mentally, indicating a requirement for pedagogical measures that disentangle vector analysis into simple processes and promote deeper conceptual understanding within physics classes.

Research on physics education focuses on spatial thinking as a primary component of learning electromagnetism (Hegarty, 2014). Students who lack spatial skills struggle with imagining three-dimensional vector relationships and frequently misuse the right-hand rule or confuse it with the left-hand rule (Ling, et al., 2016). These mistakes can undermine confidence and interfere with learning success, especially among novice students in introductory physics courses. In addition, the body coordination required by the right-hand rule is a disadvantage for kinesthetic or spatially impaired students, further compromising equity in learning (Mayer, 2009). These findings suggest that gesture-free, systematic methods might improve accuracy and engagement, with applications that could extend beyond electromagnetism to STEM fields, such as mechanics, robotics, and computer graphics, where three-dimensional vector analysis is essential. By prioritising mathematical structures over physical movement, instructors can design more accessible and efficient learning environments.

Educational technology has excellent potential to support such alternative pedagogies. Interactive physics simulations, virtual reality spaces, and e-learning modules can model complicated notions like magnetic fields independently of physical motions (Sweller, 2010). For instance, tools like PhET Interactive Simulations enable students to explore vector relationships within dynamic, three-dimensional spaces, and so they are well-positioned to scale up innovative pedagogies in online or blended learning spaces. However, strategies like the right-hand rule are less technology-adaptable and need

strategies that can be utilized with technology-facilitated teaching to improve spatial awareness and efficiency in problem-solving.

This paper introduces a proposed method, referred to as Farah's Method, and as an alternative to the standard right-hand rule used to determine magnetic force and field directions. Unlike the hand-method widely used in physics textbooks (Serway & Jewett Jr, 2014), Farah's Method involves Cartesian coordinate axis (X, Y, Z) rotations by the smallest angle of rotation, 0° to 180° , in a clockwise or counterclockwise direction. This mathematical method eliminates the necessity for bodily movement, reducing cognitive load and enhancing accuracy in vector analysis. Farah's Method is especially well-suited for implementation in learning technologies, such as virtual labs or simulations, where dynamic visualisation of coordinate rotations can facilitate student learning. By offering a rational, technology-congruent instrument, Farah's Method improves the teaching of electromagnetism and has the potential to generalise to STEM education beyond, breaking down spatial intelligence barriers and improving fair learning.

Glossary

The main terms, abbreviations and symbols used in this paper are listed below:

CW – clockwise rotation

CCW – counterclockwise rotation

RHR – right-hand rule

v – velocity

$\vec{B}$ – magnetic field vector

F – magnetic force

$\vec{v}$ – velocity vector

I – conventional current

$\vec{dl}$ – infinitesimal length of a conductor carrying an electric current

$\hat{r}$ – unit vector from the wire element to the point where the field is calculated

Farah's Method

Understanding the orientation of magnetic forces and fields lies at the centre of electromagnetism and is an integral component of physics education. Traditionally, students use the right-hand rule (RHR) to superimpose velocity, magnetic field, and force vectors or to determine magnetic field directions around current-carrying wires (Serway & Jewett Jr, 2014). Yet, the RHR needs accurate hand movement and three-dimensional spatial visualisation, which is difficult for most students, and thus they end up doing it wrong and with the greater cognitive burden (Hegarty, 2014). This paper introduces a proposed method, referred to as Farah's Method for convenience, which replaces hand

movements with mathematical rotations of Cartesian coordinate axes. By offering a systematic, gesture-free approach, Farah's Method enhances precision, reduces intellectual stress, and aligns with educational technologies like interactive simulations, where vector relationships can be visualized dynamically (Mayer, 2009).

Users can determine force direction using Farah's Method because this approach involves step-by-step vector alignment and minimal angular rotation based on Cartesian coordinate system rotations. Users begin by setting the velocity ($\vec{v}$) vector tail to touch the magnetic field ($\vec{B}$) vector tail before marking their positions on the coordinate axes with an additional third free axis. The approach requires users to perform the minimum possible angular rotation $\vec{v}$ toward $\vec{B}$. A clockwise rotational movement of $\vec{v}$ will produce a force $\vec{F}$ that points in the negative direction of the third axis, but counterclockwise rotation produces a force in the positive direction of the third axis.

The advantage of Farah method over the RHR

The RHR needs accurate hand movement and three-dimensional spatial visualisation. Hence, students may end up doing it incorrectly due to misaligning their fingers or failing to map the directions. However, Students who follow the systematic framework of Farah's method no longer require hand movements to determine the magnetic force or field directions as the suggested method is based on the rotation between the axes of the Cartesian coordinates, through the minimal angular path, i.e, the mechanism of locating the magnetic force or magnetic field becomes more comprehensive and more straightforward for all applications.

The application of Farah's method

This section details Farah's Method through three scenarios, comparing its performance to the RHR to demonstrate improved accuracy, conceptual clarity, and ease of use. Diagrams support each scenario to illustrate the method's application in diverse electromagnetic contexts, refer to figures 1 - 10.

The direction of the magnetic forces acting on a moving charge according to Farah's Method

The magnetic force direction can be determined using this method rather than the right-hand rule, as outlined in the steps below:

- Align the vectors $\vec{v}$ and $\vec{B}$ with their tails together, refer to figures 1 and 2.
- Determine on which axis $\vec{v}$ and $\vec{B}$ are located and determine the third free axis.
- Rotate from $\vec{v}$ to $\vec{B}$ through the smaller path of the two possible angles.

- If the rotation from $\vec{v}$ to $\vec{B}$ is clockwise, then the magnetic force is located on the negative part of the third free axis.
- If the rotation from $\vec{v}$ to $\vec{B}$ is counterclockwise, then the magnetic force is located on the positive part of the third free axis.

As shown in the previous steps, there is no need to use either the right hand or the left hand to determine the direction of the magnetic force.

Figures 1 and 2 show the application of Farah's method to determine the direction of the magnetic force on an electric charge through the rotation from the velocity vector $\vec{v}$ to the magnetic field vector $\vec{B}$.

As shown in Figure 1, the velocity vector $\vec{v}$ is located on the x-axis and the magnetic field vector $\vec{B}$ is on the y-axis, According to Farah's method, the rotation from $\vec{v}$ to $\vec{B}$ through the minimum angular path is counterclockwise (CCW). This means that the magnetic force is located on the positive part of the third free axis, which is z^+ (out of the page).

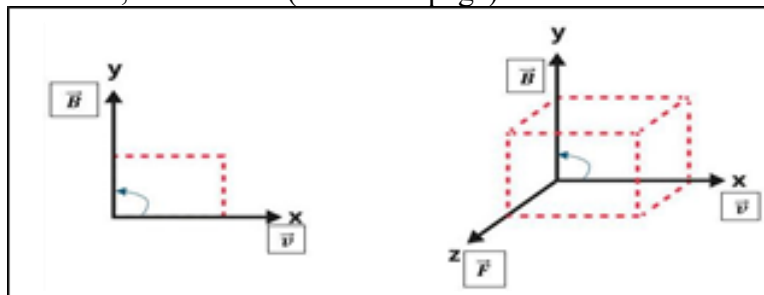


Figure 1. The rotation from $\vec{v}$, on the x axis, to $\vec{B}$, on the y axis, is counterclockwise. Hence, the magnetic force is located on the third free axis, which is the positive z-axis (out of the page).

On the other hand, figure 2 shows that the velocity vector $\vec{v}$ is located on y axis and the magnetic field vector $\vec{B}$ is on the x-axis. The rotation from $\vec{v}$ to $\vec{B}$ through the minimum angular path is clockwise (CW). This means that the magnetic force is located on the negative part of the third free axis (z^- , into of the page).

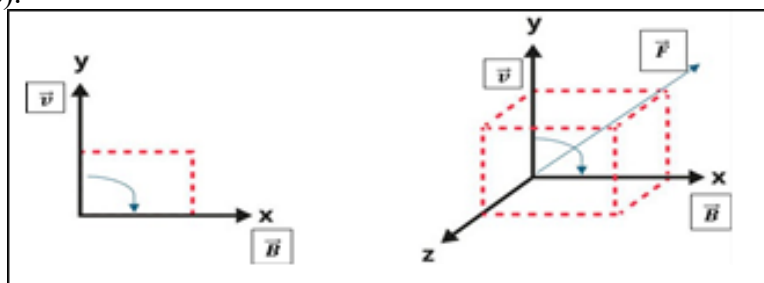


Figure 2. The rotation from $\vec{v}$, on the y axis, to $\vec{B}$, on the x-axis, is clockwise. Hence, the magnetic force is located on the third free axis, which is the negative z-axis (into of the page).

These steps simplify vector analysis, making it ideal for coding into educational software where students can interact with dynamic visualisations.

The magnetic forces acting on a current-carrying conductor according to Farah's Method

To find the direction of the magnetic forces acting on a current-carrying conductor using the method, apply the steps shown in the previous section, replacing the velocity vector $\vec{v}$ by the conventional current (I). Figures 3 and 4 show the application of Farah's method to determine the direction of the magnetic force on a current-carrying conductor through the rotation from the conventional current (I) axis to the magnetic field $\vec{B}$ axis

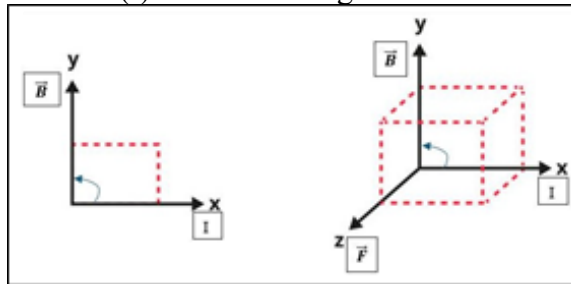


Figure 3. The rotation from I, on the x-axis, to $\vec{B}$, on the y axis, is counterclockwise. Hence, the magnetic force is located on the third free axis, which is the positive z-axis (out of the page).

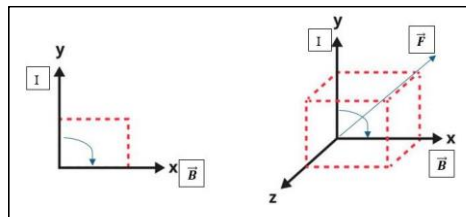


Figure 4. The rotation from I, on the y-axis, to $\vec{B}$, on the x-axis, is clockwise. Hence, the magnetic force is located on the third free axis, which is the negative z-axis (into the page).

This adaptation ensures consistency across applications, supporting virtual lab environments where students can simulate current-induced forces.

The direction of the magnetic field due to a straight current-carrying conductor according to Farah's Method

The magnetic field direction can be determined using Farah's method as follows:

- Align both vectors $d\vec{l}$ (an infinitesimal length of a conductor carrying an electric current) and $\hat{r}$ (unit vector from the wire element to the point where the field is calculated) with their tails together; refer to figures 5, 6, 7, 8, and 9.

- Determine on which axis $\vec{dl}$ and $\hat{r}$ are located and determine the third free axis.
- Rotate from $\vec{dl}$ to $\hat{r}$ through the smaller path of the two possible angles.
- If the rotation from $\vec{dl}$ to $\hat{r}$ is clockwise, then the magnetic field $\vec{B}$ is located on the negative part of the third free axis.
- If the rotation from $\vec{dl}$ to $\hat{r}$ is counterclockwise, then the magnetic field $\vec{B}$ is located on the positive part of the third free axis.

Figure 5 below illustrates the magnetic field due to a straight current-carrying conductor. The direction of the current is into the page (Z^-), which generates circular magnetic field lines with a clockwise direction.

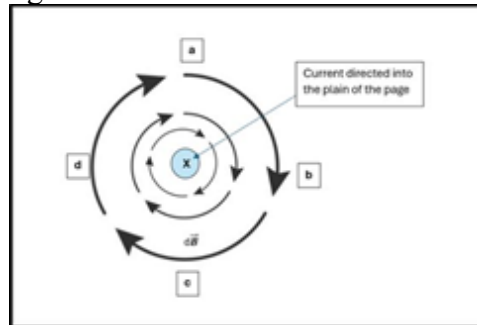


Figure 5. The magnetic field due to a current in a straight wire directed into the page.

Figures 6, 7, 8 and 9 illustrate how Farah's method is employed, as an alternative method to RHR, to determine the direction of the magnetic field at points a, b, c and d, which are shown in Figure 5.

Figure 6 shows the magnetic field at point a; the rotation from the infinitesimal element $\vec{dl}$, located on the negative z-axis (Z^-), towards the position vector $\hat{r}$, located on the positive y-axis (y^+), is counterclockwise. This implies, according to Farah's method, that the magnetic field is located on the positive part of the third free axis, which is the positive x-axis (x^+).

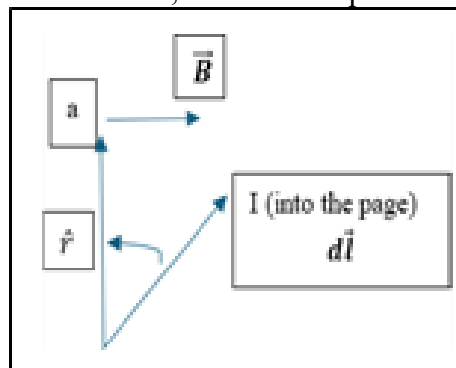


Figure 6. The rotation from $\vec{dl}$ (Z^-) to $\hat{r}$ (y^+) is counterclockwise. Hence, the magnetic field is located on the positive part of the third free axis (x^+).

Figure 7 shows the magnetic field at point b. The rotation from $\vec{dl}$, located on the negative z-axis (z^-), towards the position vector $\hat{r}$, located on the positive x-axis (x^+), is clockwise. Consequently, based on Farah's method, the magnetic field is located on the negative part of the third free axis, which is the negative y-axis (y^-).

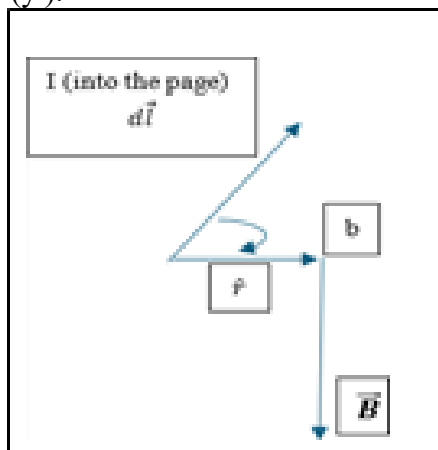


Figure 7. The rotation from $\vec{dl}$ (z^-) to $\hat{r}$ (x^+) is clockwise, the magnetic field is located on the third free axis, the negative part of it (y^-).

Regarding the magnetic field at point c (figure 8), at this point, the rotation through the minimal angular path from $\vec{dl}$, located on the negative z-axis (z^-), towards the $\hat{r}$, located on the negative y-axis (y^-), is clockwise. Subsequently, according to Farah's method, the magnetic field is located on the negative part of the third free axis, which is the negative x-axis (x^-).

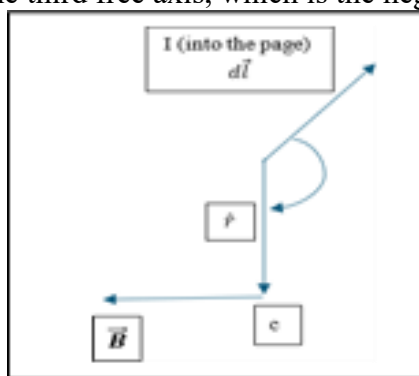
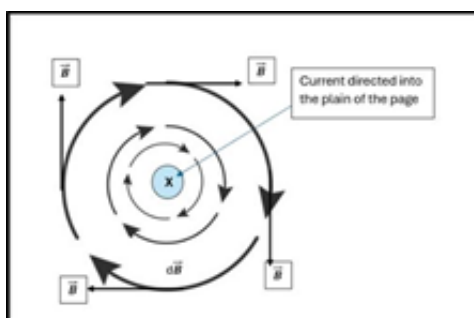


Figure 8. The rotation from $\vec{dl}$ (z^-) to $\hat{r}$ (y^-) is clockwise, the magnetic field is located on the third free axis, the negative part of it (x^-).

Figure 9 shows the magnetic field at point d. As can be seen in the figure below, the rotation from $\vec{dl}$, which is located on the negative z-axis (z^-), towards the $\hat{r}$, located on the negative x-axis (x^-), is counterclockwise. This

Diagram illustrating the cross product $\vec{d} \times \vec{p}$. Vector $\vec{d}$ points vertically upwards, and vector $\vec{p}$ points horizontally to the right. The resulting vector $\vec{d} \times \vec{p}$ points out of the page, represented by a dot in a circle.

By gathering the directions of the magnetic field at points a, b, c, and d, shown in figures 6, 7, 8 and 9, and considering that the magnetic field direction at any given point in space is the tangent to the field line (Serway & Jewett Jr, 2014), a circular clockwise magnetic field line will be formed, refer to figure 10.



This scenario demonstrates the method's versatility, suitable for visualization in 3D simulation tools, enhancing student engagement in physics education.

This study evaluates a proposed method, referred to as Farah's Method for convenience, as an alternative to the traditional right-hand rule (RHR) for determining magnetic field and force directions in electromagnetism. By replacing hand gestures, spatial visualisation-based, with Cartesian coordinate rotations, axis rotation-based, Farah's Method aims to enhance student understanding, particularly for those challenged by the RHR's three-dimensional visualisation and hand-positioning requirements (Hegarty, 2014). The effectiveness of the method is assessed in this study using a quasi-

experimental design through comparison of learning outcomes among students who use Farah's Method and those who use the RHR. The methodology entails participant recruitment, instructional interventions, assessment design, and data analysis in order to achieve a robust test of this method's impact on physics teaching. This is on par with technology-supported learning spaces, where computer capabilities such as virtual simulations can facilitate instruction in vector analysis (Mayer, 2009).

Participant Selection and Sampling

The study involved 60 secondary school students enrolled in an IGCSE introductory electromagnetism course. Students were assigned randomly to two groups of 30 students each: a control group taught using the RHR and an experimental group taught using Farah's Method. Random assignment controlled for biases in relation to previous knowledge or cognitive ability with similar baseline characteristics. A power analysis was used to estimate the sample size with a desired effect size of Cohen's $d > 0.8$ to detect significant differences in learning gain (Cohen, 1988). The rigorous selection process enhances the validity and generalizability of the study to similar educational contexts, for example, technology-enabled STEM programs.

Instructional Intervention

Both classes had access to identical instructional content, including lectures, problem sets, and guided practice in magnetic force and fields, instructed over two weeks by a single instructor. The only variation was how vector directions were chosen. The control group used the RHR, utilizing hand motions to align velocity, magnetic field, and force vectors, as found in standard physics textbooks (Serway & Jewett Jr, 2014). The experimental group, however, was taught Farah's Method, which involves minimal-angle clockwise or counterclockwise rotation of Cartesian coordinate axes to define vector directions without actual motion.

Instructional materials were consistent across groups, ensuring equal exposure to practice problems. The use of a single instructor minimized variability in teaching style, isolating the effect of the instructional method. Farah's Method's structured approach is compatible with digital platforms, such as interactive physics simulations, where coordinate rotations can be visualised to enhance student engagement (Sweller, 2010). This intervention design supports the study's aim to evaluate a scalable, technology-compatible pedagogy for STEM education.

Assessment Design

To evaluate Farah's Method, assessments measured conceptual understanding, problem-solving accuracy, and efficiency. All students

completed a 20-item multiple-choice pre-test to assess their baseline knowledge of electromagnetism. The test, validated by subject-matter experts, demonstrated strong internal consistency (Cronbach's $\alpha = 0.82$). For your reference, a sample of a few pre-test questions is shown below in Figure 11.

A post-test mirrored the pre-test's structure but included new questions in order to evaluate the conceptual development after the two-week intervention (see Figure 12).

2. The magnetic field unlike the electric field is continuous.

a. true
b. false

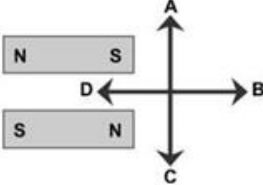
3. If the north poles of two bar magnets are brought close to each other, the magnets will:

a. attract.
b. repel.

4. If the south pole of one bar magnet is brought near the north pole of a second bar magnet, the two magnets will:

a. attract.
b. repel.

5. The figure below shows 2 bar magnets of the same size and the same strength. Which of the arrows labelled A to D correctly represents the direction of the magnetic field at a point located at the common origin of the arrows? (That point is at an equal distance from the two magnets.)



a. A
b. B
c. C
d. D

Figure 11. Sample of the pre-test questions

7. Determine the direction of the magnetic force on a **positive** charge that moves as shown in each of the six cases?

(a) (b) (c) (d) (e) (f)

8. The direction of the force on a current-carrying wire in a magnetic field is described by which of the following?

- parallel to the current only
- parallel to the magnetic field only
- perpendicular to the current only
- perpendicular to the magnetic field only
- perpendicular to both the current and the magnetic field

9. The force on a current-carrying wire in a magnetic field is the strongest when

- the current is parallel to the field lines.
- the current is at a 30° angle with respect to the field lines.
- the current is at a 45° angle with respect to the field lines.
- the current is at a 60° angle with respect to the field lines.
- the current is perpendicular to the field lines.

Figure 12. Sample of post-test conceptual questions that all the students had to complete after the two-week intervention.

4. A straight wire 20 cm long, carrying a current of 4 A, is in a uniform magnetic field of 0.6 T. What is the force on the wire when it is at an angle of 30° with respect to the field?
- 0.2N
 - 0.3N
 - 0.4N
 - 0.5N
 - 0.6N
5. An alpha particle is moving at a speed of 5×10^5 m/s in a direction perpendicular to a uniform magnetic field of strength 4×10^{-2} T. The charge on an alpha particle is 3.2×10^{-19} C and its mass is 6.6×10^{-27} kg.
- As the alpha particle moves, its velocity is directed
-
- The magnitude of the force on the alpha particle is
-
6. A long, straight wire conductor carries a 2.0A current. What is the distance from the axis of the conductor that will make the resultant magnetic field have a magnitude of 0.3×10^{-4} T?

Figure 13. Sample of problem-solving activities that were used to determine both the accuracy and the efficiency.

Additionally, students completed 10 problem-solving tasks requiring magnetic field and force calculations. Figure 13 above, shows an extract of the problem-solving assessment, which illustrates both multiple-choice and free-response problems that students had to solve. Accuracy was measured as the percentage of correct solutions, while efficiency was assessed by recording the time taken per task. These assessments were designed to be adaptable to digital platforms, such as online quiz systems or virtual labs, enhancing their relevance to technology-driven education (Mayer, 2009). The combination of multiple-choice and problem-solving tasks provided a comprehensive evaluation of learning outcomes.

Data Analysis and Justifications

Mean scores and standard deviations were calculated for pre-test, post-test, problem-solving accuracy, and completion times. Paired t-tests compared pre-test and post-test scores between groups to assess instruction effectiveness. Independent t-tests compared post-test scores and problem-solving accuracy in the RHR group versus the Farah's Method group to test the hypothesis that Farah's Method yields superior results. Completion times

were similarly compared to assess efficiency. These statistical tests, while controlling for differences in individual performance, provided a rigorous comparison (Cohen, 1988). Statistical software was utilized to examine data according to technology-supported research protocols in educational research.

Analysis

This study assessed the efficacy of the proposed technique, simply referred to as Farah's Method, as a replacement for the traditional RHR in determining magnetic field and force directions in electromagnetism. By employing Cartesian coordinate rotations instead of hand gestures, Farah's Method aims to improve student understanding, problem-solving accuracy, and efficiency and reduce cognitive load (Hegarty, 2014). The research combines quantitative metrics (pre/post-test performance, problem-solving accuracy, efficiency) with qualitative metrics (subjective cognitive load) to evaluate the effect of the method. Results were calculated with statistical software, adhering to technology-aided best practices, and have instructional implications for digital learning systems where data visualisation and interactive quizzes can more effectively instruct STEM subjects (Mayer, 2009).

Comparative Analysis of Learning Gains

To measure learning gains quantitatively, students were assessed using pre-test and post-test scores. Descriptive statistics in Table 1 show a significant increase in students' understanding after instruction in both methods.

Table 1. Descriptive Statistics for Pre-Test and Post-Test Scores

Group	Pre-Test Mean (%)	Pre-Test SD	Post-Test Mean (%)	Post-Test SD
Right-Hand Rule	42.03	2.48	61.27	3.72
Farah's Method	41.57	2.27	80.47	3.98

The pre-test mean scores of both groups were similar (42.03% for RHR and 41.57% for Farah's Method, refer to Table 2), indicating that students had equal prior knowledge. However, with instructional intervention, Farah's Method performed better, with an average post-test score of 80.47%, while that of the RHR group stood at 61.27%. A paired t-test was employed to determine the statistical significance of the gains in learning between each of the groups.

Table 2. Paired t-Test for Pre-Test and Post-Test Scores

Group	Mean Difference (%)	t-value	p-value ($\alpha=0.05$)	Effect Size (Cohen's d)
Right-Hand Rule	19.24	14.27	<0.001	2.01
Farah's Method	38.9	23.89	<0.001	3.42

Both conditions significantly improved ($p < 0.001$), with Farah's Method being more effective ($d = 3.42$) than RHR ($d = 2.01$), reflecting greater conceptual knowledge and learning (Cohen, 1988). The findings imply the usability of the method by integrating it into online assessment platforms, where immediate feedback could be provided to enhance learning performance.

Post-Test Comparison Between Groups

To compare the post-test performance of both groups, an independent t-test was conducted (refer to Table 3).

Table 3. Independent t-Test for Post-Test Scores

Comparison	Mean Difference (%)	t-value	p-value ($\alpha=0.05$)
Farah's vs. RHR	19.2	18.72	<0.001

The significant mean difference (19.20%, $p < 0.001$) once again confirms that Farah's Method outshone RHR, demonstrating that Cartesian rotations support a more profound understanding than hand gestures. This advantage supports the method's flexibility to suit virtual learning environments, in which visualisations using coordinates can be implemented.

Conceptual Understanding and Problem-Solving Accuracy

The assessment of conceptual understanding relied on problem-solving accuracy, which evaluated students ability to identify proper forces and field directions (refer to Table 4).

Table 4. Problem-Solving Accuracy Comparison

Group	Mean Accuracy (%)	SD
Right-Hand Rule	66.87	3.21
Farah's Method	87.63	2.74

The results demonstrated statistical significance through an independent t-test analysing accuracy levels (refer to table 5):

Table 5. Independent t-Test for Problem-Solving Accuracy

Comparison	Mean Difference (%)	t-value	p-value ($\alpha=0.05$)
Farah's vs. RHR	20.76	22.84	<0.001

Students who applied Farah's Method achieved 87.63% mean accuracy and outperformed RHR users, who reached 66.87%. The statistical significance of this improvement becomes evident through a high t-value (22.84) together with a p-value below 0.001. The research demonstrates how removing hand movements from the process leads to better accuracy performance during three-dimensional force and field problem-solving. This precision is valuable for digital simulations, where accurate vector modelling enhances student engagement (Sweller, 2010).

Efficiency: Time Taken per Question

The evaluation of method efficiency measured how much time students needed to answer each question with the two different procedures (see Table 6).

Table 6. Average Time Taken per Question

Group	Mean Time (sec)	SD
Right-Hand Rule	53.12	3.72
Farah's Method	35.87	2.83

Table 7. Independent t-Test for Time Efficiency

Comparison	Mean Difference (sec)	t-value	p-value ($\alpha=0.05$)
Farah's vs. RHR	17.25	19.63	<0.001

Students who used Farah's Method needed 17.25 seconds less to solve problems, which researchers confirmed as statistically significant ($p < 0.001$). Students needed fewer mental resources because of this, which enabled them to answer questions at a faster pace (refer to table 7). It indicates reduced cognitive effort and faster processing, ideal for time-sensitive digital assessments.

Cognitive Load and Student Perception

A Likert-scale questionnaire accompanied the cognitive load assessment through which students graded the usage difficulty of each method (1–5).

Table 8. Perceived Cognitive Load (Mean Ratings)

Method	Spatial Complexity	Mental Effort	Ease of Use	Overall Rating
Right-Hand Rule	4.23	4.11	2.76	3.7
Farah's Method	2.14	2.27	4.52	4.31

As shown in Table 8, students found Farah's Method more convenient to apply based on their average scores of 4.31 compared to RHR at 3.70. Students invested less effort in acquiring orientations (2.27 vs. 4.11) compared to Cartesian coordinate rotation using other methods (2.14 vs. 4.23). These results affirm the suitability of the method for technologically rich environments, where simple interfaces reduce cognitive load (Sweller, 2010).

Discussion of findings

In this study, this novel method is demonstrated to enrich the traditional right-hand rule (RHR) employed to teach directions of magnetic field and force in electromagnetism by replacing hand movements with Cartesian coordinate rotations. The method improves learning, accuracy and problem-solving speed, as well as minimises cognitive load (Hegarty, 2014). These results have instructional implications for physics instruction and adhere to technology-enhanced learning since computational software, such as interactive simulations, can reproduce coordinate rotations to aid student learning (Mayer, 2009). The organised structure of the method also has potential use within other STEM courses, including mechanics and computer graphics, where three-dimensional vector analysis is essential.

Enhanced Learning Outcomes

Post-test results showed substantial gains in learning by the Farah's Method group, 80.47% mean versus 61.27% for the RHR group, a 19.20% difference ($p < 0.001$). Pre-test results were comparable (Farah's Method: 41.57%, RHR: 42.03%), validating equivalent baseline knowledge. The larger effect size for Farah's Method (Cohen's $d = 3.42$ vs. RHR: $d = 2.01$) demonstrates more effective knowledge recall and application (Cohen, 1988). This improvement comes from the method's dependence on mathematical transformations rather than hand movement, which makes cognitive processes simpler. Unlike the RHR, with its students' coordination of hand movement and visualisation of three-dimensional relationships, Farah's Method uses

rotation of coordinate axes in a clockwise or counterclockwise direction, which reduces spatial-visualisation errors. These advantages are ideally suited for computer learning environments like PhET simulations, in which dynamic visualisations can be used to aid in conceptual understanding (Sweller, 2010).

Improved Problem-Solving Accuracy and Efficiency

Farah's Method led to a significantly higher accuracy in problems solved, with students attaining a mean accuracy of 87.63% compared to 66.87% for RHR users, a difference of 20.76% ($p < 0.001$). The accuracy is attributed to the systematic nature of the method, which avoids the hand-positioning errors prevalent in the RHR. Furthermore, students who employed Farah's Method solved problems more quickly, averaging 35.87 seconds per problem versus 53.12 for RHR users, a reduction of 17.25 seconds ($p < 0.001$). RHR's reliance on iterative hand modification increases cognitive duration and effort, while Farah's Method's coordinates-based thinking maximises decision-making. This kind of efficiency can work in favour of technology-enabled assessment, in which time-dependent activities can be incorporated into online modules or virtual labs and lead to increased student engagement in STEM courses.

Reduced Cognitive Load

Cognitive load measures confirmed that Farah's Method is less cognitively demanding. Students scored their spatial complexity (2.14 vs. 4.23), mental effort (2.27 vs. 4.11), and general difficulty lower than the RHR, but with higher ease of use (4.52 vs. 2.76). The visual and kinesthetic requirements of the RHR impose heavy psychological burdens, particularly for learners with spatial thinking difficulties (Hegarty, 2014). On the other hand, the mathematical form of Farah's Method decreases cognitive workload, allowing the method to be applied by different learners. This aligns with cognitive load theory and enables its use in digital interfaces, where the reduction of visualizations decreases mental strain (Sweller, 2010).

Educational Implications

Farah's Method is a pioneering pedagogy for teaching physics beyond the limits of the RHR for spatial or kinesthetic students. Its gesture-free, technology-compatible design suits contemporary pedagogical aspirations for conceptual understanding rather than memorisation. By leveraging tools such as virtual reality or simulation software, instructors can adopt the method in online, blended, or classroom learning environments, improving accessibility and equity in STEM subject learning. Its application is found in all areas that require vector analysis, e.g., robotics and engineering, hence expanding its use in academia.

Limitations and Future Research

Although it has its merits, the research has its limitations. The sample was restricted to IGCSE-course high school students, with possible limitations in generalizability to advanced physics or engineering applications. Long-term retention and applicability to complicated situations (e.g., non-orthogonal vectors) were not measured. Certain students with existing knowledge on the RHR might be resistant to changing to another approach, which indicates a gradual introduction as a requirement. Long-term retention, application on upper-level courses, and increased incorporation of technology like augmented reality, where 3D visualisations can even decrease cognitive load even more, are some directions to be explored in future research. Research with more heterogeneous populations, such as younger students or non-STEM majors, might also make the approach even more generalisable.

A significant limitation encountered in this study is the scarcity of reliable resources addressing alternative approaches to the right-hand and left-hand rules, which remain dominant in mainstream physics textbooks. The method proposed in this research represents a novel, hands-free approach for determining the direction of the magnetic field and force. Based on the data analysis, it can be argued that this method has the potential to serve as an effective substitute for the conventional right-hand/left-hand rules.

Conclusions

The research proposed a new approach, referred to as Farah's Method, as an alternative to the conventional right-hand rule (RHR) for determining directions of magnetic fields and forces in electromagnetism. While RHR depends on hand movements and intuition about three-dimensional space, Farah's Method utilises deterministic Cartesian coordinate axes rotation to enable vector analysis (Hegarty, 2014). The results show that this gesture-free method considerably improves student comprehension, accuracy in problem-solving, and speed and lowers cognitive load when compared to the RHR. Due to its logical and easy-to-implement methodology, Farah's Method abolishes memorized physical gestures, making it a more efficient and accessible tool for physics instruction.

The quasi-experiment with 60 high school participants showed that Farah's Method resulted in improved learning, with average post-test scores of 80.47% as opposed to 61.27% in the RHR group ($p < 0.001$). Accuracy in problem-solving was higher (87.63% vs. 66.87%), and it took students less time to solve problems (35.87 seconds vs. 53.12 seconds), while perceived cognitive load was lower (overall rating: 4.31 vs. 3.70). These results show the effectiveness of the method in automating cognitive processes and increasing conceptual clarity, particularly for spatial reason or kinesthetic challenges. (Sweller, 2010). Farah's Method not only outperforms traditional

approaches but also supplements technology-mediated environments, such as PhET Interactive Simulations or virtual worlds, where rotation of coordinates can be viewed live to engage the students (Mayer, 2009).

Farah's Method has far-reaching implications for the teaching of physics today, providing a technology-sensitive and scalable pedagogy that encourages conceptual understanding over rote memorisation. Its applications are not limited to electromagnetism alone but can be extended to other STEM disciplines such as mechanics, engineering, and computer graphics, where three-dimensional vector calculus is the governing paradigm. By its integration with digital platforms, including augmented reality interfaces or computer-based testing systems, the approach can reach its greatest access and equity in STEM learning, meeting diverse needs of learners within classroom and online environments. Farah's Method, with its integration into educational technology, represents a revolutionary methodology for rethinking STEM teaching.

Although it has some benefits, the study's scope was limited to high school students who were enrolled in an IGCSE curriculum, and applicability or retention in more advanced physics subjects (e.g., non-orthogonal vectors) is left to be determined. Future studies should test the effectiveness of the approach with higher-level physics and engineering courses as well as with diverse student populations, such as younger students or non-STEM majors. Examining integration with cutting-edge technologies, such as augmented reality or adaptive learning software, could further enhance its teaching potential. Moreover, research needs to test whether exposure to the RHR discourages adoption of Farah's Method and whether and how phased implementation strategies can overcome resistance.

In conclusion, Farah's Method is an innovative approach to electromagnetism education that provides a precise, efficient, and accessible solution to the RHR. Its mathematical structure and flexibility to utilize digital learning media make it a strong prospect to be universally implemented in physics classes. The science community is invited to further explore its effectiveness through various learning contexts and integrate it into technology-aided curricula to maximize its impact on STEM learning achievement.

Conflicts of Interests: The author reported no conflict of interest.

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

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

Declaration for Human Participants: The study was conducted in accordance with the ethical standards of the Institute of Applied Technology (IAT) and was approved by its Ethics Committee. Informed consent was obtained from all participants or their legal guardians.

References:

1. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)*. Lawrence Erlbaum Associates.
2. Giancoli, D. (2020). *5th Edition Physics for Scientists and Engineers*. U.S.: Pearson Education, Inc.
3. Hegarty, M. (2014, April). Spatial Thinking in Undergraduate Science Education. *An Interdisciplinary Journal Spatial Cognition & Computation*, 14(2), 142-167.
<https://doi.org/10.1080/13875868.2014.889696>
4. Ling, S. J., Moebs, W., & Sanny, J. (2016). *University Physics Volume 2 (Vol. 2)*. Houston, Texas: OpenStax. Retrieved from <https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/1-introduction>
5. Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning (2nd ed. ed.)*. Cambridge University Press.
<https://psycnet.apa.org/doi/10.1017/CBO9780511811678> or [Multimedia Learning](#)
6. Serway, R. A., & Jewett Jr, J. W. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Ninth Edition*. Boston: Brooks/Cole.
7. Serway, R. A., & Vuille, C. (2013). *College Physics, Volume 1, 10th edition*. Stamford: Cengage Learning.
8. Sweller, J. (2010). Cognitive load theory: Recent theoretical advances. In J. L. Plass, R. Moreno, & R. Brünken, *Cognitive load theory* (pp. 29-47). Cambridge University Press. [Cognitive Load Theory](https://doi.org/10.1017/CBO9780511844744.004) or <https://doi.org/10.1017/CBO9780511844744.004>
9. Young, H. D., Freedman, R. A., & Ford, L. A. (2012). *Sears and Zemansky's University Physics: with Modern Physics. 13th edition*. San Francisco: Pearson Education, Inc.

Teaching Magnetism to Preschoolers through ICT: An Early Childhood Science Approach

Stavroula Skothou

Maria Trapali

Department of Biomedical Sciences,
University of West Attica, Athens, Greece

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p39](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p39)

Submitted: 13 February 2025

Accepted: 25 July 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Skothou, S. & Trapali, M. (2025). *Teaching Magnetism to Preschoolers through ICT: An Early Childhood Science Approach*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 39. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p39>

Abstract

This publication aims to explore the introduction of scientific concepts during preschool age, focusing specifically on the natural sciences and the concept of magnetism. The properties and types of magnets were chosen as the central theme based on the children's interests. The educational process began with a series of structured activities designed by the educator, followed by the integration of Information and Communication Technologies (ICT), including educational software and interactive tools used by the children. A key element of the approach was the creation of an improvised story-a fairy tale scenario-that served as a springboard for the implementation of the activities. Through the use of ICT, children were encouraged to explore and verify the concepts of magnetism and magnet properties. The use of these digital tools played a crucial role not only in reinforcing previously acquired knowledge but also in introducing new technological challenges that further enhanced the educational process. In conclusion, the integration of storytelling, hands-on activities, and ICT in teaching magnetism at the preschool level demonstrates the effectiveness of technology in enhancing engagement, understanding, and knowledge retention in early childhood science education. The evidence indicates that the integration of structured educational activities with Information and Communication Technologies (ICT) proved to be an effective approach for enhancing preschool children's conceptual understanding of magnetism. Increased engagement and active

participation were observed, as storytelling and play-based methods facilitated the comprehension of core scientific concepts, such as the properties and types of magnets. ICT tools supported experiential learning by enabling children to explore, experiment, and verify acquired knowledge. Improvements were noted in observation skills, the formulation of simple hypotheses, and the ability to draw basic conclusions. Overall, the pedagogical design-enriched through the use of digital technologies, yielded positive learning outcomes and contributed significantly to the development of early scientific thinking within a preschool education context.

Keywords: Preschool, magnets, magnetism, science

Introduction

Magnetism in early childhood

The main goal of this teaching intervention is to help children explore magnets and the concept of magnetism. More specifically, the implementation of this educational approach focuses on understanding the properties of magnets in relation to other magnets, as well as their interaction with various materials, the identification by children of the magnetic field, through activities that are meaningful to them, and that challenge them, and at the same time invite them to participate in them. At this point, an important factor is the use of ICT in childhood education. Through modern science, children better understand the phenomenon of technology, information, and communication, and the possibilities that can be applied in preschool, hoping to promote a more advanced development of children (Zhao J. et al., 2022).

The use of ICT in preschool education attempts to address different aspects related to the subject matter, recognizing the opportunities for learning and the potential risks involved, while also exploring new trends for further development (Kremer M et al., 2013). Some key characteristics of children at this stage include physiological limitations, difficulty with abstract thinking, limited attention span, and a tendency toward animism and anthropomorphism (Barra C.L. et al., 2023).

The younger the child is, the more obvious the above-mentioned characteristics become. As educators, in order to organize science activities that are meaningful to children (Fig.1) and to choose appropriate software in which children can experiment, these specific characteristics must be respected. This ensures that children can respond appropriately to the aforementioned factors and that the previously set goals are both realistic and achievable (Holm A et al., 2023), (Chan DK, 2024). The topic of magnets and magnetism, while scientific in nature, was introduced through a fairy tale format to facilitate experimentation (Aboud KS et al, 2019), (Pulimeno M. et al., 2020), (Wallace R. et al., 2019), (Goodwin SC, 1997). The fairy tale "The

"Adventures of Takis Magnetakis" was written with these developmental traits in mind. Special care was taken to incorporate the unique characteristics of young children, aiming to translate scientific knowledge into an age-appropriate form and to adapt the intended cognitive goals to the needs of the learners (Raptis & Rapti, 2007).

Based on the subject presented in the fairy tale, related activities and experiments were designed and appropriate educational software was selected. Technology was used to introduce the concept of magnetism and magnets, helping students gain a basic understanding of these concepts.

Research methodology

This study adopts a qualitative research approach, emphasizing a teaching intervention aimed at fostering early scientific thinking. The research design involves the development of educational materials, the implementation of an experimental teaching framework, and the integration of epistemic knowledge through narrative practices, hands-on experimentation, and the use of digital tools to support learning in early childhood settings.

A purposive sampling strategy was employed to select participants most appropriate for the research aims. The sample consisted of preschool children aged between 3 and 3.5 years, drawn from a single early childhood education setting. This specific age range was chosen to investigate the emergence of early scientific reasoning through structured and play-based learning experiences. Selection criteria included accessibility, parental consent, and the willingness of educators and caregivers to support the research process. Ethical considerations were strictly followed, including informed consent and the anonymization of participant data.

The study was conducted in strict accordance with ethical standards governing research involving minor participants. The study design included structured educational activities integrated within the regular kindergarten curriculum, posing no physical or psychological risk to the participants. No personal or identifiable data were collected from the children, ensuring full anonymization and protection of their privacy. Prior to implementation, informed consent was obtained from the legal guardians of the children, and the kindergarten educators were fully informed and provided explicit approval for the study. The research protocol was reviewed and granted exemption based on its educational and non-invasive nature.

The educational intervention was organized into sequential phases, structured to ensure a balance between guided learning and child-led exploration. In more specific terms, the implementation process involved the following stages: design of activities, narrative and technology integration, experimental and experiential learning, discussion, and reflection. All stages were systematically documented through observational field notes,

photographs, and samples of children's work, allowing for rich data collection across multiple modes of expression.

A thematic content analysis was employed, consistent with the qualitative nature of the study. The analytical process focused on the following data sources:

- 1) Observational data: Field notes were coded for key themes such as engagement level, expressed curiosity, scientific behaviors, and language use related to scientific content.
- 2) Children's artifacts: Drawing and constructions were analyzed for conceptual understanding, symbolic representation, and relevance to the learning objectives.
- 3) Verbal interactions and feedback: Transcripts and recordings of discussions were examined to identify moments of meaning-making, conceptual shifts, and personal interpretations by the children.

Data analysis occurred iteratively and reflexively, both during and after the intervention, enabling continuous refinement of the educational design and the emergence of interpretive categories grounded in the children's authentic responses.



Figure 1. Teaching preschool children

***Presentation of activities: Title of the activity 'Do you want to be friends?'
Objectives/Scientific Ideas***

- To arouse students' curiosity and satisfy their need for action and experimentation.

- To get children to approach some characteristic properties of magnets, in particular, the attraction of magnetizable materials (distinguishing magnetizable materials from non-magnetizable materials).

Description

The children are divided into groups. To explore the topic, the teacher starts reading the first part of the story 'The Adventures of Takis Magnetakis' to the children and stops at the point where the magnet is stuck to the fridge. At this point, the teacher traces the children's ideas about magnets. Then, the groups of children, having been provided with the materials that the hero of the fairy tale encounters, are invited to experiment with them and come up with whether they become friends or not. After separating the materials based on their behavior when they approach the magnet, they classify the materials into a log table (objects that are magnetized and objects that are not magnetized).

First part of a fairy tale

Takis, the round little yellowish-marble magnet from Magnesia, lived in the house of Mr. Epistimonakis. He carried, with his south pole, a small notepad of notes. On it, the people of the house wrote things they had to remember. When the pad was finished, Takis would step out of the fridge for a while to stretch his legs and then return to his seat to hold a new pad of notes. Up there, in the fridge where he lived, he could see everything. He had the whole world at his feet. And... not only that! He had also acquired a very good friend, the fridge, and even though they were separated by the notepad that never spoke to them, as it didn't fit in their company, the two of them, day and night, and their conversations dragged on for hours. Just as they were drawn to each other. Takis was happy with his life.

So, he thought...

One day, Mr. Epistimonakis pulled out a sheet of paper with force. Takis did his best to hold the block in place, but he couldn't. He fell down hard. It jerked away, spun on the tiles for a moment, and stopped. He stopped in the corner by the kitchen door, the north pole facing the ceiling. In an instant, his life was turned upside down.

Or so he thought...

Mr. Epistimonakis looked for him, couldn't find him, and put in a - what did he call it...Ah! Blue tack until he bought a tape recorder. On leaving, he passed him, and so as he tried to get the keys out of the door- chop! He dropped them! Straight away, Takis just felt the keys close by, felt a pull and stuck on them, without Mr. Epistimonakis being aware of it.

Whew! Okay Takis sighed, " I've made myself comfortable again and something tells me we're going to make great company!"

He thought so...

The plastic key chain that supported the keys ostentatiously disdained Takis, and only the keys attracted him, and they became inseparable. And what Takis did not experience on the keys of Mr. Epistimonakis! When he entered his portfolio, he beheld all sorts of things! A yellow chalk for the blackboard of the University, you know, but which wanted to be left alone, like a lemon! "He's probably got the color!" he thought. But also, a big paperclip that, on seeing him, ran quickly over to greet him and never left him again. And he saw a glass marble, of a cold blue color, which did not even react to the sight of Takis. And a wooden pencil that stood there unmoving, upright, ready to "mark" another page. But also, a handkerchief that was prolonged further along, seemed inaccessible, unapproachable, unapproachable. But it had to be taken out again and put into other bags!

In the supermarket bag, for example, he got a close look at the smelling fruits and vegetables, but...they didn't click. Instead, a fine 9V battery caught his eye, and they became friends at once. In the sea bag, there you see! He met a rock and a pumice stone for the first time. But even the pumice stone seemed heavy and weightless. And what can I tell you about the mirror! Wouldn't Takis ask, "Mirror, mirror, mirror, is there a more beautiful magnet in the world?" The mirror- nothing. On the other hand, the peg that fastens the towel came briskly up to him and told him he could trust his iron arms.

"I've seen it all," thought Takis.

So, he thought.

Returning from the sea, the lady of the house took the keys and –

"Oh, what have we here? A magnet has pulled a bunch of iron objects!" She grabbed Takis by the north pole, pulled him hard, and threw him onto the entrance landing.

"That's it, it's the end of me..." Takis whimpered.

So, he thought.

The next day, while Mr. Epistimonakis bent down to pick up his morning paper, what did he see? 'Our old magnet...what on earth is he doing here?' he muttered. He picked it up and tossed it into the toolbox.

Taki found himself between a screw and a nail.

'There he is,' the fine-tipped screw said to him. "What news from outside?" The tiny nail asked him from his corner.

"Ah here's good company!" Takis thought.

So, he thought.

Activity title: 'I'm attracted - I'm not attracted'

Objectives/Scientific Ideas

- To approximate some characteristic properties of magnets- Magnets have two poles.
- To discover the attractive property between (heteronymous) magnetic poles.
- To discover the repulsive properties between like (homonymous) magnetic poles.
- To introduce the concept of magnetic field.

Description

The teacher begins by reading the second part of the fairy tale 'The Adventures of Takis Magnetakis'. The children are divided into groups, and each group receives two magnetic rings to use in their experiments. The educator encourages the children to manipulate the magnetic rings and, through hands-on exploration, discover the attraction between opposite poles and the repulsion between like poles. At the end of the activity, the children discuss the results of their experiments.

Second part of a fairy Tale

Takis, the little Magnetakis, had many adventures as a child. One day- like all the others- he ended up inside a cardboard box. And there, he saw something he had never imagined before! He saw a beautiful, round, purple-and-yellow little magnet.

"Oh, you look like a fairy," whispered the poor little magnet, as if enchanted.

"Beauty of the world, wait! Will you tell me your name?"

"My name is simply Catherine the Magnet. What's your name, and why am I getting closer and closer to you?"

"My name is Takis Magnetakis, and as for the irresistible attraction, I have no idea what's going on."

"My dear Takis Magnetakis, I knew it was you the moment I saw you behind that screw." "Lovely Catherine, I feel dizzy and shaky. And it's so nice inside the box. Would you like, to join me?"

She brought her south pole close his north pole, because -as we all know- "North and north and south and south, don't go together." As the saying goes: 'Opposites attract!'

"But let me tell you, my sweet and handsome Takis Magnetakis. Are we going to be stuck together all the time? I can't deal with routine. I need my peace and quiet at least once a month!"

"Oh," thought Takis... "There's always a way to keep her from getting bored of me! "

"We've got that sorted too! So, when you feel like going for a walk on your own, just turn your back on me and I'll be gone in a flash!"

Activity title: 'Love goes through the stomach...'

Objectives/Scientific Ideas

- To stimulate children's curiosity and satisfy their need for action and experimentation.
- To help children explore some characteristic properties of magnets, particularly the attraction of magnetizable materials and the distinction between magnetizable and non-magnetizable materials.

Description

The teacher begins reading the third and final part of the story 'The Adventures of Takis Magnetakis'. Then, the children, seated in a circle, experiment with laminated cards placed on the floor by the teacher. These cards depict sweets. Attached to the end of these cards with a string. The children, in turn, appear with a ribbon on the end of each card is a small iron ring, fastened with string. In turn, each child approaches with a ribbon that has a magnetic ring attached to its end. Through this process of experimentation, the children are able to 'fish' for sweets, thereby discovering which materials are attracted to magnets and which are not.

Third part of a fairy tale

...And so, it happened! And since they say that love goes through the stomach, they went to the amusement park and ate sweets...What a funny and innocent game they played, what a ballerina ride they went on... Takis did everything he could to keep Catherine from getting bored with routine. He even caused a bit of a scene!

And the amusement park was just the beginning. What romantic excursions they took - to lakes and rivers for fishing, and to weightlifting competitions that Catherine enjoyed... And it seems they had a great time - and we had an even better one!

Activity title: 'Conflict- Resale'

Objectives/Scientific Ideas

- To approximate some characteristic properties of magnets.
- Discovery of the attractive magnetic property and distinguishing between magnetizable and non-magnetizable materials.
- Discovery of repulsive properties between like poles of magnets.

- To enable children to approximate the intensity of the magnetic field.

Description

The children are divided into groups, and each group is seated on a table, as the activity takes place on a smooth and flat surface. The teacher provides each group with magnetic rings and two toy cars with special holders for the magnets. Depending on how the magnets are placed, the cars either move closer together or are pushed apart. The children are encouraged by the teacher to manipulate the cars and magnets for a while in order to make them either repel or stick (collide). In addition, they are instructed to experiment and observe the effect of the number of magnets on the strength of the magnetic field. The more magnets are placed on the cars, the more forcefully the cars collide when attracted, and the greater the distance between them when repelled.

Activity title: 'Ballerina'

Objectives/Scientific Ideas

- To introduce children to the concept of a magnetic field.
- To explore some characteristic properties of magnets:
 - Magnets have two poles.
 - Attraction occurs between opposite poles (either by contact or at a distance).
 - Repulsion occurs between like poles.

Description

The children are divided into groups, and each group is provided with a story foam mat, which is attached to the table with paper tape. Attached to the story foam is a pendulum with a magnet at its end. The children are invited to experiment, play, cooperate, and this hands-on process, discover the attraction that occurs between two magnets with opposite poles and the repulsion between similar poles. The repulsion between magnets - where one is at the end of a pendulum - becomes a playful experience, as no matter how hard the children try, they cannot make the magnets 'stick' together. This makes the existence of a magnetic field around the magnets clearly observable in a fun and engaging way.

Activity title: 'Time for cleanliness'

Objectives/Scientific Ideas

- The visualization of the concept of the magnetic field.

Description

The educator continues reading the third part of the fairy tale 'The Adventures of Takis Magnetakis' to the children, where Takis and Catherin's companionship begins with...cleaning. The children are divided into groups, and each group is provided with a transparent box of iron filings and a magnetic ring. An experiment begins about the 'behavior' of the dust when the magnet is approached - when it moves right, left, up, and down. Ideally, in the first contact, there would be iron dust on an A4 sheet, which would be 'picked up' by the magnet. In the second phase, the dust is in a box to emphasize the strength of the magnetic field and the fact that it can attract objects even when there are obstacles. Because the overriding aim of the activity is to visualize the magnetic field, and not the strength of the magnet to attract objects through barriers, particular emphasis is placed on the material of the box contents, rather than on the box obstacle between them and the magnet.

Activity title: 'Weightlifting Competitions'

Objectives/Scientific Ideas

- To arouse students' curiosity and satisfy their need for action and experimentation.
- To measure the 'strength' of different magnets or the strength of the magnetic field of magnets.

Description

Children are divided into groups and asked to predict whether all the magnets available to them (bar magnet, horseshoe magnet, magnetic ring) have the same strength to 'lift' the same number or a different number of fasteners. They are then asked to find a way to check whether the magnets taking part in the weightlifting game are equally strong or whether one is superior to the others. Conclusions about which magnet is 'stronger' are drawn from measurements of the number of fasteners that each magnet lifts.

Activity title: 'Fishing with obstacles'

Objectives/Scientific Ideas

- To arouse the curiosity of young learners and their need for action and experimentation.
- To encourage children to explore certain characteristic properties of magnets, particularly the attraction of magnetizable materials (distinguishing materials from non-magnetizable ones).
- To test whether magnets attract objects when obstacles of different material and thicknesses are inserted.

Description

Children are divided into four groups. Each group is provided with a fishing rod (pole, rope, magnetic ring), magnetizable materials (e.g. safety pin, iron rod, coin, pin, small iron tools), and non-magnetic materials (e.g. craft stick, shell, glass, chalk, plastic toy, tulle, cloth, plastic piece). Each group also receives a glue stick, a piece of cardboard, a piece of cloth, and a book of approximately the same size and thickness. The children experiment to see whether the magnet can attract magnetic and non-magnetic materials, even when an obstacle is placed between the magnet and the object. The main aim is for the children to understand that the thicker the obstacle, the less effectively the magnetic force can penetrate it.

Presentation of educational software and games -Use of educational software Little Artists in Action

Objectives/Scientific Ideas

- To familiarize children with the use of the computer, mouse and keyboard.
- To experiment with searching for information and images on topics that interest them.
- To identify, among many pieces of information, those that are useful for understanding the topic.

Description

Children begin experimenting with the computer while engaging in a discussion about the usefulness of the device, how it works, and what kind of information we can extract about magnets and magnetism. Then begins a learning journey, where, through a basic search engine, we are led to the educational software 'Little Artists in Action'. One of the applications used is 'Let's draw together', where children, using various tools, create random drawings and then draw the characters from the story 'The Adventures of Takis Magnetakis', giving form to the magnets. Next the 'Learn to Draw' application is used, where children practice mainly the using the mouse and keyboard. This is followed by the 'Draw with ribbons' application, where, with a magic brush, children created 'magic magnets' in different colors, trying to match magnets that can connect with each other. Finally, the 'Print what you want on paper' application allows children to print pictures related to magnets and magnetism.

Use of YouTube website

Objectives/Scientific Ideas

- To familiarize children with using and searching on the computer, using the screen, keyboard, and mouse.

- To discover that YouTube website is an easy way to search for and find information through digital videos.
- To enable children to connect the visuals and fast-paced changes in the image with the knowledge they are acquiring.

Description

Children are introduced to the computer, and through the guided intervention by the teacher, we use a central search engine to access the YouTube website. By typing the words ‘magnets and ‘magnetism’ videos into the search field, related videos immediately appear. The videos shown to the children were carefully selected by the teacher. They were short and contained the basic information about magnets and magnetism. After viewing the videos, a discussion follows to help consolidate the newly acquired knowledge. This develops into a role-play activity, where children act as magnets, sometimes attracting and sometimes repelling one another.

Use of an Interactive Whiteboard

Objectives/Scientific Ideas

- To encourage children to experiment with the interactive whiteboard.
- To enable children to participate collectively and equally in educational activities.
- To engage children’s interest in the learning process.

Description

The interactive whiteboard was used to display a folder containing all the information acquired so far, including the characters and adventures from the fairy tale. Then, after watching the visual material, the children continued experimenting with the interactive whiteboard, focusing specifically on the drawing tool. Each child took turns illustrating elements from the story through their drawings. This hands-on interaction gave the children the opportunity to practice the theme while having fun at the same time.

Use of TYX PAINT digital drawing program

Objectives/Scientific Ideas

- To allow children to express their interests and demonstrate their understanding through the digital drawing program.
- To promote collaboration to achieve the desired result.

Description

The TYX PAINT digital drawing program offers children a variety of colors and tools, allowing them to create drawings using tools different from

those they usually use. While listening to the fairy tale 'The Adventures of Takis Magnetakis', the children created figures, faces, scenes, and objects from the story. In this way, they began designing various magic magnets, using colors that were sometimes placed close together and other times spaced apart.

Use of HOT POTATOES software

Objectives/Scientific Ideas

- To have the children experiment with the use of the computer.
- To introduce children to mathematical concepts, such as the concept of matching and filling in blanks.
- To approach some characteristics of magnets and the magnetic field.

Description

The children were introduced to a series of online exercises, the preparation of which was based on their age and abilities. Therefore, the matching and gap-filling exercises were mainly formulated with images related to the types of magnets, magnetizable and nonmagnetizable materials, and the properties of the magnetic field. In both types of exercises, pictures were chosen to replace the words in order to enable children to understand the understand of the exercises.

Use the STORY JUMPER tool

Objectives/Scientific Ideas

- The children will be able to combine the pictures with the corresponding texts in order to compose a story.
- To experiment in capturing their respective stories in pictures, leading to the creation of a picture book.

Description

After reading the story 'The Adventures of Takis Magnetakis', the teacher encourages the children to create their own drawings, which will relate to the different scenes from the above story. So while the teacher is reading the story, the children stop her at the points where they want to capture the moment from the story in their drawing. As the children complete the drawings, the educator then asks the children to place them in a time sequence. The educator's concern is then to use the Story Jumper tool to create a picture book that includes both the children's drawings and the words of the story. Finally, the illustrated book can be distributed to the children and their families. Also, a presentation can be made on the school premises, in which the children, teachers, and their classmates will participate.

Research results

The findings of the present study highlight the success of the teaching intervention through the active participation of the children, their increased engagement during the activities, and their overall responsiveness to the educational environment that combines storytelling and technology. The use of the improvised story script proved particularly effective in capturing the children's interest and maintaining their attention throughout the lesson. Furthermore, the integration of ICT enhanced the learning experience by offering interactive stimuli that facilitated the understanding of concepts such as magnetism. The participating educators expressed a positive attitude towards the use of technological tools and stated that this methodology boosted their confidence in teaching science in kindergarten. Despite the absence of quantitative data, observations and feedback from both the children and the educators provide clear indications of the approach's effectiveness, paving the way for its further development and application across broader populations and different scientific domains.

Conclusions

This paper aims to introduce science to preschoolers through the creation of an improvised story and a set of organized activities, and then through the use of communication and information technologies. The use of the story scenario was an important factor in engaging the children during the process of carrying out the teaching intervention. Subsequently, the proper use of ICT involves positive results for all involved, both for teachers and young learners. Active participation, continuous training, and experience make the respective teachers active in equipping the school units with a variety of technological means, which will be used in the realization of the educational process, especially when it comes to preschool children. Finally, young learners are placed in a new technological reality, which aims to enhance their learning development.

This research paves the way for future studies that can improve the teaching of science in pre-school education, such as quantitative evaluation of the method, including comparing the effectiveness of the method in different groups of children, and developing measurable indicators of understanding of magnetism before and after the teaching intervention. Also, possible research directions may include the investigation of the effect of storytelling on learning, in the way the use of stories enhances understanding and retention of knowledge, as well as the possibility of extending the method to other scientific fields. Completing the development of innovative educational tools, such as augmented reality and virtual reality, to be integrated in the teaching of science.

Some limitations of the research are the lack of quantitative data, as the evaluation is mainly based on observation and participation of children, without rigorous quantitative data. Also, the sample may be considered small and the results may not be generalizable to all preschool children. Still, the limitations in the use of technology may be difficult due to limited resources for the corresponding equipment, due to a lack of training of teachers in the use of technological tools. Maintaining children's attention is also an important factor, as young children have a limited attention span. In conclusion, despite the challenges, the use of storytelling and technology can make the magnetism process more accessible and interesting for children. However, careful planning, adequate training of educators, and adaptation to the needs of each child are needed for best implementation.

Acknowledgments: The authors would like to thank Assistant Professor Marietta Sidiropoulou (Department of Early Childhood Sciences of Democritus University of Thrace) for her knowledge and experience in the realization of this article.

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.

Declaration for Human Participants: No formal ethical approval was required for this educational study involving non-invasive classroom observation. However, the principles of the Helsinki Declaration were respected. Parental informed consent was obtained for all participants.

References:

1. Aboud KS, Bailey SK, Del Tufo SN, Barquero LA, Cutting LE. Fairy Tales versus Facts: Genre Matters to the Developing Brain. *Cereb Cortex*. 2019 Dec 17;29(11):4877-4888. doi: 10.1093/cercor/bhz025.
2. Barra CL, Coo S. Sociodemographic, biological, and developmental characteristics of preschool children born full-term and preterm. *Andes Pediatr*. 2023 Jun;94(3):286-296. doi: 10.32641/andespediatr.v94i3.4468.
3. Chan DK. Balancing screen time: Insights and impact on preschool children. *Ann Acad Med Singap*. 2024 Jul 24;53(7):402-404. doi: 10.47102/annals-acadmedsg.2024172.

4. Goodwin SC, Jenkins AP. Teaching through stories. *J Sch Health*. 1997 Aug;67(6):242-4. doi: 10.1111/j.1746-1561.1997.tb06314.x.
5. Holm A, van Reyk O, Crosbie S, De Bono S, Morgan A, Dodd B. Preschool children's consistency of word production. *Clin Linguist Phon*. 2023 Mar 4;37(3):223-241. doi: 10.1080/02699206.2022.2041099.
6. Kremer M, Brannen C, Glennerster R. The challenge of education and learning in the developing world. *Science*. 2013 Apr 19;340(6130):297-300. doi: 10.1126/science.1235350.
7. Pulimeno M, Piscitelli P, Colazzo S. Children's literature to promote students' global development and wellbeing. *Health Promot Perspect*. 2020 Jan 28;10(1):13-23. doi: 10.15171/hpp.2020.05. eCollection 2020. PMID: 32104653.
8. Wallace R, Kaliambou M, Qayyum Z. Fairy Tales and Psychiatry: A Psychiatry Residency's Experience Using Fairy Tales and Related Literary Forms to Highlight Theoretical and Clinical Concepts in Childhood Development. *Acad Psychiatry*. 2019 Feb;43(1):114-118. doi: 10.1007/s40596-018-0968-5.
9. Zhao J, Zhang X, Lu Y, Wu X, Zhou F, Yang S, Wang L, Wu X, Fei F. Virtual reality technology enhances the cognitive and social communication of children with autism spectrum disorder. *Front Public Health*. 2022 Oct 6; 10:1029392. doi: 10.3389/fpubh.2022.1029392.

Occupational Health Problems: An Assessment of the Cardiovascular Health Status of Road Construction Workers in Imo State, Nigeria

John Mark Bwala

Agwu Nkwa Amadi

Chimezie Christian Iwuala

Department of Public Health, School of Health Technology,
Federal University of Technology Owerri, Nigeria

Ugo Uwadiako Enebeli

Department of Community Medicine,
University of Port Harcourt Teaching Hospital, Nigeria

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p55](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p55)

Submitted: 01 May 2025

Accepted: 15 June 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Bwala, J.M., Amadi, A.N., Iwuala, C.C. & Enebeli, U.U. (2025). *Occupational Health Problems: An Assessment of the Cardiovascular Health Status of Road Construction Workers in Imo State, Nigeria*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 55.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p55>

Abstract

Aims and Scope: Road construction work is uniquely demanding and highly stressful, which may impact the cardiovascular system, and this study assessed the cardiovascular health status of road construction workers in Imo State, Nigeria, focusing on blood pressure (BP) and pulse rate (PR). **Methods:** A cross-sectional descriptive design was employed, using a multi-stage sampling technique from different construction sites across the 3 senatorial zones of Imo State to collect data from 353 male road construction workers through structured questionnaires and physical assessments (BP and PR measurements). Data were analyzed using descriptive statistics, including frequency distributions for categorical variables (e.g., prevalence of hypertension and tachycardia) and summary statistics such as means and standard deviations for continuous variables (e.g., BP and PR). **Results:** The results indicated that 23.2% of participants had systolic hypertension, 48.4% had high-normal systolic blood pressure (SBP), and only 28.3% had optimal and normal SBP. Also, 9.9% had diastolic hypertension, 19.8% had high-

normal diastolic blood pressure (DBP), and 70% had optimal and normal DBP. The differences across the classes of BP were statistically significant, $p < 0.001$. Also, 6.2% participants exhibited tachycardia, and the differences in the occurrence of diastolic hypertension and tachycardia across the senatorial zones were not statistically significant ($p = 0.11$ and 0.45 , respectively). Additionally, 76.2% of the workers lacked regular medical check-ups, and only 29.2% consistently used personal protective equipment (PPE). **Conclusions:** These findings underscore the significant cardiovascular health risks faced by road construction workers, exacerbated by limited access to healthcare and occupational safety measures. The findings highlight the need for improved occupational health policy enforcement, health education, routine screenings, and worksite health interventions.

Keywords: Occupational health, Road construction workers, Cardiovascular health, Blood pressure, Pulse rate, Imo State

Introduction

Road construction work is physically demanding and often conducted under extreme environmental conditions, which places significant stress on the cardiovascular system (Kumar et al., 2025). Workers are exposed to a myriad of occupational hazards such as intense physical exertion, prolonged exposure to sunlight, vibration from machinery, noise pollution, and inhalation of particulate matter and fumes (Kamardeen, 2022). These factors have been associated with the development and exacerbation of cardiovascular health problems, particularly high blood pressure (hypertension) and rapid pulse rate (tachycardia) (Karthick et al., 2023). Previous studies have shown that strenuous physical activity, environmental stressors (e.g., noise, heat, and vibration), environmental pollution, and long working hours are common in construction work. However, the availability and proper use of personal protective equipment can help to mitigate the effects of stressors, including physical strain and exposure to environmental pollution, noise, heat, and vibration (Darabont et al., 2024; Liu et al., 2020). These occupational stressors are recognized as contributing factors to cardiovascular diseases by the World Health Organization (WHO, 2021). Consequently, it is critical to prioritize the assessment of the health effects of occupational stressors in high-risk occupations, especially in construction work (Chung et al., 2018). Yet there is limited health research on Nigerian road construction workers.

Cardiovascular diseases are among the leading causes of morbidity and mortality worldwide (WHO, 2021). Occupational exposure, particularly in physically demanding jobs like road construction, is a significant risk factor for elevated cardiovascular parameters. In Nigeria, especially in States such as Imo State, where infrastructure development is on the rise, road construction

activities have surged. However, this progress comes with potential health risks to the labour force, which often comprises low-income workers with inadequate access to routine medical checkups or protective workplace policies (Agwah et al., 2025). Despite the global emphasis and regulations on occupational health, especially by the Occupational Safety and Health Administration (OSHA, 2023) and the International Labour Organization (ILO, 2024), cardiovascular risk assessments specific to road construction workers in Nigeria remain limited in scope.

Accordingly, this study investigates a largely under-researched population (road construction workers) in a developing country context, providing insights that could inform workplace health interventions and policy. With the research question: What is the cardiovascular health status, by blood pressure and pulse rate measurements, among road construction workers in Imo State, Nigeria? This study aims to assess cardiovascular health, with a focus on blood pressure and pulse rate among road construction workers in Imo State, Nigeria. The findings could inform health interventions and policy development for occupational safety in similar environments.

Methods

A cross-sectional study was conducted, involving 353 male road construction workers selected with a multi-stage sampling technique from different construction sites across the 3 senatorial zones of Imo State, Nigeria. In the first stage, the three clusters, which were the three senatorial zones in Imo State, were selected. In the second stage, major construction sites were randomly selected from the local government areas in the three zones in Imo State. In the third stage, a simple random sampling technique was used to select the construction workers from the different construction sites until the required sample size was obtained. The inclusion criteria were being employed as a road construction worker, aged 18 years and above, and having a minimum of 6 months in the profession. Non-road construction workers, non-consenting, and acutely ill workers were excluded from the study.

There were 121, 122, and 110 respondents in Imo West, Imo East, and Imo North senatorial zones, respectively. Structured questionnaires were used to collect sociodemographic data. The blood pressure (systolic and diastolic) and pulse rate were measured using a digital sphygmomanometer. The readings were taken under standardized conditions, with participants seated after a ten-minute rest. Each parameter was measured thrice with two-minute intervals and averaged for accuracy.

Data was uploaded into the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) software (version 23). Descriptive statistics, including means and frequency distributions, were used to summarize the data, and frequency distribution tables were constructed for categorical variables. Blood pressures

and pulse rates were categorized based on the Nigerian Hypertension Society Classification (The Nigerian Hypertension Society, 2020) and the World Health Organization guidelines (WHO, 2020).

Results

A total of 353 road construction workers were surveyed across all three senatorial zones of Imo State, Nigeria. The results show that 82(23.2%) road construction workers had systolic hypertension and 35(9.9%) had diastolic hypertension. Almost half of the workers, 171(48.4%) of the road construction workers, had high-normal systolic blood pressure (SBP), and 70(19.8%) had high-normal diastolic blood pressure (DBP). Only 100(28.3%) of the workers had optimal and normal systolic BP (Table 1). The differences across the classes of BP were statistically significant, $p < 0.001$ (Table 1). The occurrence of systolic hypertension was 32(26.4%), 31(25.4%), and 19 (17.3%) in Imo West, Imo East, and Imo North zones, respectively; and the difference across the zones was not statistically significant ($p = 0.348$) (Table 2).

Thirty-five (10%) of all the workers had diastolic hypertension, and this was 12(9.8%), 13(10.3%), and 11 (10%) in Imo West, Imo East, and Imo North, respectively. The differences among the zones were not statistically significant ($p = 0.11$) (Table 3). Twenty-two (6.2%) workers had tachycardia (raised pulse rates): 10(8.3%), 6(4.9%), and 6(5.5%) in Imo West, Imo East, and Imo North zones respectively; and the difference across the zones was not statistically significant ($p = 0.45$) (Table 4).

Up to 70(19.8%) workers were ignorant that road construction work could predispose to cardiovascular problems, 47(13.3%) had ever been diagnosed with a cardiovascular condition, 103(29.2%) responded they always wore PPE, 269(76.2%) did not go for regular (at least annual) medical check-ups, and 210(59.5%) did not have easy access to healthcare services (Table 5).

Table 1: Summary Distribution of Systolic and Diastolic Blood Pressure Classes of Road Construction Workers in Imo State

BP Category	Systolic Blood Pressure (SBP)			Diastolic Blood Pressure (DBP)		
	SBP (mmHg)	n	%	DBP (mmHg)	n	%
Optimal & Normal BP	<130	100	28.3	<85	248	70.3
High-normal BP	130 – 139	171	48.4	85 – 89	70	19.8
Hypertension, Grade 1	140 – 159	62	17.6	90 – 99	25	7.1
Hypertension, Grades 2&3	160 & above	20	5.7	100 & above	10	2.8
Total		353	100.0		353	100.0
Min (Max)		90 (178)			50 (113)	
Mean $\pm$ SD		128.9 $\pm$ 17.4			75.4 $\pm$ 11.2	
P-value		< 0.0001			< 0.0001	

n=Number; Min=Minimum value; Max=Maximum value; SD=Standard Deviation

Table 2: Comparison of Systolic Blood Pressure values of Road construction workers at the different Senatorial zones of Imo State

Systolic Pressure (mmHg)	Imo West		Imo East		Imo North	
	n	%	n	%	n	%
Optimal & Normal BP (<130)	31	25.6	35	28.7	34	30.9
High-normal BP (130-139)	58	47.9	56	45.9	57	51.8
Hypertension, Grade 1 (140-159)	22	18.2	24	19.7	16	14.6
Hypertension, Grades 2&3 (160 & above)	10	8.3	7	5.7	3	2.7
<i>Total</i>	121	100.0	122	100.0	110	100.0
<i>Min (max)</i>	90	173	102	178	98	177
<i>Mean ± SD</i>	127.3 ± 17.5		128.98±17.1		129.2±17.6	
<i>P-value</i>	0.348					

n=Number; Min=Minimum value; Max=Maximum value; SD=Standard Deviation

Table 3: Comparison of Diastolic Blood Pressure values of Road construction workers at the different Senatorial zones of Imo State

Diastolic BP (mmHg)	Imo West		Imo East		Imo North	
	n	%	n	%	n	%
Optimal & Normal (<85)	86	71.1	84	68.8	78	70.9
High normal (85 – 89)	23	19.2	25	20.8	21	19.1
Hypertension, Grade 1 (90 – 99)	9	7.2	10	7.9	7	6.4
Hypertension, Grades 2&3 (100 and above)	3	2.5	3	2.5	4	3.6
<i>Total</i>	121	100.0	122	100.0	110	100.0
<i>Min (max)</i>	50 (110)		52 113		53 105	
<i>Mean ± SD</i>	74.7 ± 11.6		76.1 ± 10.0		75.9 ± 11.7	
<i>P-value</i>	0.11					

n=Number; Min=Minimum value; Max=Maximum value; SD=Standard Deviation

Table 4: Comparison of Pulse Rate at different Senatorial zones

Pulse Rate (beats/min)	Imo West		Imo East		Imo North	
	n	%	n	%	n	%
41 – 60	10	8.2	11	9.0	8	7.2
61 – 80	61	50.4	62	50.8	58	52.7
81 – 100	40	33.1	43	35.3	38	34.6
>100 (Tachycardia)	10	8.3	6	4.9	6	5.5
Total	121	100.0	122	100.0	110	100.0
Min (max)	53 (115)		52 (109)		55 (112)	
Mean ± SD	79.5 ± 12.4		76.7 ± 12.6		78.0 ± 12.5	
P-value	0.45					

n=Number; Min=Minimum value; Max=Maximum value; SD=Standard Deviation

Table 5: Response of Road Construction Workers on Cardiovascular Health

Information on Cardiovascular Health	Yes (%)	No (%)	Total (%)
GENERAL (ALL THREE ZONES)			
Do you think road construction work can predispose to cardiovascular health problems?	283 (80.2)	70 (19.8)	353 (100.0)
Have you ever been diagnosed with any cardiovascular condition?	47 (13.3)	306 (86.7)	353 (100.0)
Do you always wear PPE at work?	103 (29.2)	250 (70.8)	353 (100.0)
Do you go for regular (at least annual) medical check-ups, including BP and PR?	84 (23.8)	269 (76.2)	353 (100.0)
Do you have easy access to healthcare services?	143 (40.5)	210 (59.5)	353 (100.0)
IMO WEST			
Do you think road construction work can predispose to cardiovascular health problems?	97 (80.2)	24 (19.8)	121 (100.0)
Have you ever been diagnosed with any cardiovascular condition?	16 (13.2)	105 (86.8)	121 (100.0)
Do you always wear PPE at work?	37 (30.6)	84 (69.4)	121 (100.0)
Do you go for regular (at least annual) medical check-ups, including BP and PR?	29 (24.0)	92 (76.0)	121 (100.0)
Do you have easy access to healthcare services?	49 (40.5)	72 (59.5)	121 (100.0)
IMO EAST			
Do you think road construction work can predispose to cardiovascular health problems?	98 (80.3)	24 (19.7)	122 (100.0)
Have you ever been diagnosed with any cardiovascular condition?	17 (13.9)	105 (86.1)	122 (100.0)
Do you always wear PPE at work?	35 (28.7)	87 (71.3)	122 (100.0)
Do you go for regular (at least annual) medical check-ups, including BP and PR?	31 (25.4)	91 (74.6)	122 (100.0)
Do you have easy access to healthcare services?	53 (43.4)	69 (56.6)	122 (100.0)
IMO NORTH			
Do you think road construction work can predispose to cardiovascular health problems?	88 (80.0)	22 (20.0)	110 (100.0)
Have you ever been diagnosed with any cardiovascular condition?	14 (12.7)	96 (87.3)	110 (100.0)
Do you always wear PPE at work?	85 (28.2)	79 (71.8)	110 (100.0)
Do you go for regular (at least annual) medical check-ups, including BP and PR?	24 (21.8)	86 (78.2)	110 (100.0)
Do you have easy access to healthcare services?	41 (37.3)	69 (62.7)	110 (100.0)

*PPE: Personal Protective Equipment

Discussion

The high prevalence of systolic hypertension (23.2%), diastolic hypertension (9.9%), and tachycardia/elevated pulse rate (6.2%) among road construction workers in Imo State underscores a critical occupational health concern. The elevated cardiovascular parameters suggest that intense physical

exertion and environmental exposure in road construction work significantly affected cardiovascular health. Chronic exposure to physical stress, high temperatures, and pollution in construction zones can activate the sympathetic nervous system, leading to sustained increases in heart rate and blood pressure (Li et al., 2024). Additionally, the physical demands of carrying heavy loads and operating machinery may predispose workers to long-term cardiovascular strain (Dias et al., 2023). Compared to other studies of road construction workers, the prevalence of systolic hypertension was lower at 17.9% in Jakarta (Debora & Widanarko, 2020) but higher than the 38.4% prevalence in Hong Kong (Yi & Chan, 2016).

These cardiovascular risks appear linked to both work-related stressors and behavioural health access factors. The low usage of PPE (29.2%) and low medical monitoring among the participants (23.8%) point to systemic gaps in occupational health management. The PPE usage in this study was higher than among building construction workers in Kampala, Uganda (Izudi et al., 2017), similar to the 27.8% among auto-technicians in Uyo, Nigeria (Johnson & Motilewa, 2016), the 31% among road transport workers in Imo State, Nigeria, (Nwakamma et al., 2025) and three regions in Ghana (27.0%) (Yankson et al., 2021). The finding is also similar to the multi-country trends in the global meta-analysis of workers by (Malta et al., 2024). This multifactorial risk environment signifies the necessity for comprehensive health monitoring and intervention strategies tailored to this vulnerable population.

The findings of this study align with global research that links physically demanding labour with increased risk of hypertension and tachycardia. They support WHO's assertion that occupational stress, physical strain and the work environment can compromise cardiovascular health. The limitations of this study are its male-only sample, as findings may not generalize to female workers; the cross-sectional design, which does not allow causal inferences; potential measurement biases from digital BP recordings; and the study's reliance on self-reported data for use of PPE and medical check-ups, which may introduce recall inaccuracies.

Conclusions

Road construction workers are exposed to physical stress, and pollution in construction zones can activate the sympathetic nervous system, leading to sustained increases in heart rate and blood pressure, which may predispose workers to long-term cardiovascular strain. The physical strain and exposure to environmental pollution, noise, heat, and vibration among construction workers can be mitigated with the availability and proper use of PPE. This study found a high prevalence of hypertension (23.2% systolic, 9.9% diastolic) and tachycardia (6.2%) among road construction workers in Imo State, Nigeria, with 76.2% lacking routine medical checkups and only

29.2% consistently using PPE. Thus, this study uniquely contributes to the Nigerian occupational health literature with its findings that highlight significant cardiovascular risks and inadequate occupational health and safety measures among road construction workers. Consequently, there is an urgent need for routine health monitoring and the implementation of workplace wellness programs to mitigate cardiovascular risks among road construction workers in Imo State and similar environments.

Recommendations

Based on the findings, the following recommendations are proposed:

- Policy Intervention: State health departments and labour ministries should enforce occupational health regulations in the construction industry, including guidelines on cardiovascular risk assessment.
- Health Education Programs: Awareness campaigns should be conducted to educate workers on the dangers of hypertension, the benefits of healthy lifestyles, and the importance of regular health assessments.
- Routine Cardiovascular Screening: Employers should implement mandatory annual health checks focused on blood pressure and pulse monitoring to enable early detection and management.
- Worksite Health Clinics: Mobile clinics or onsite medical services should be considered, especially for large construction sites, to provide immediate health interventions and counselling.
- Provision of PPE and Structured Work Hours: Employers must ensure the availability of PPE and enforce scheduled work-rest cycles to reduce prolonged cardiovascular strain.

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.

Declaration for Human Participants: Ethical approval was obtained from the Ethics and Research Committee of the Federal University of Technology, Owerri, Imo State, Nigeria. Permissions were obtained from the heads of the road construction, and informed consent was obtained from the surveyed road construction workers.

References:

1. Agwah, E. I., Amadi, A. N., Okereke, C. C., Iwuala, C. C., Opara, A. C., Anyanwu, E. O., & Ngwu, E. E. (2025). Awareness of

- Occupational Hazards and Safety and Health Practices Among Wood Artisans in Imo State. *Journal of Clinical Case Reports and Studies* , 6(4), 1–16. <https://doi.org/10.31579/2690-8808/253>
2. Darabont, D. C., Cioca, L. I., Bejinariu, C., Badea, D. O., Chivu, O. R., & Chiş, T. V. (2024). Impact of personal protective equipment use on stress and psychological well-being among firefighters: Systematic review and meta-analysis. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 9666, 16(22), 9666. <https://doi.org/10.3390/SU16229666>
 3. Debora, H. S., & Widanarko, B. (2020). The Association between Night Shift Work and Hypertension Among Workers at A Construction Company in Jakarta. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*, 16(3), 2636–9346.
 4. Dias, M., Silva, L., Folgado, D., Nunes, M. L., Cepeda, C., Cheetham, M., & Gamboa, H. (2023). Cardiovascular load assessment in the workplace: A systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 96, 103476. <https://doi.org/10.1016/J.ERGON.2023.103476>
 5. ILO. (2024). *Information system on international labour standards*. International Labour Organization (ILO). https://normlex.ilo.org/dyn/nrmlx_en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:R164%3B
 6. Izudi, J., Ninsiima, V., & Alege, J. B. (2017). Use of Personal Protective Equipment among Building Construction Workers in Kampala, Uganda. *Journal of Environmental and Public Health*, 2017(1), 7930589. <https://doi.org/10.1155/2017/7930589>
 7. Johnson, O. E., & Motilewa, O. O. (2016). Knowledge and Use of Personal Protective Equipment among Auto Technicians in Uyo, Nigeria. *Journal of Education, Society and Behavioural Science*, 15(1), 1–8. <https://doi.org/10.9734/BJESBS/2016/24546>
 8. Kamardeen, I. (2022). Work stress related cardiovascular diseases among construction professionals. *Built Environment Project and Asset Management*, 12(2), 223–242. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-06-2021-0081/FULL/XML>
 9. Karthick, S., Kermanshachi, S., Pamidimukkala, A., & Namian, M. (2023). A review of construction workforce health challenges and strategies in extreme weather conditions. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 29(2), 773–784. <https://doi.org/10.1080/10803548.2022.2082138>
 10. Kumar, V., S, H., Huligowda, L. K. D., Umesh, M., Chakraborty, P., Thazeem, B., & Singh, A. P. (2025). Environmental Pollutants as Emerging Concerns for Cardiac Diseases: A Review on Their Impacts

- on Cardiac Health. *Biomedicines* 2025, Vol. 13, Page 241, 13(1), 241. <https://doi.org/10.3390/BIOMEDICINES13010241>
11. Li, Y., Yu, B., Yin, L., Li, X., & Nima, Q. (2024). Long-term exposure to particulate matter is associated with elevated blood pressure: Evidence from the Chinese plateau area. *Journal of Global Health*, 14, 04039. <https://doi.org/10.7189/JOGH.14.04039>
12. Liu, J., Zhu, B., Xia, Q., Ji, X., Pan, L., Bao, Y., Lin, Y., & Zhang, R. (2020). The effects of occupational noise exposure on the cardiovascular system: a review. *Journal of Public Health and Emergency*, 4, 5847. <https://doi.org/10.21037/JPHE.2020.03.07>
13. Malta, G., Matera, S., Plescia, F., Calascibetta, A., Argo, A., & Cannizzaro, E. (2024). Occupational accidents and the use of PPE: a global meta-analysis. *Frontiers in Public Health*, 12, 1368991. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2024.1368991>
14. Nwakamma, G. I., Amadi, A. N., Nworuh, B. O., Iwuala, C. C., Megwas, A. U., Ubani, U. A., & Innocent, D. C. (2025). Strategies Used in Preventing Air Pollutants on Ocular Health Among Road Transport Workers in Imo State, Nigeria. *African Journal of Biology and Medical Research*, 8(1), 97–109. <https://doi.org/10.52589/AJBMR-RVYZS0XZ>
15. OSHA. (2023). *Personal Protective Equipment: Vol. OSHA 3151-02R 2023*. U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration (OSHA).
16. The Nigerian Hypertension Society. (2020). *Guidelines for the management of hypertension in Nigeria 2020*. Mosuro Publishers.
17. WHO. (2020). WHO Guidelines set new definitions, update treatment for hypertension. *WHO Bulletin*, 77(3), 293–294.
18. WHO. (2021, June 11). *Cardiovascular diseases (CVDs)*. World Health Organization. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
19. Yankson, I. K., Nsiah-Achampong, N. K., Okyere, P., Afukaar, F., Otupiri, E., Donkor, P., Mock, C., & Owusu-Dabo, E. (2021). On-site personal protective equipment signage and use by road construction workers in Ghana: a comparative study of foreign- and locally-owned companies. *BMC Public Health*, 21(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/S12889-021-12376-2/TABLES/6>
20. Yi, W., & Chan, A. (2016). Health Profile of Construction Workers in Hong Kong. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2016, Vol. 13, Page 1232, 13(12), 1232. <https://doi.org/10.3390/IJERPH13121232>

Impact of Composting and Vermicomposting of Three Types of Animal Manure on the Dynamics of Macronutrients Nitrogen, Phosphorus, and Potassium

Dr. Issa Ale Ndiaye
Amadou Balde
Dr. Oumar Seydi
Dr. Etienne Tendeng
Dr. Serigne Sylla
Prof. Karamoko Diarra

Cheikh Anta Diop University (UCAD), Faculty of Science and Technology,
Department of Animal Biology, Senegal

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p65](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p65)

Submitted: 11 April 2025

Accepted: 25 June 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Ndiaye, I.A., Balde, A., Seydi, O., Tendeng, E., Sylla, S. & Diarra, K. (2025). *Impact of Composting and Vermicomposting of Three Types of Animal Manure on the Dynamics of Macronutrients Nitrogen, Phosphorus, and Potassium*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 65. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p65>

Abstract

The management of animal manure remains a major environmental challenge, sparking growing interest in valorization methods such as composting and vermicomposting. However, the efficiency of the composting method largely depends on the type of organic substrate used. This study aims to evaluate the impact of composting methods on the final concentrations of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) in three types of animal manure. Three types of animal manure (horse dung, cow dung, and poultry droppings) underwent a five-week pre-composting phase, followed by seven weeks of vermicomposting. Two earthworm species, *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fetida*, were used in the vermicomposting process. Soluble concentrations of N, P, and K were measured at the end of the composting and vermicomposting processes, and the impact of composting method on nutrient dynamics (N, P, and K) in the soil was assessed both before transplanting and after harvesting a lettuce crop. During composting, cow dung and poultry droppings showed similar nitrogen levels (0.3 kg N/ha), which were

significantly higher than those of horse manure (0.2 kg N/ha). Poultry droppings displayed the highest phosphorus (0.18 kg P/ha) and potassium (0.25 kg K/ha) concentrations, compared to cow dung (0.12 kg P/ha, 0.1 kg K/ha) and horse manure (0.1 kg P/ha, 0.1 kg K/ha). In vermicomposting, nutrient differences between manure types were less pronounced. Nitrogen levels were higher in compost than in vermicompost for poultry droppings (0.38 kg N/ha vs. 0.33 kg N/ha), while P and K levels remained similar between the two processes for cow dung. This study highlights the differential impact of composting and vermicomposting on the nutrient content of organic amendments. Composting appears to be more effective for poultry droppings, while vermicomposting yields comparable nutrient levels for horse and cow manure. These findings provide valuable insights for optimizing organic waste recycling to enhance soil fertility.

Keywords: Composting, vermicomposting, animal manure, fertilization, nutrients (N, P, K), organic recycling

Introduction

The management of urban waste, particularly that of animal and organic origin, represents a major challenge in modern cities. High population density and the limited availability of spaces dedicated to waste treatment hinder the adoption of sustainable practices (Nanda & Berruti, 2021). Organic waste accounts for approximately 67% of municipal residues, which are often disposed of in landfills due to a lack of proper valorization. Among recognized treatment methods, traditional composting remains widely used. This process has been the subject of numerous studies aimed at improving its performance and optimizing its sustainability (Policastro & Cesaro, 2022). Innovations such as biodrying processes have been proposed to reduce nutrient losses. However, the strict monitoring required (control of moisture, temperature, and aeration), along with space constraints in densely populated areas, limits the applicability of this technique. In this context, vermicomposting emerges as a promising alternative. This method harnesses the activity of earthworms, which ingest and decompose organic matter while secreting enzymes that enhance nutrient mineralization and stabilization (Ducasse et al., 2022; Fernando et Arunakumara, 2021; Sharma & Garg, 2023). The resulting organic amendments possess a structure and N, P, and K contents that are favorable to plant growth (Liegui et al., 2021). Several studies have highlighted that the agronomic characteristics of vermicomposts vary significantly depending on the raw materials used and the parameters of the transformation process (Zhou et al., 2024). Recent research has also demonstrated the impact of manure type on the agronomic efficiency of vermicomposts (Ndiaye et al., 2022). Composting and vermicomposting are

frequently compared in the literature, with many studies concluding that vermicompost is richer in nutrients. However, this is not always the case, as the final composition depends heavily on the type of animal waste used and the processing conditions. Moreover, these studies do not always clearly highlight their relative effectiveness based on these parameters. It remains to be determined whether one of these transformation methods ensures better preservation and release of macronutrients (N, P, K), taking into account nutrient losses. A better understanding of these factors would help guide the selection of organic materials and the most appropriate composting method to optimize nutrient availability and crop growth. The objective of this study is to evaluate the impact of composting and vermicomposting of three types of animal manure on the dynamics of macronutrients N, P, and K.

Materials and Methods

The study was conducted at the Laboratory of Integrated Production and Protection in Agroecosystems (L2PIA), located in the Department of Animal Biology (14°41'05.14" N and 17°27'43.28" W) of the Faculty of Science and Technology (FST), Cheikh Anta Diop University of Dakar (UCAD), Senegal. The laboratory houses a composting and vermicomposting platform.

Selection and preparation of organic waste

Three types of organic waste were selected for this study: horse manure, cow dung, and poultry droppings. Following collection and sorting, compost piles measuring two (2) meters in diameter and one (1) meter in height were formed for each type of waste. To meet the appropriate carbon-to-nitrogen (C/N) ratio, the animal waste was mixed with plant residues at a ratio of 2 parts animal waste to 1 part plant waste. The plant material consisted of a mixture of dead leaves, grass clippings, and straw residues.

Composting process

The composting and vermicomposting processes were conducted on the platform under semi-controlled conditions, from June 2024 to October 2024. After the piles were established, each compost heap received two weekly waterings, spaced three days apart. Two weeks after the initial setup, the piles were turned once a week, and this was maintained until the end of the process. A five-week pre-composting phase was observed, corresponding to the thermophilic stage, during which the pile could not yet support macro-organisms due to the high temperature. The product obtained at the end of this five-week period was used as pre-compost for the earthworms. The composting process was monitored over a 12-week period.

Vermicomposting process

The vermicomposting process was carried out using wooden bins in which pre-compost samples were decomposed by earthworms.

Organic Material

Samples of each of the three substrates pre-composted over a five-week period were used in this experiment. For each sample, six bags of pre-compost were prepared.

Biological Material

The earthworm species used were *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fetida*. *Eisenia fetida* is an exotic species adapted to temperate environments and was bred on the study platform. *Eudrilus eugeniae*, on the other hand, is naturally abundant in Senegal, particularly around the wetlands of zoological parks.

Vermicomposting Monitoring

Three pre-composts were prepared from horse manure, cow dung, and poultry droppings, each composted for five weeks. These were then placed on composting tables (two bags per table) and moistened with 11 liters of water. Two kilograms of earthworms (distributed between the two species) were introduced per table. The experiment included three treatments with a total of nine tables. The leachate drained after moistening was collected and reused one week after the start of the process, then regularly throughout the experiment. The vermicomposting process lasted seven weeks.

Laboratory measurement of soluble macronutrient contents (N, P, and K) from composts and vermicomposts

At the end of the process, samples were collected to analyze the soluble nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) contents in the compost and vermicompost. A composite sampling method was used, involving the collection of subsamples from different depths and positions to ensure optimal representativeness. These subsamples were mixed in equal proportions, then air-dried in the shade to remove excess moisture. After sieving to eliminate debris, the samples were placed in airtight bags with precise labeling and transported to the laboratory.

For analysis, 50 grams of sample were mixed with 250 ml of distilled water, shaken, and then left to settle for 24 hours. The supernatant was filtered and analyzed using a compact photometer, which measured the soluble fractions of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K). These values reflect the immediately available nutrient content for plants, rather than the total nutrient stock in the composts.

Statistical Analysis

In line with the specific objectives of this study, advanced statistical techniques were used to analyze the collected data, using XLSTAT software (2016). Data were checked for independence, and normality tests (such as the Shapiro–Wilk test) and homogeneity of variance tests (such as Levene’s test) were conducted to verify that the assumptions required for a valid ANOVA were met. When the normality conditions were not satisfied, appropriate data transformations were applied.

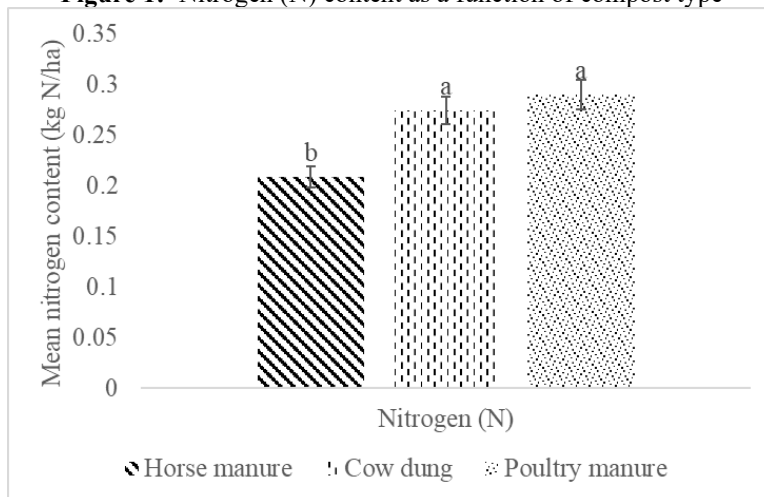
RESULTS

Nitrogen (N), Phosphorus (P), and Potassium (K) contents during the composting process

○ Nitrogen (N) content during composting

Nitrogen content varied significantly depending on the type of waste composted. The results indicate that cow dung and poultry droppings exhibited similar nitrogen levels, with an average of approximately 0.3 kg N/ha, which was significantly higher than that of horse manure, which averaged around 0.2 kg N/ha. These differences were statistically significant, as shown by the distinct letters (a, b) above the bars in the figure, indicating that horse manure (b) had a significantly lower nitrogen content compared to cow dung and poultry droppings (a) (Figure 1).

Figure 1: Nitrogen (N) content as a function of compost type



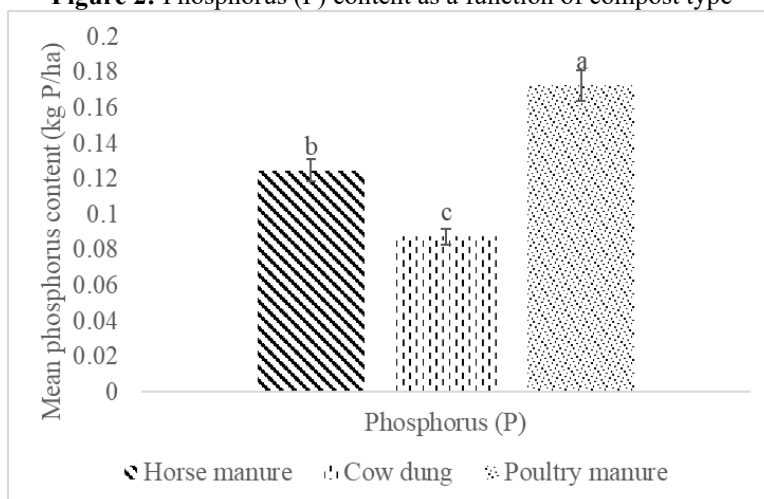
$df = 2$; $F = 7.984$; $P = 0.001$, Histograms sharing the same letters are not significantly different at the 5% level according to Newman-Keuls test.

○ Phosphorus (P) content during composting

Regarding phosphorus, poultry droppings have a significantly higher P content (approximately 0.18 kg P/ha) compared to cow dung and horse manure, which show average values of about 0.12 kg P/ha and 0.1 kg P/ha,

respectively. The differences are also indicated by the letters above the bars, with poultry droppings (a) being distinct from the others, and a notable difference between cow dung (c) and horse manure (b) (Figure 2).

Figure 2: Phosphorus (P) content as a function of compost type

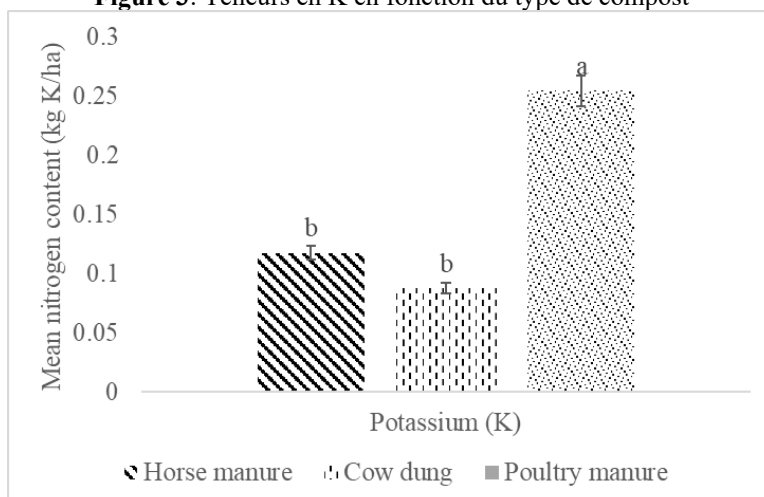


$df = 2$; $F = 13.307$; $P = 0.0001$. Histograms sharing the same letters are not significantly different at the 5% level according to Newman-Keuls test.

○ Potassium (K) content during composting

The potassium content reveals that poultry droppings have the highest K concentration (approximately 0.25 kg K/ha), while horse manure and cow dung have similar and lower concentrations (around 0.1 kg K/ha). Poultry droppings are statistically distinct (a) from the two other types of waste (b) (Figure 3).

Figure 3: Teneurs en K en fonction du type de compost



$df = 2$; $F = 16.060$; $P = 0.0001$, Histograms sharing the same letters are not significantly different at the 5% level according to Newman-Keuls test.

Nitrogen (N), Phosphorus (P), and Potassium (K) contents during the vermicomposting process

Table 1: Nitrogen (N), Phosphorus (P), and Potassium (K) contents during the vermicomposting process

Vermicompost	Nitrogen Content (kg N/ha)	Phosphorus Content (kg P/ha)	Potassium Content (kg K/ha)
Horse	0.23 a	0.12 a	0.12 a
Cow	0.21 a	0.10 a	0.11 a
Poultry	0.33 a	0.14 a	0.13 a

The nitrogen content for horse manure is 0.23 kg N/ha. This level is statistically similar to that observed for cow dung (0.21 kg N/ha) and poultry droppings (0.33 kg N/ha), as indicated by the letter "a" in Table 1 for all waste types. The P-value for this analysis is 0.789, which indicates no statistically significant difference between the waste types (Tab. 1). The phosphorus content for horse manure is 0.12 kg P/ha. The phosphorus contents for cow dung (0.10 kg P/ha) and poultry droppings (0.14 kg P/ha) are also statistically similar, with all values marked by the letter "a". The P-value for this analysis is 0.972, confirming the absence of a significant difference between the waste types (Tab. 1). The potassium content for horse manure is 0.12 kg K/ha. Cow dung shows a slightly lower K content (0.11 kg K/ha), while poultry droppings exhibit a slightly higher K content (0.13 kg K/ha). However, these differences are not statistically significant, as indicated by the common "a" letter for all waste types. The P-value for this analysis is 0.929 (Tab. 1).

Comparison of average nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) contents based on the composting method

Table 2 presents the average nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) contents based on the composting method.

Table 2: Average nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) contents based on the composting method

Chemical Elements	Treatments	Horse Manure	Poultry Droppings	Cow Dung
N	Compost	0,22 (a)	0,38 (a)	0,26 (a)
	Vermicompost	0,22 (a)	0,33 (b)	0,21 (b)
P	Compost	0,15 (a)	0,17 (a)	0,09 (a)
	Vermicompost	0,12 (a)	0,14 (b)	0,11 (a)
K	Compost	0,14 (a)	0,26 (a)	0,10 (a)
	Vermicompost	0,11 (a)	0,13 (b)	0,10 (a)

For horse manure, the levels of N, P, and K are similar between compost and vermicompost, with values of 0.22 kg/ha for N in compost compared to 0.22 kg/ha in vermicompost. This lack of significant difference ($P = 0.884$) suggests that the vermicomposting process does not improve the availability of these nutrients compared to traditional composting for horse manure (Tab. 2). For poultry droppings, the results show higher levels of N, P, and K in compost compared to vermicompost. For example, for N, the content is 0.38 kg/ha in compost, compared to 0.336 kg/ha in vermicompost, which is significantly different ($P = 0.0001$) (Tab. 2). For cow dung, the P and K contents are similar between compost and vermicompost, with very close values, indicating no significant difference ($P = 0.981$). However, there is a slight difference for N, where compost has a higher value (0.26 kg/ha) compared to vermicompost (0.21 kg/ha), but this difference is relatively small (Table. 2).

Discussion

Composting and vermicomposting processes differ in how they transform essential nutrients, thus influencing their availability to plants. Numerous studies have examined these differences and highlighted the mechanisms governing nutrient dynamics in these two organic waste treatment systems. The transformation of nitrogen differs significantly between composting and vermicomposting. In composting, the organic nitrogen in wastes undergoes mineralization, producing ammonium (NH_4^+) as a transitional stage before ammonia (NH_3) volatilization, a phenomenon accentuated under high-temperature and alkaline pH conditions (Chastain, 2022). In contrast, vermicomposting tends to promote a more effective conversion of ammonium into nitrates (NO_3^-), which are directly assimilable by plants. Earthworm activity, supported by their digestive enzymes, accelerates the oxidation of ammonium by nitrifying bacteria, thereby reducing gaseous losses and improving nitrogen retention in the final product (Alipour et al., 2023; Angmo et al., 2024; Hossen et al., 2022). Regarding phosphorus, several studies indicate that, in composting, organic phosphorus gradually becomes soluble, but some may be lost through leaching (Aronsson et al., 2022), particularly when moisture levels are excessive and pH conditions fluctuate (Ge et al., 2022). Conversely, vermicomposting minimizes these losses by forming stable organo-phosphate complexes, a phenomenon favored by the microbial activity induced by earthworms' ingestion of the waste (Gonçalves et al., 2021). Potassium, a highly soluble element, is particularly prone to losses through leaching. The physical structure of the compost plays a decisive role in potassium retention, as excessive porosity may promote these losses. In vermicomposting, earthworm activity helps stabilize K^+ ions within the decomposing organic matter, an

effect that can be enhanced by the addition of biochar or volcanic rocks, as demonstrated by Gashua et al. (2022). Differences observed in the N, P, and K contents of composts and vermicomposts are strongly influenced by the nature of the organic wastes used. Studies have highlighted that the mineralization and release of fertilizing elements vary depending on the intrinsic characteristics of the feedstocks. For instance, Addo et al. (2022) demonstrated the conversion of municipal waste into compost via black soldier fly bioconversion, while Yuan and Dickinson (2022) emphasized the potential of vermicomposting for processing food waste. Similarly, Maharjan et al. (2022) noted that the initial composition, particularly the cellulose and lignin content, modulates the kinetics of nutrient release. Our findings confirm and expand upon these theoretical observations. During composting, we observed that nitrogen levels vary depending on the type of waste. For example, cow dung and poultry droppings contain higher N levels than horse manure, a finding also reported by Fatah et al. (2025). Concerning phosphorus, poultry droppings exhibit higher values than cow dung and horse manure, echoing the observations of Dang et al. (2024) on the P-enrichment of substrates with a high initial concentration. As for potassium, poultry droppings - owing to their high solubility - show higher concentrations, whereas horse manure and cow dung present more moderate levels, consistent with the results of Lahbouki et al. (2024). In the case of vermicomposting, differences among waste types are less pronounced. The values recorded for horse manure, cow dung, and poultry droppings tend to converge, corroborating the studies of Ndiaye et al. (2022) on the agronomic efficiency of vermicomposts produced from various manures, as well as those of Syarifinnur et al. (2023), who directly compared compost and vermicompost. Furthermore, Patra et al. (2022) pointed out that manure-based amendments can yield products of similar nutrient quality, particularly when composting and vermicomposting processes are optimized. The obtained results allow us to differentiate amendments based on their effectiveness and how nutrients are supplied, thereby offering prospects for optimized management of organic fertilization. The marked decrease in nitrogen after harvest - also confirmed by Ravindran et al. (2022) - indicates high uptake by lettuce, suggesting that these amendments provide an effective supply of plant-available nitrogen. The uniform reduction in phosphorus levels post-harvest may reflect rapid plant assimilation or weak soil retention, as noted by Rizzo et al. (2022). As for potassium, its relative stability, with better retention in certain treatments such as cow dung vermicompost, aligns with the findings of Lahbouki et al. (2024) and Kızılkaya et al. (2021).

Conclusion

The results of this study confirm that composting and vermicomposting differently influence the dynamics of macronutrients (N, P, K), depending on the type of animal manure used. Compost tends to release nutrients more rapidly, which can be advantageous for crops with high immediate nitrogen demands, while vermicompost ensures a more gradual release, promoting a prolonged availability of fertilizing elements. The variations observed depending on the type of waste indicate that poultry droppings are particularly rich in soluble nutrients, whereas horse manure and cow dung show more moderate and progressive releases. These differences suggest that the choice of processing method and raw material type should be adapted to the specific needs of crops and agronomic objectives. Consequently, a targeted management of organic amendments that integrates these parameters could enhance fertilization efficiency and contribute to more sustainable agriculture.

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. Addo, P., Oduro-Kwarteng, S., Fosu Gyasi, S., & Awuah, E. (2022). Bioconversion of municipal organic solid waste into compost using Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 11(4).
2. Alipour, S. M., Fataei, E., Nasehi, F., & Imani, A. A. (2023). Vermicompost Quality and Earthworm Reproduction in Different Organic Waste Substrates. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 12(3). [DOI: 10.30486/ijrowa.2022.1944906.1371]
3. Angmo, D., Singh, J., Rashid, F., Sharma, P., Thakur, B., Singh, S., & Vig, A. P. (2024). Vermiremediation of organic wastes: vermicompost as a powerful plant growth promoter. *Earthworm Technology in Organic Waste Management* (pp. 59–77). Elsevier. [DOI: 10.1016/B978-0-443-16050-9.00014-1]
4. Aronsson, H., Nyström, S., Malmer, E., Kumblad, L., & Winqvist, C. (2022). Losses of phosphorus, potassium and nitrogen from horse manure left on the ground. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 72(1), 893–901. [DOI: 10.1080/09064710.2022.2121749]

5. Chastain, J. P. (2022). Composition of Equine Manure as Influenced by Stall Management. *Agriculture*, 12(6), 823. DOI: 10.3390/agriculture12060823.a
6. Dang, R., Cai, Y., Li, J., Kong, Y., Jiang, T., Chang, J., Yao, S., Yuan, J., Li, G., & Wang, G. (2024). Biochar reduces gaseous emissions during poultry manure composting: Evidence from the evolution of associated functional genes. *Journal of Cleaner Production*, 452, 142060. [DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.142060]
7. Ducasse, V., Capowiez, Y., & Peigné, J. (2022). Vermicomposting of Municipal Solid Waste as a Possible Lever for the Development of Sustainable Agriculture: A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(5), 89. [DOI: 10.1007/s13593-022-00819-y]
8. Fernando, K. M. C., & Arunakumara, K. K. I. U. (2021). Sustainable Organic Waste Management and Nutrients Replenishment in the Soil by Vermicompost: A Review. *AGRIEAST: Journal of Agricultural Sciences*, 15(2). [DOI: 10.4038/agriest.v15i2.105]
9. Fatah, A., Mamoun, A., Elbanna, S. M., Gamal, M. M., Alharbi, J. S., & Zalat, S. (2025). The Influence of Agricultural Residues and Horse Manure on Chemical and Biological Properties of Soil. *Assiut University Journal of Multidisciplinary Scientific Research*, 54(1), 181–208. [DOI: 10.21608/aunj.2024.334814.1103]
10. Ge, M., Shen, Y., Ding, J., Meng, H., Zhou, H., Cheng, H., et al. (2022). New insight into the impact of moisture content and pH on dissolved organic matter and microbial dynamics during cattle manure composting. *Bioresource Technology*, 344, 126236. [DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126236]
11. Gashua, A. G., Sulaiman, Z., Yusoff, M. M., Samad, M. Y. A., Ramlan, M. F., & Salisu, M. A. (2022). Assessment of Fertilizer Quality in Horse Waste-Based Bokashi Fertilizer Formulations. *Agronomy*, 12(4), 937. [DOI: 10.3390/agronomy12040937]
12. Gonçalves, F., Presumido, P. H., Duarte De Souza, A. V., Silva, J. D. S., Anami, M. H., Prates, K. V. M. C., & Dal Bosco, T. C. (2021). Treatment of equine beds for composting and vermicomposting processes. *International Journal of Environment and Waste Management*, 28(2), 219–239. [DOI: 10.1504/IJEW.2021.117194]
13. Hossen, M. S., Khan, M. R. I., Azad, M. A. K., Hashem, M. A., Bhuiyan, M. K. J., & Rahman, M. M. (2022). Effects of Moisture Content on the Quality of Vermicompost Produced from Cattle Manure. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 51(2), 40–46. [DOI: 10.3329/bjas.v51i2.60493]
14. Kızılkaya, R., Yertayeva, Z., Kaldybayev, S., Murzabayev, B., Zhapparova, A., & Nurseitov, Z. (2021). Vermicomposting of

- Anaerobically Digested Sewage Sludge with Hazelnut Husk and Cow Manure by Earthworm *Eisenia foetida*. *Eurasian Journal of Soil Science*, 10(1), 38–50. [DOI: 10.18393/ejss.807762]
15. Lahbouki, S., Hashem, A., Kumar, A., Abd Allah, E. F., & Meddich, A. (2024). Integration of Horse Manure Vermicompost Doses and Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Improve Fruit Quality, and Soil Fertility in Tomato Field Facing Drought Stress. *Plants*, 13(11), 1449. [DOI: 10.3390/plants13111449]
 16. Liegui, G. S., Cognet, S., Wafo Djumyom, G. V., Atabong, P. A., Fankem Noutadié, J. P., Chamedjeu, R. R., Temegne, C. N., & Noumsi Kengne, I. M. (2021). An effective organic waste recycling through vermicomposting technology for sustainable agriculture in tropics. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 10(3). [DOI: 10.30486/ijrowa.2021.1894997.1080]
 17. Maharjan, K. K., Noppradit, P., & Techato, K. (2022). Suitability of Vermicomposting for Different Varieties of Organic Waste: A Systematic Literature Review (2012–2021). *Organic Agriculture*, 12(4), 581–602. [DOI: 10.1007/s13165-022-00413-2]
 18. Ndiaye, I. A., Diatte, M., Labou, B., Baldé, A., Tendeng, E., Sylla, S. E., Seydi, O., Diop, P., Sène, E. O., & Diarra, K. (2022). Effectiveness of Vermicompost from Cow Manure on Agronomic Parameters of Tomato. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(1), 300–306. [DOI: 10.4314/ijbcs.v16i1.25]
 19. Ndiaye, I. A., Diatte, M., Tendeng, E., Sylla, S., Baldé, A., Seydi, O., Diop, P., Sène, S. O., Labou, B., & Diarra, K. (2022). Effective vermicomposts from three types of manure on the agronomic parameters of lettuce. *Acta Horticulturae*, 1348, 219–224. [DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1348.30]
 20. Nanda, S., & Berruti, F. (2021). Municipal Solid Waste Management and Landfilling Technologies: A Review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1433–1456.
 21. Patra, R. K., Behera, D., Mohapatra, K. K., Sethi, D., Mandal, M., Patra, A. K., & Ravindran, B. (2022). Juxtaposing the quality of compost and vermicompost produced from organic wastes amended with cow dung. *Environmental Research*, 214, 114119. [DOI: 10.1016/j.envres.2022.114119]
 22. Policastro, G., & Cesaro, A. (2022). Composting of organic solid waste of municipal origin: the role of research in enhancing its sustainability. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 312.
 23. Ravindran, B., Karmegam, N., Awasthi, M. K., Chang, S. W., Selvi, P. K., Balachandar, R., Chinnappan, S., Azelee, N. I. W., &

- Munuswamy-Ramanujam, G. (2022). Valorization of food waste and poultry manure through co-composting amending saw dust, biochar and mineral salts for value-added compost production. *Bioresource Technology*, 346, 126442. [DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126442]
24. Syarifinnur, S., Nuraini, Y., Prasetya, B., & Handayanto, E. (2023). Comparing Compost and Vermicompost Produced from Market Organic Waste. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 12(3). [DOI: 10.30486/ijrowa.2022.1944251.1368]
25. Rizzo, P. F., Young, B. J., Pin Viso, N., Carbajal, J., Martínez, L. E., Riera, N. I., Bres, P. A., et al. (2022). Integral approach for the evaluation of poultry manure, compost, and digestate: Amendment characterization, mineralization, and effects on soil and intensive crops. *Waste Management*, 139, 124–135. [DOI: 10.1016/j.wasman.2021.12.017]
26. Yuan, Y., & Dickinson, N. (2022). Vermicomposting Food and Organic Wastes. In *Food Waste Valorisation* (pp. 253–283). WORLD SCIENTIFIC (EUROPE). [DOI: 10.1142/9781800612891_0010]
27. Zhou, X., Yu, Z., Deng, W., Deng, Z., Wang, Y., Zhuang, L., & Zhou, S. (2024). Hyperthermophilic composting coupled with vermicomposting stimulates transformation of organic matter by altering bacterial community. *Science of The Total Environment*, 954, 176676. [DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.176676]

GIS-Based Modeling of Site Suitability and Capacity for Small Hydropower Generation in Edo State, Southern Nigeria

Akpofure Miller Fakpor

Department of Remote Sensing and GIS,
Federal University of Technology, Akure, Nigeria

Olamiposi Caleb Fagunloye

Geosciences Department, Georgia State University, Atlanta, U.S.A.

Titus Endurance Igben

Department of Remote Sensing and GIS,
Federal University of Technology, Akure, Nigeria

Dada Emmanuel

Department of Geography and Planning Sciences,
Adekunle Ajasin University, Akungba Akoko, Nigeria

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p78](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p78)

Submitted: 19 March 2025

Accepted: 16 July 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Fakpor, A.M., Fagunloye, O.C., Igben, T.E. & Dada, E. (2025). *GIS-Based Modeling of Site Suitability and Capacity for Small Hydropower Generation in Edo State, Southern Nigeria*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 78. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p78>

Abstract

The study evaluates the suitability of sites for small hydropower development in Edo State, Nigeria, as a renewable energy source. The assessment integrates Geographic Information System (GIS) techniques with hydrogeological and remote sensing data, including precipitation, stream order, geology, slope, land use/land cover, and soil texture. A Multi-Criteria Decision Making (MCDM) approach, specifically the Analytical Hierarchy Process (AHP), was used to rank potential SHP sites based on their suitability for hydropower generation. The analysis identified three highly suitable locations for SHP development. The estimated gross annual energy outputs for these sites were 5.8 MW, 5.65 MW, and 6.1 MW, respectively. These findings indicate significant potential for SHP as a sustainable energy solution in the region. However, further considerations - such as the specific hydropower yield, the river course location, environmental sustainability, socio-cultural factors, and compliance with government policies - are crucial

for successful development. The study underscores the importance of SHP in enhancing electrification efforts while promoting environmentally friendly and sustainable energy generation.

Keywords: Small Hydropower (SHP), Suitability, GIS, Dam

Introduction

Energy consumption is rising globally as the world's population continues to increase, particularly in less developed countries like Nigeria. Harnessing a renewable and sustainable energy source will prove reliable and, therefore, be required to address this need. Hydropower is regarded as one of the pillars of energy systems that are sustainable, harnessing more renewable energy options. It is efficient, flexible, and reliable, with low greenhouse gas emissions and long-lasting infrastructure, and it can provide multiple-use benefits such as water supply and mitigating flood impacts (Osokoya et al., 2013). Compared to large hydropower projects, studies indicate that a well-designed small hydropower (SHP) system is a renewable, more sustainable energy source with minimal adverse environmental impacts, providing cheap, clean, and reliable electricity (Emeribe et al., 2016; Fraenklel, 1991). Indeed, some legislatures have labeled "large hydro" as either non-renewable or not sustainable (Osokoya et al., 2013).

Furthermore, it has been observed that small hydropower is known across the world to be well-suited in rural environments of less developed countries and offers a solution to both the absence and inconsistent electricity supply in many parts of Nigeria, endowed with favorable terrain and river systems (Odiji et al., 2021). Edo State, Nigeria, has been observed by Emeribe et al. (2016) as having several such surface water resources with the potential of being harnessed for small hydropower development.

Despite the capacity of SHP as a renewable energy source to address the energy needs in Edo State, the current situation is seen to be characterized by poor power development and management. Power is generated from large hydropower plants and gas turbines situated across the country, which contribute to a national grid that is connected through distribution systems to different regions and states. In Edo State, only a few communities are connected to this national grid, which, unfortunately, has experienced multiple collapses due to inadequate and poor infrastructure maintenance. Thus, many residents experience total power blackouts or frequent power outages affecting households and businesses. Additionally, many rely on fossil fuels such as gas, diesel, and premium-motor-spirit (used mostly in household and industrial generators) for electricity generation, contributing to environmental degradation (Webb, 2024; Nyambuu and Semmler, 2023) and high energy costs.

Past scholarly works, such as Emeribe et al. (2016), assessed selected rivers in Edo State for their capacity for small-scale hydropower generation, determining their hydropower yield annually and on a monthly basis. The study limited its data to flow analysis of the rivers in estimating the highest monthly hydropower yield for each selected river and their annual yield, forming a basis for classifying their suitability for different hydropower schemes. Odiji et al. (2021) identified and selected suitable locations for the development of a small hydropower dam in the upper Benue River watershed using Geographic Information Systems as an integrated system for analyzing the data. Karakuş and Yıldız (2022) reported that remote sensing (RS), geospatial techniques, and artificial intelligence are suitable approaches that have emerged in dam site selection. Thus, remote sensing and GIS methods are effective, reliable, save time, and reduce costs in decision-making involving earth and environmental systems. In spite of this advantage, however, in Nigeria, the use of GIS in the selection and modeling of potential hydropower sites is low.

A capacity of not more than 10 megawatts of electricity is a standard for small hydropower (SHP) systems (Odiji et al., 2021; Khare et al., 2019). SHP could be categorized further into different generating capacities: Pico (generating below 10 kilowatts), micro (from 10 to 100 kilowatts), mini (above 100 kilowatts to 1 megawatt), and small systems (above 1 megawatt to 10 megawatts generating capacity) (Chiyembekezo et al., 2012). Thus, the SHP installed systems are quite advantageous in supporting diverse energy requirements of various populations or institutional types (Ang et al., 2022).

Therefore, this study integrates the use of remote sensing, GIS techniques, and certain hydrogeological criteria - precipitation, stream order, geology, slope, land use/land cover, and soil texture - to determine highly suitable sites for small hydropower generation. The study estimated the gross hydropower energy output for highly suitable sites in assessing their potential for electrification in the study area of Edo State, Nigeria.

Materials and Methods

The Study Area

The study area is Edo State, a central part of Southern Nigeria with coordinates of longitudes and latitudes of between 6°04'E and 6°43'E and 5° 44'N and 7°34'N, respectively (Fig. 1). It's predominantly tropical rain forest with some northern portions in the derived savanna zone and a few mangrove swamps in the south. The land area is between 17,802 and 19,187 square kilometers, with an elevation of approximately 500 feet in the southern part and 1,800 feet in the northern part. The population is projected to be about 4,777,000 by 2022 (Citypopulation, 2023).

The climate is humid tropical and has two seasons: the wet period from April to October and the dry period from November to March, with a cold harmattan spell in the months of December and January (Emeribe et al., 2016). The highest mean monthly temperature is 29.1°C, recorded in March, while the lowest is 24.4°C in June (World Bank Climate Change Knowledge Portal, n.d.). The mean annual rainfall occasionally exceeds 2000 mm in the northern part, with a bimodal distribution (the first peak occurs in July with monthly rainfall of 344.7 mm, while the second occurs in September with 457.2 mm) (NIMET, 2007).

Fig. 2 shows the drainage network of Edo State. Other important features of the study area are the Afenmai Hills, Orle Valley Basin, Esan Plateau, and the Benin Lowlands. The Ikpoba River rises from the Esan Plateau, where many Ishan communities live. Benin City is the state's capital and also the largest urban center in the state; it is noted for its historical landmarks and monuments. Edo State was chosen due to its combination of favorable topography, persistent power deficits, and the presence of perennial rivers and rainfall patterns conducive to small hydropower development.

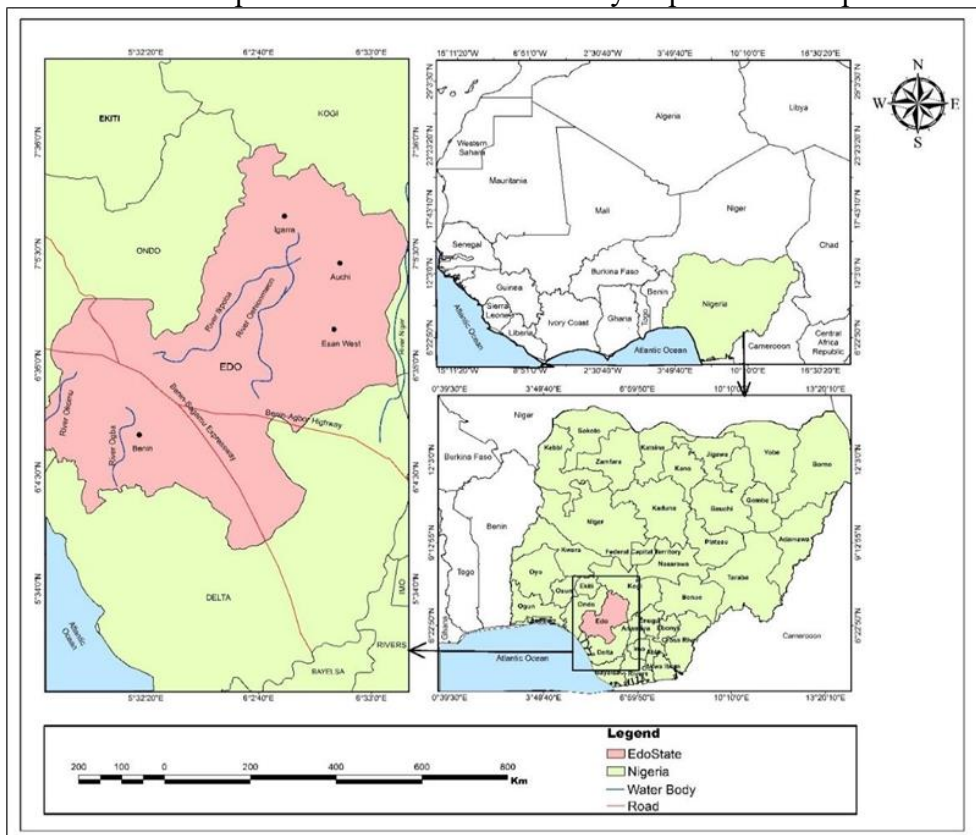


Fig. 1. Edo State Map showing the case study area - Edo State, Nigeria (on the left) - and the two inset maps show the map of West Africa, focusing on Nigeria (upper), while the second is the map of Nigeria, focusing on Edo State (lower).

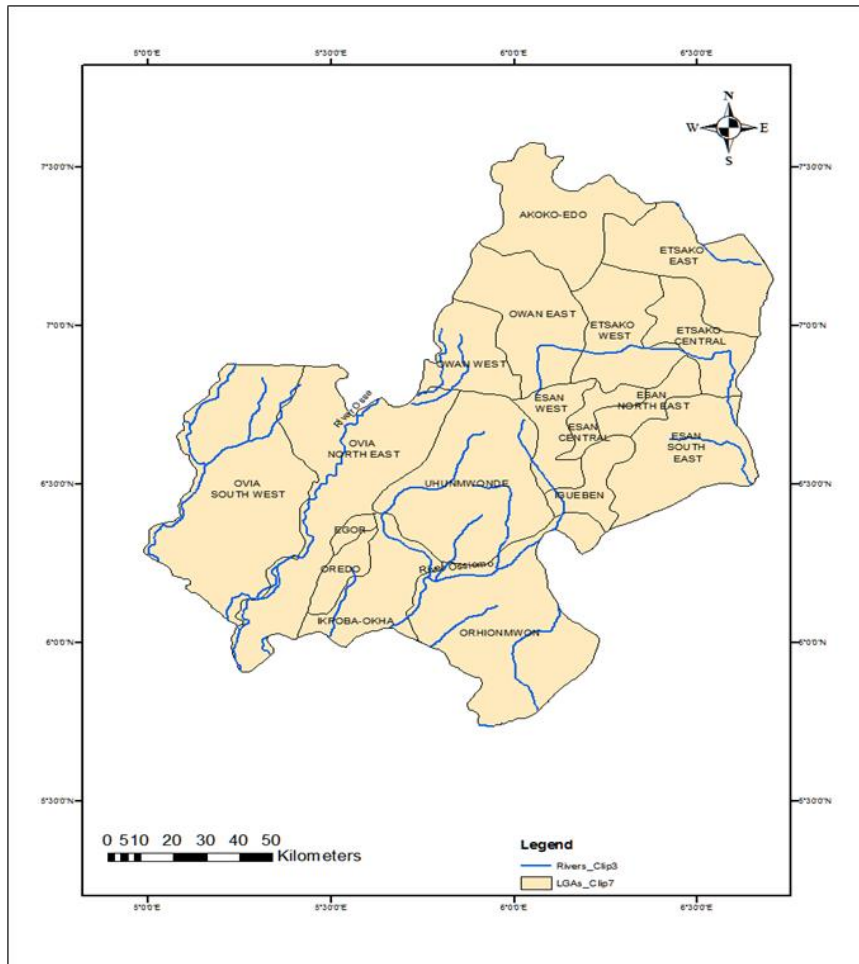


Fig. 2. Drainage system of Edo State

Materials and Methods

The data used in this research consisted of a soil map derived from the Africa Soil Properties dataset (Africa Soil Profiles Database, n.d.), a geological map of Edo State, and precipitation data downloaded from Google Earth (using seven (7) synoptic gauging sampling stations picked at random and interpolated). The rainfall data spanned 10 years (from 2010 to 2020). A Landsat 8 image of 30 meters resolution with path 189, row 56, and Digital Elevation Data (DEM) from Shuttle Radar Thematic Mapper (SRTM) of 2020 was obtained from the United States Geological Surveys (USGS). The software used for the study includes ArcGIS 10.5, Microsoft Excel 2019, and the Analytical Hierarchy Process (AHP) Calculator.

The study area was classified into built-up/bare land, river/wetland (Fig. 4.), rock outcrops, and vegetation using the maximum likelihood algorithm in ArcGIS. Land cover can greatly modify the effect of rainfall,

affecting soil erosion and runoff properties (Adinarayana, 1995). Areas with high soil erosion create a weak foundation for dams (Baban and Wan-Yusof, 2003).

Soil data

The soil properties were obtained from Africa Soil Information Services (AFSIS) data sets. Based on their textural properties and their different infiltration rates, the classes of soil types we have in Edo State are Sandy Loam, Sandy Clay Loam, Loam, and Clay Loam of different preference values. Based on the classification, clay loam, which is the soil type with the lowest infiltration rate, was found southwest of the study area. Essentially, soil acts as a pervious medium, providing multiple passageways that allow water to move to the surface. The degree to which soil can pass water through a drainage channel is a function of the size of soil particles, arrangement, and extent of aggregation between them, making soil the major controller of the hydrological response of a catchment (USDA, 2004).

Geologic data

A very vital factor that affects dam construction when considering natural factors is the geology. The geologic map for the area of study was digitized from the Arc Geological Map of Nigeria, Nigeria Geological Survey Geologic Map of Nigeria 2006 (Geological Maps, n.d.).

Surface hydrology and stream network analysis

Surface hydrology and stream network analysis were carried out in ArcGIS using the sample hydrologic analysis extension. The shape of a surface determines how water flows across it. Hence, a DEM was used as input to make it possible to delineate the drainage system and characterize it. The upslope area, which contributes to a point in a stream network, and the downslope path that water would follow can then be determined. Figure 3 is the hydrological analysis flowchart adopted for the study.

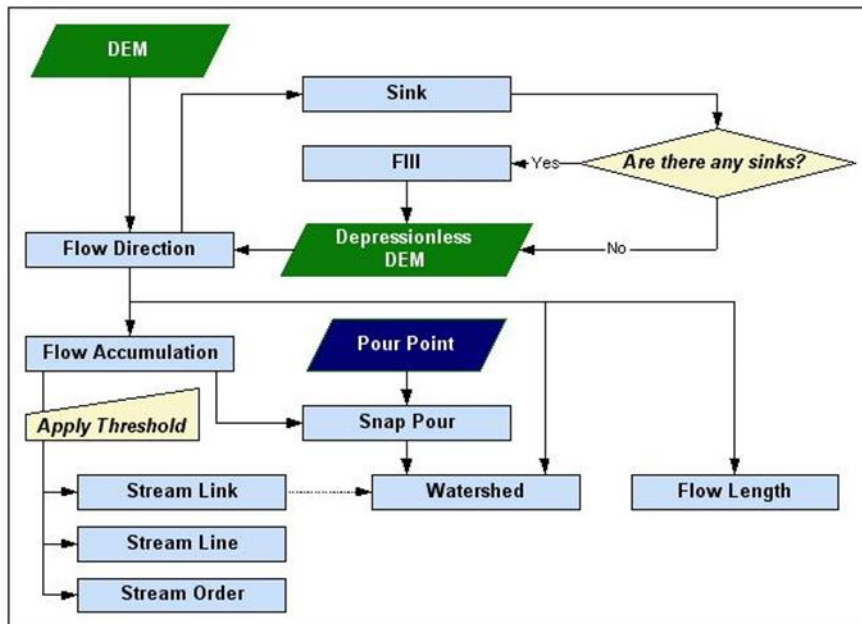


Fig. 3. Hydrological analysis flowchart used for the study

Rainfall Data

Precipitation data utilized for the study were obtained from the Google Earth weather parameters extension. It was used to derive a total of 7 rainfall gauging stations (2010-2020), which were interpolated for the entire study area using Inverse Distance Weighting (IDW) in ArcGIS to estimate the spatial distribution of rainfall amount.

Estimation of Runoff Depth

The Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN) method was employed in estimating runoff depth [13] - [15]. To achieve this, Curve Numbers were derived by reclassifying the land use/land cover map and soil texture map into the hydrological soil group using the United States Department of Agriculture land use and land cover classification system (Class A, B, C, and D) (Melesse, 2002; Valiantzas, 2012; Prasad et al., 2014). The runoff curve number (CN) was estimated on a pixel basis during image analysis. Runoff depth was calculated based on Equations 1 and 2 according to Prasad et al. (2014) below, where Q = runoff depth (mm), P = rainfall depth (mm), retention after runoff (mm), S = potential maximum retention after runoff begins (mm), and Ia = initial abstraction (mm) assumed as 0.25:

$$Q = \frac{(p-Ia)^2}{(p-Ia)+s} \dots\dots\dots \text{Equation 1}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Equation 2}$$

Slope

Slope analysis was done in ArcGIS using SRTM data. Gradients of slopes play a critical role in the suitability of locations for dam construction, especially when considering runoff generation, as it affects the recharge and infiltration rate of an area. Thus, catchments that have steeper slopes are more efficient in ensuring high runoff. Usually, slopes greater than 5% (2.86) increase runoff and soil erosion rates (Wang et al., 2023; Mahoo, 1999). Slope is categorized as gentle (less than 5 degrees), moderate to steep (5 to 18 degrees), and steep to very steep sloping (more than 18 degrees) (Adinarayana, 1995). Slope ratio was calculated using Equation 3 below:

$$\text{Slope ratio} = \tan(\text{slope in degrees}) * 100\% \dots\dots\dots \text{Equation 3}$$

Multi-Criteria Analysis (MCA)

The study employed multi-criteria analysis using AHP. Odiji et al. (2021) noted that AHP is a useful tool in decision-making where several criteria are to be considered at the same time. In this process, each criterion is given relative weight. Thereafter, two or more alternatives are compared.

Analytical Hierarchy Process (AHP)

The Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to assign relative importance to the six decision-making criteria relevant to hydropower site selection: Stream Order, Slope, Precipitation, Geologic Layer, Soil Type, and Land Use/Land Cover. AHP is particularly suited for integrating both qualitative judgments and quantitative data, offering a structured way to handle multi-criteria problems involving both tangible and intangible factors.

Pairwise Comparison and Weight Justification: A pairwise comparison matrix was constructed based on Saaty's 1–9 scale, guided by a structured expert elicitation process and informed by literature on hydropower site suitability (Saaty, 2008; Mardani et al., 2015). The experts evaluated each criterion's relative importance based on their hydrological significance and practical impact on mini-hydro project development. Stream Order received the highest weight (0.382) because it directly influences streamflow magnitude, which is foundational to energy output. Slope (0.250) followed due to its correlation with hydraulic head, affecting the potential energy available for conversion. Precipitation (0.159) was assigned significant weight due to its contribution to catchment water yield and flow continuity. Geologic Layer (0.100) was valued for its implications on construction feasibility and structural stability. Soil Type (0.064) was factored in for its role in infiltration and runoff dynamics. Land Use/Land Cover (0.0428) received the least weight due to its relative ease of modification during project implementation and lower hydrological sensitivity. Table 1 shows the criteria, their identifiers, and weights as used for the study. This hierarchy of weights reflects a balance

between physical water availability, terrain potential, and technical feasibility, as commonly adopted in similar studies (Feizizadeh et al., 2014; Machiwal & Jha, 2008).

Table 1: Criteria identifier and weights

Criterion No	Criterion	Criterion Weight
C1	Drainage order	0.382
C2	Slope	0.250
C3	Precipitation	0.159
C4	Geologic layer	0.100
C5	Soil type	0.064
C6	Land use and Land cover	0.0428

Consistency Verification: To ensure the reliability of the pairwise comparisons, the consistency ratio (CR) was calculated. The resulting CR value of 0.092 indicates acceptable consistency, as it falls below the threshold of 0.10 recommended by Saaty. This confirms that the judgments used to assign weights were logically coherent.

Suitability analysis was carried out based on all classified criteria. According to Saaty (1977), the normalized weights in the AHP used in the suitability analysis are calculated using Equation 4 below, where the intensity of importance is criteria i when compared to criteria j, and the reciprocal value is assigned to criteria j as intensity of importance. After all possible comparisons between all criteria pairs, the weight (W) of criteria i that is subsequently utilized in the suitability analysis is then calculated from the equation.

$$Wi = \sum_{j=1}^n \frac{Pij}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Pij}) \dots \dots \dots \text{Equation 4}$$

Sensitivity Analysis: Although a full sensitivity analysis using tools such as Monte Carlo simulation was beyond the scope of this study, a qualitative assessment was conducted. Each criterion's weight was varied by $\pm 10\%$ to assess the impact on the final suitability ranking. The rankings of top sites remained relatively unchanged, indicating that the model is reasonably robust to small variations in weights.

Reclassification Process

To prepare data used for the multi-criteria analysis, all input raster layers were reclassified using a common scale ranging from 1 (least suitable) to 4 (most suitable), serving as a preference value. This value was further scaled proportionally to a range of 0 to 100 in the ArcGIS environment using linear normalization. This ensures a standardized scale ideal for GIS-based decision models. It is an approach that standardizes diverse data types into a unified preference structure, ensuring compatibility across criteria layers.

Rationale for the 1–4 Scale: The initial 1–4 scale was selected for its balance between granularity and interpretability. A wider scale (e.g., 1–9), although commonly applied in standard AHP practices, was considered inappropriate in this case due to the relatively low resolution and variability of some input datasets. Research by Malczewski (1999) and Feizizadeh & Blaschke (2013) suggests that smaller scales can improve coherence and reduce overfitting in GIS-based multi-criteria evaluations where data differentiation is limited. Thus, the 1–4 scale used in this study ensures both methodological clarity and data-aligned sensitivity.

Criteria for Assigning Reclassification Values: Reclassification thresholds were defined based on both expert knowledge and literature:

- Slope: Higher slopes (e.g., $>12^\circ$) received a score of 4 due to their potential for generating higher hydraulic head. Gentle slopes ($<2^\circ$) were scored 1 due to limited energy generation potential.
- Precipitation: Areas with mean annual rainfall above 185 mm were scored 4, reflecting high runoff potential. Lower precipitation zones were scored progressively lower.
- Stream Order: Higher stream orders (e.g., 5th order) were assigned higher scores based on greater expected discharge.
- Soil Type and Geologic Layer: Classes were rated based on permeability and stability. For example, granitic formations and loamy soils scored higher due to their structural suitability and moderate infiltration.
- Land Use/Land Cover: Vegetated areas (e.g., forest) scored higher due to their lower ecological impact and greater infiltration capacity. Built-up areas and barren lands received lower scores or were excluded.

The reclassification involves subjective judgments, thresholds, and scores that were developed in consultation with hydrologists and GIS specialists and cross-referenced with existing studies (Baban & Wan-Yusof, 2003; Mahoo, 1999). By applying a consistent rule-based approach, the influence of subjectivity was minimized and documented transparently to allow for replication. Table 3 shows the preference values used for reclassification of the various criteria used in the study.

Table 3: Unified preference values for reclassification

Slope (Degree)	Preference value	Unified Preference value
0 – 2.0	1	25
2.0 – 5.0	2	50
5.0 – 12.0	3	75
12.0 – 46.0	4	100
Precipitation (mm)		
140 – 156	1	25
156 – 170	2	50
170 – 185	3	75
185 – 202	4	100
Soil Type		
Sandy loam	1	25
Loam	2	50
Sandy clay loam	3	75
Clay loam	4	100
Geologic layer (Rock resistivity)		
Low resistivity	1	25
Moderate resistivity	2	50
High resistivity	3	75
Land use/Landcover		
Built up & bare Land	0	0
Rock outcrops	0	0
River and wetlands	3	50
vegetation	4	100
Stream order		
1	1	25
2	2	50
3	3	75
4	4	100

Estimation of Gross Hydropower Energy Outputs

The gross hydropower potential was further estimated for the highly suitable sites by calculating gross annual hydropower energy outputs. The measure of hydropower that can be achieved at any given location is determined by the head of the turbine and the corresponding flow rate (Kurse et al., 2010; Soulis et al., 2016).

The gross hydropower potential was calculated with the formula in Equation 5 below. It is estimated as the power available from falling water. In the equation, P is power in watts, η is the dimensionless efficiency of the turbine, ρ is the water density in 1000 kg/m^3 , Q is the flow in m^3/s or water discharge that will pass through the turbine, g is the acceleration due to gravity $= 9.8 \text{ m/s}^2$, and h is the height difference between inlet and outlet in meters, which in this context represents the gross head (Emeribe et al., 2016; Adejumobi et al., 2013).

$$P = \eta \rho Q g h \dots\dots\dots \text{Equation 5}$$

The values of gross head represent differences between the inlet and the outlet or the difference in elevation between the conveyance points or pipe, which is the penstock. The head value, or change in elevation, is calculated for each of the hydropower sites by applying Equation 6, where HD = horizontal distance traveled between the inlet and the outlet, which represents the length of the penstock.

$$\text{Elev. Change} = \text{HD} * \text{slope ratio} \dots\dots\dots \text{Equation 6}$$

The penstock's length varies with design considerations and physical properties of the location to be developed. The penstock length used in estimating the gross hydropower potential for the highly suitable areas identified in the study was purposely assigned a value of 50m. This value is suitable for areas with moderate elevation drops to hilly terrains found at these sites (Audu et al., 2022; Emeribe et al., 2016). The nature of hilly terrains and the combination of lowlands with moderate slopes (using this penstock length) allows for sufficient head (height difference) to generate power efficiently without requiring extensive civil works, excessive excavation, or structural support. A 50m length strikes a balance between achieving the necessary head and minimizing energy loss due to pipe resistance. It is also cost-effective, as a longer penstock increases material, installation, and maintenance costs (Ibegbulam et al., 2023). A relatively shorter penstock such as this will be more environmentally friendly as it requires less land clearing (Audu et al., 2022).

Turbine (system) Efficiency: The efficiency of the system depends solely on the type of turbine used for the hydropower generating system. There are various types of turbines with varying magnitudes of efficiency and circumstances in which they are more suitable. Table 4 shows these types of turbines and when they are most suitable for usage. The Kaplan turbine is most suitable for low heads, which is characteristic of the proposed hydropower sites in the study area. The Kaplan turbine has an efficiency of approximately 90%. Therefore, the efficiency (η) value in this study is substituted as 0.9 in Equation 4 above to calculate for gross hydropower potential (Emeribe et al., 2016; Adejumbi et al., 2013).

Table 4. Types of turbines and head specifications

Turbine Type	Head Range (H)
Kaplan and propeller	2 < H > 40
Francis	10 < H > 350
Pelton	50 < H > 1300
Banki-Michell	3 < H > 250
Turgo	50 < H > 250

Results and Discussion

Land Use and Land Cover

The results of the land cover analysis in Fig. 4 show an abundance of rock outcrops in the northern and northeastern parts of the study area, with settlements splattered around the habitable fringes of the rock outcrops. It shows that built-up and bare ground occupied 24%, river covered 6%, rock outcrops consisted of 35%, and vegetation occupied 35% (Fig. 5).

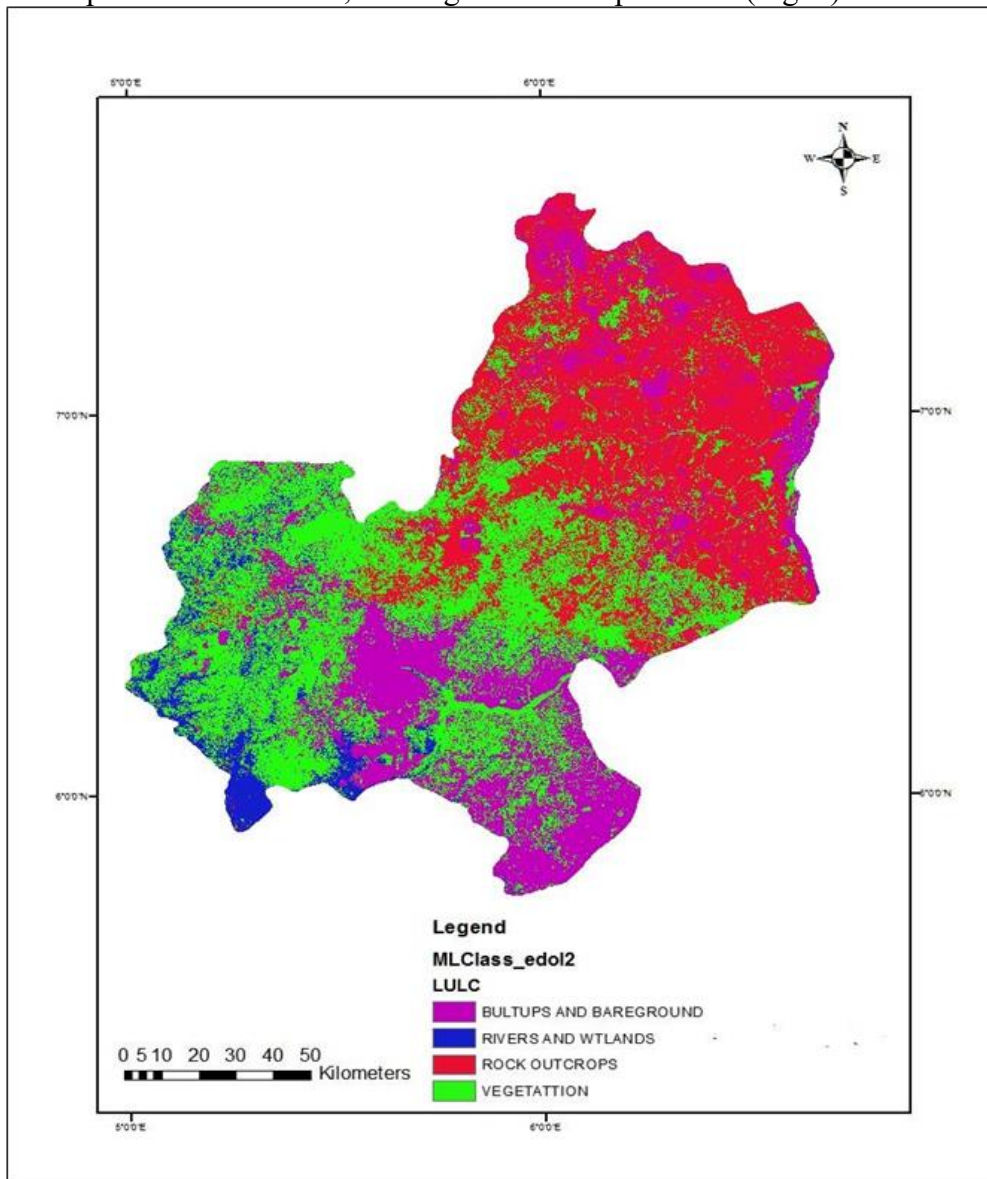


Fig. 4. 2020 Land use/Land cover in the studied area

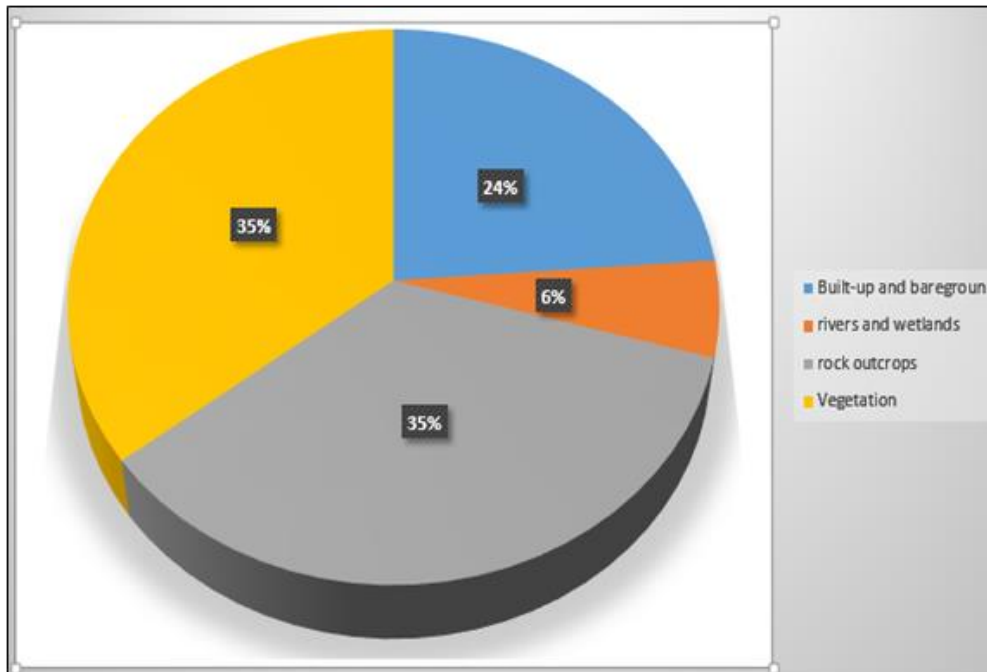


Fig. 5. Percentage pie chart of 2020 Land use/Land cover for the studied area

Soil Map layer

Analysis of the soil texture of the study area shows that sandy loam is dominant, covering 48% of the area (Figs. 6 and 7). The next soil type that covers most of the study area is the loamy textural class. It covers 47.7% of the study area and is usually characterized by medium texture, which is well-drained. The other two textural classes, which are sandy clay loam and clay loam, cover very small areas of the study area. They comprise 4% and 0.3% of the study area, respectively. They both have low infiltration rates due to the presence of clay and possess high runoff capabilities.

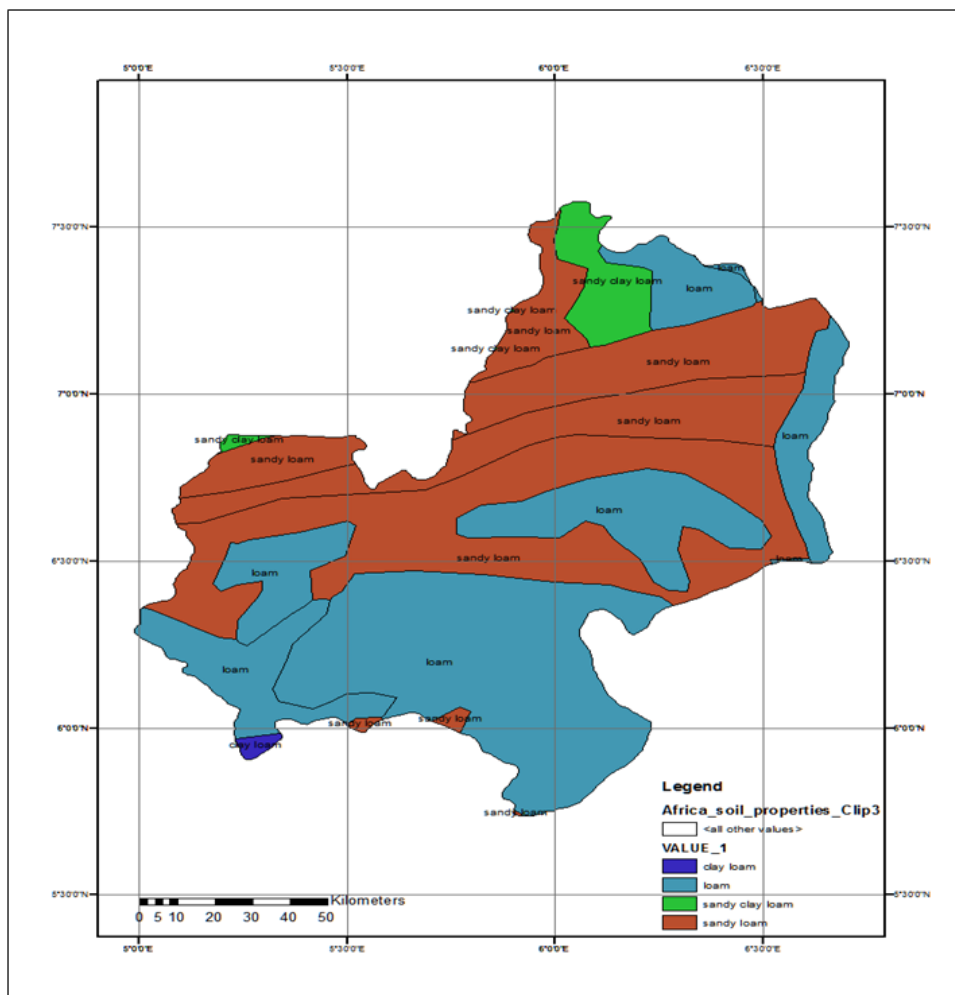


Fig. 6. Soil texture in the studied area

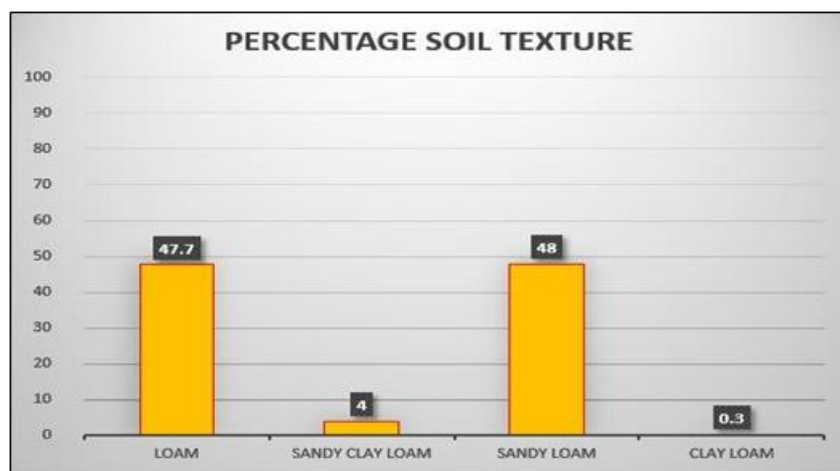


Fig. 7. Percentage of soil composition in the study area

Geologic Map layer

The study shows that most regions of the study area are composed of sedimentary rocks, and these are observed as one goes southward in the region. However, metamorphic rocks (e.g., migmatite, gneiss, and others) are also substantially distributed towards the northern region of the area (Fig. 8). Rocks with relatively high resistance to erosion, percolation, and pressure are suitable rock foundations (USACE, 1986). In this regard, Baban and Wan-Yusof (2003) identified rock (igneous rock type), quartzite rock (metamorphic rock type), thick-bedded sandstones, flat-lying sandstones, and limestone rock (sedimentary rock type) as examples of the most satisfactory materials.

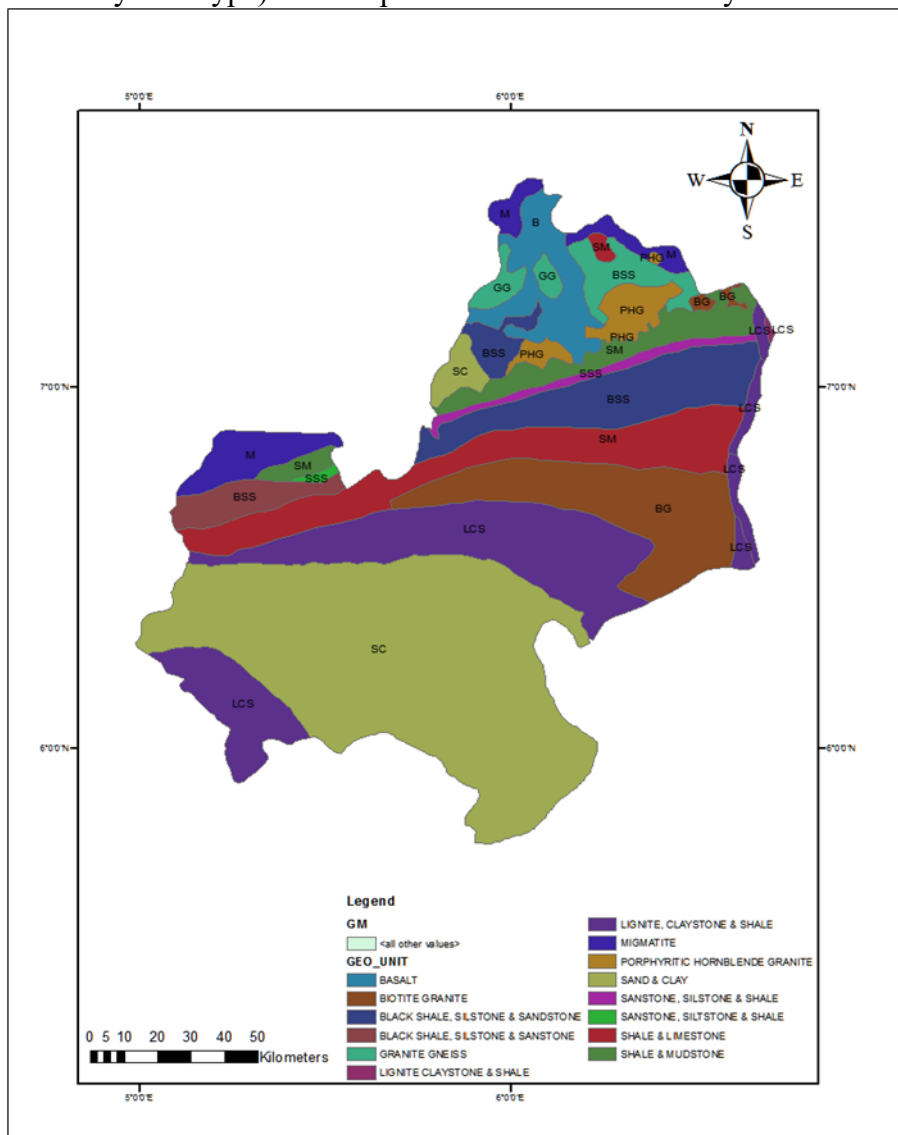


Fig. 8. Geologic map of the studied area

Resistivity map

It can be deduced from the resistivity analysis that high resistivity occurred in the northeastern part of the study area, with a small proportion in the central and western parts. Central and southern parts depict moderate resistivity, while the larger part of the study area from north to south contains low-resistivity rocks (Fig. 9).

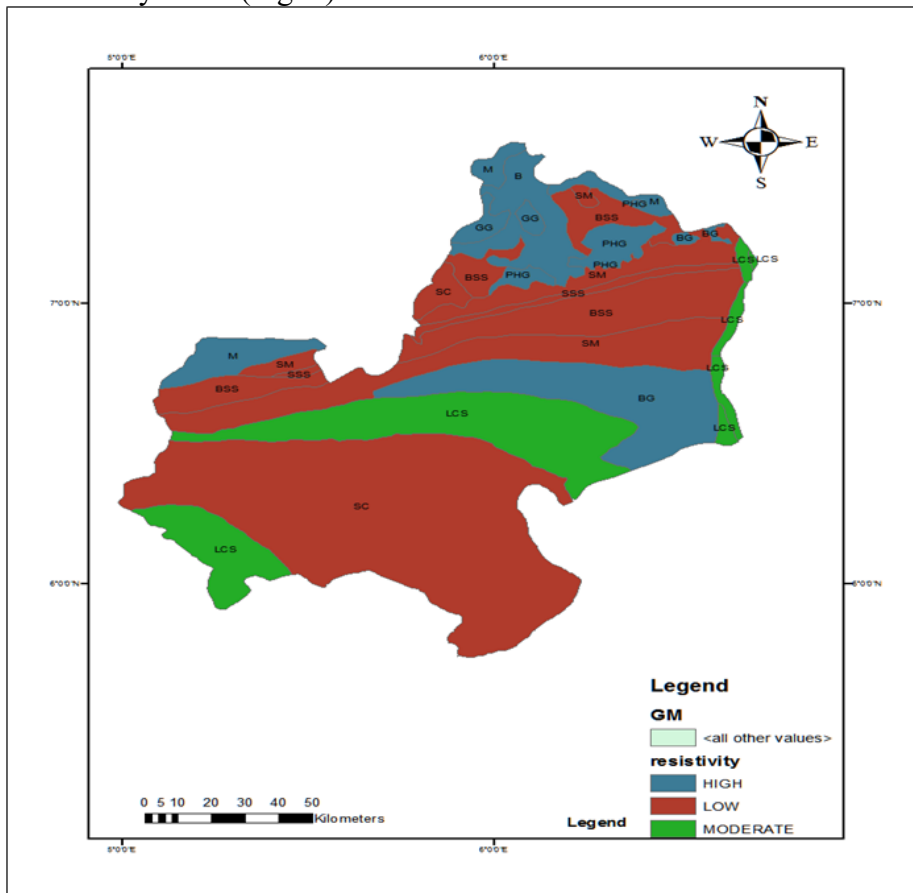


Fig. 9. Resistivity in the study area

Slope Map

Analysis of the slope map of the study area for hydropower generation revealed that larger parts of the study area are dominated by gentle to moderate slopes, except in the northern part where the slopes are steep and deep due to the fact that the region is a hilly and rocky terrain (Fig. 10). The northern part of Edo State has the most suitable slope for hydropower generation, which ranges from steep to very deep slope. The regions surrounding the proposed highly suitable hydropower spots all have slopes ranging from 3 to 5 degrees. Therefore, the slope average is calculated for this range as equal to 4° , used in calculating the slope ratio.

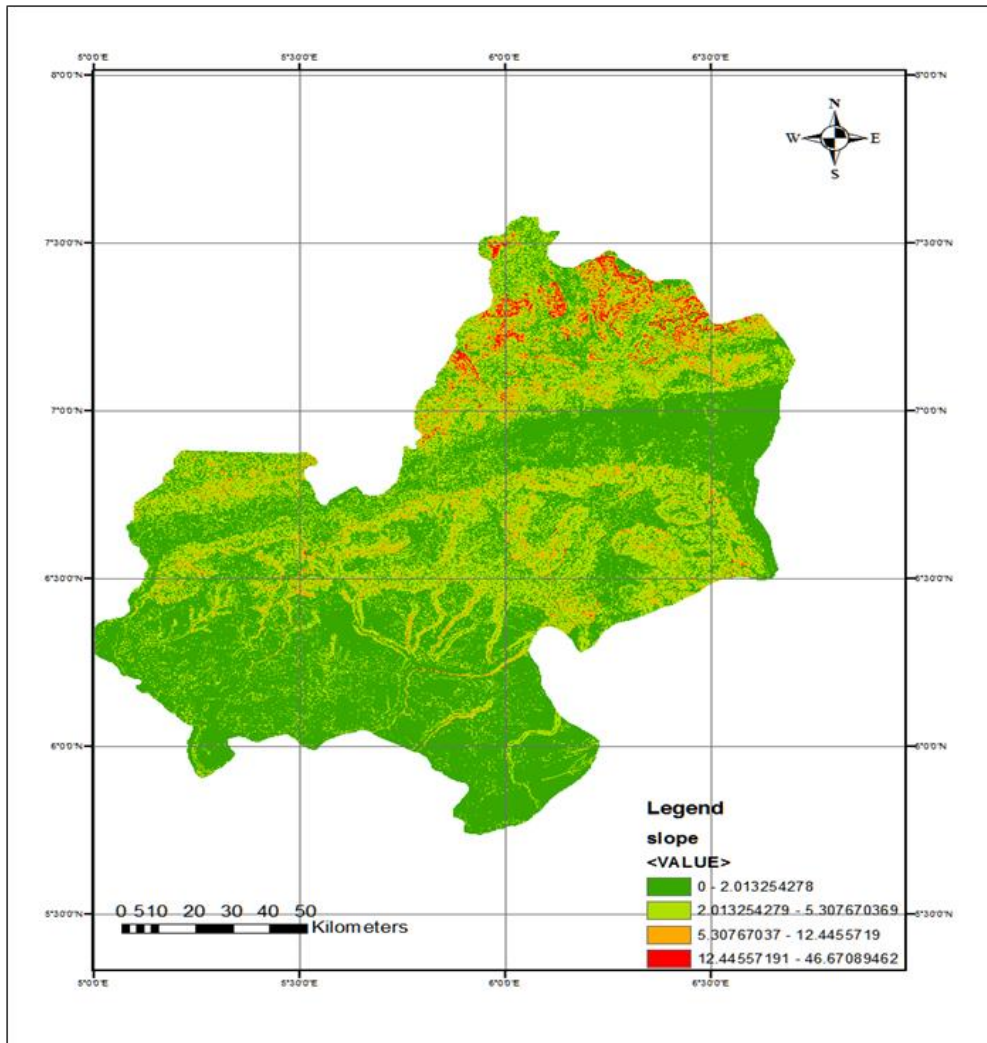


Fig. 10. Slope in the study area

Precipitation and Rivers/Basin Map

Rainfall distribution amount varies considerably across the study area, with the southwestern part of the area receiving much more rainfall than the northern and northeastern parts (Fig. 11). The maximum amount of mean annual rainfall ranges between 147 mm to 210 mm, while the low range of mean annual rainfall is between 140 mm/year and 193 mm/year. The river basin map of the study area shows that the major rivers in the area are located in the southern part of the area, including the Ovia River, the Ose River, and the Ossiommo River (Fig. 12). These rivers are suitable for hydropower generation and are a major contributing factor to the suitability of small hydropower generation.

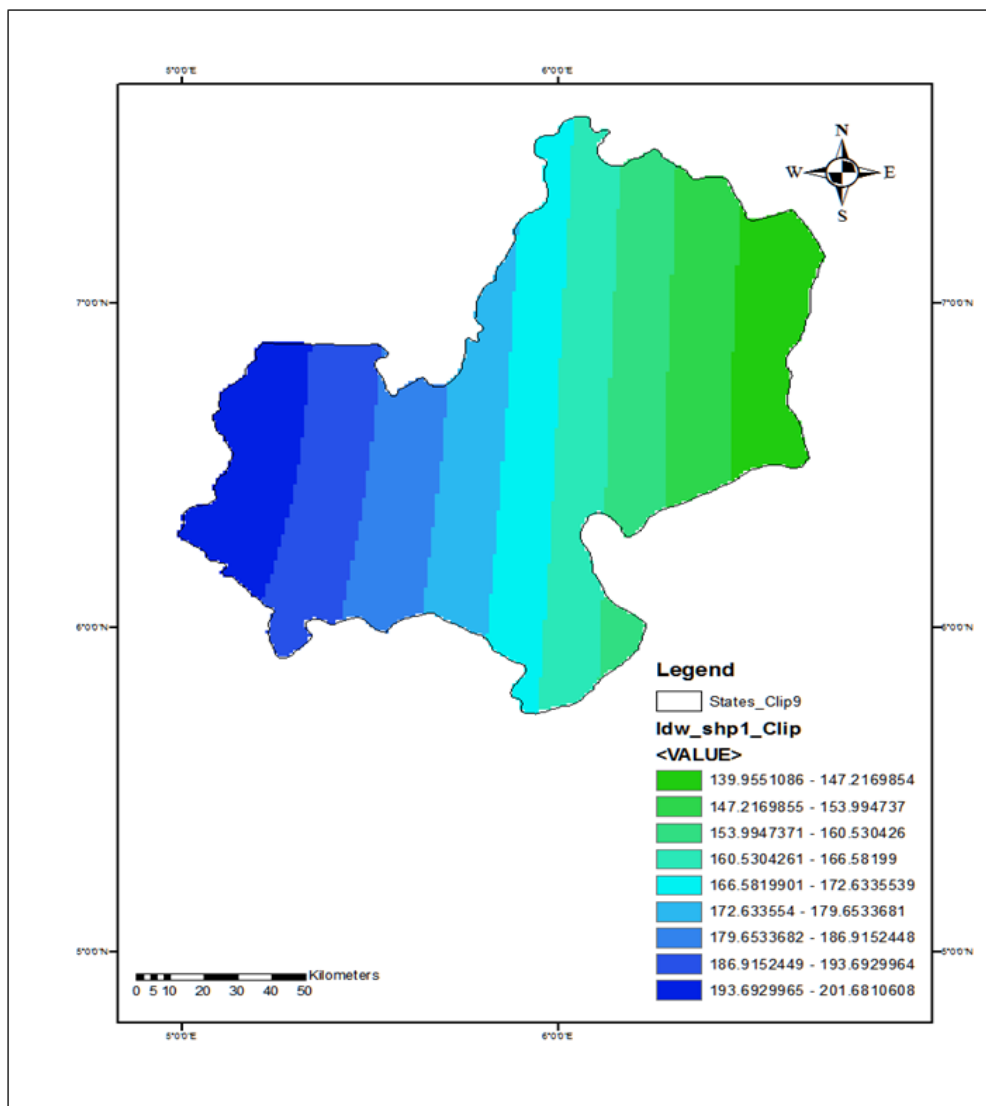


Fig. 11: Precipitation Distribution in the studied area

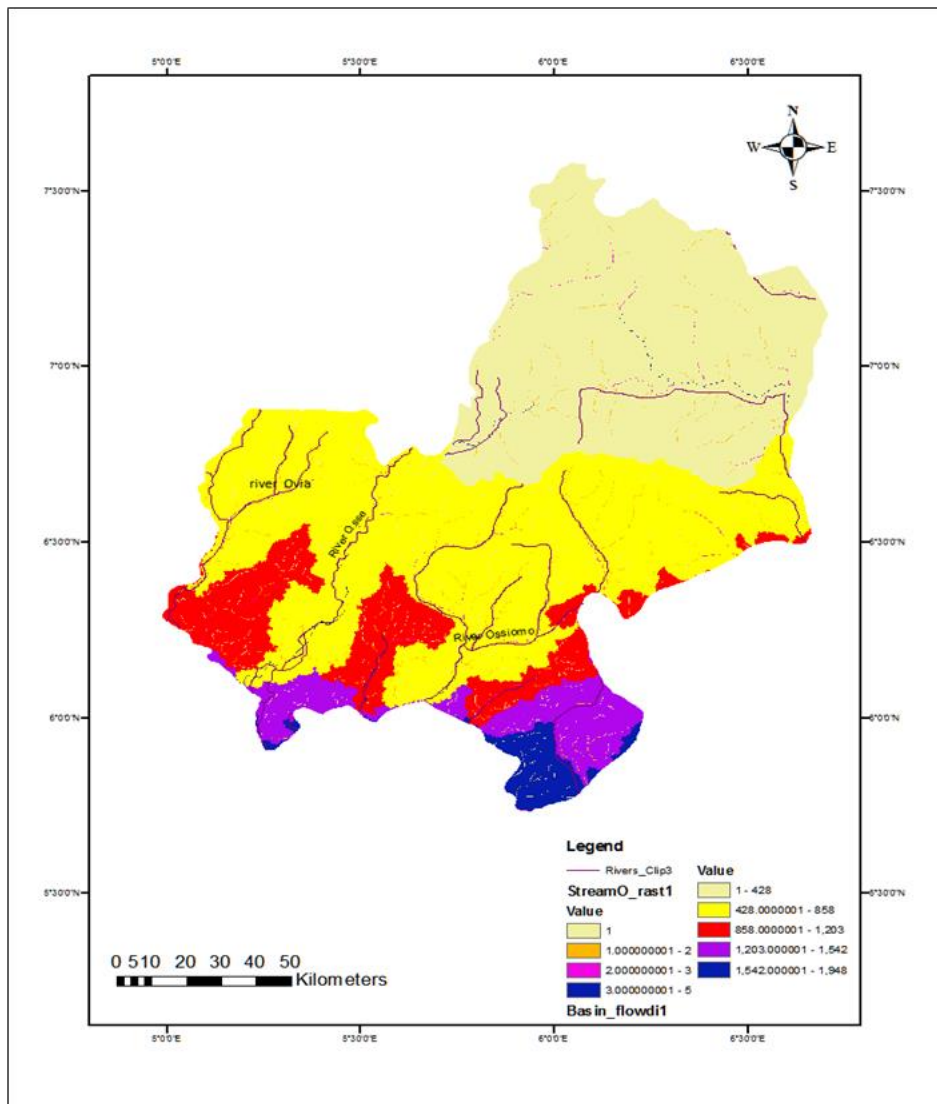


Fig. 12: Rivers & Basin in the studied area

Suitability map

The overall result of the suitability analysis for the study shows a distribution of suitable sites for small hydropower dams in the study area, Edo State, Nigeria. The results reveal a total of 337 sites, out of which 155 (46%) are of low suitability, while 179 (53%) are of moderate suitability, and only 3 (1%) are of high suitability. Figure 13 shows the distribution of the different classes of suitability across the study area, while Figure 14 shows the highly suitable areas for siting a dam for a small hydropower plant for the purpose of power generation in Edo State. The highly suitable points are located in the south-western part of the state almost along the Ose River channel.

Nevertheless, other moderately suitable sites could be considered for development based on varying factors and policies.

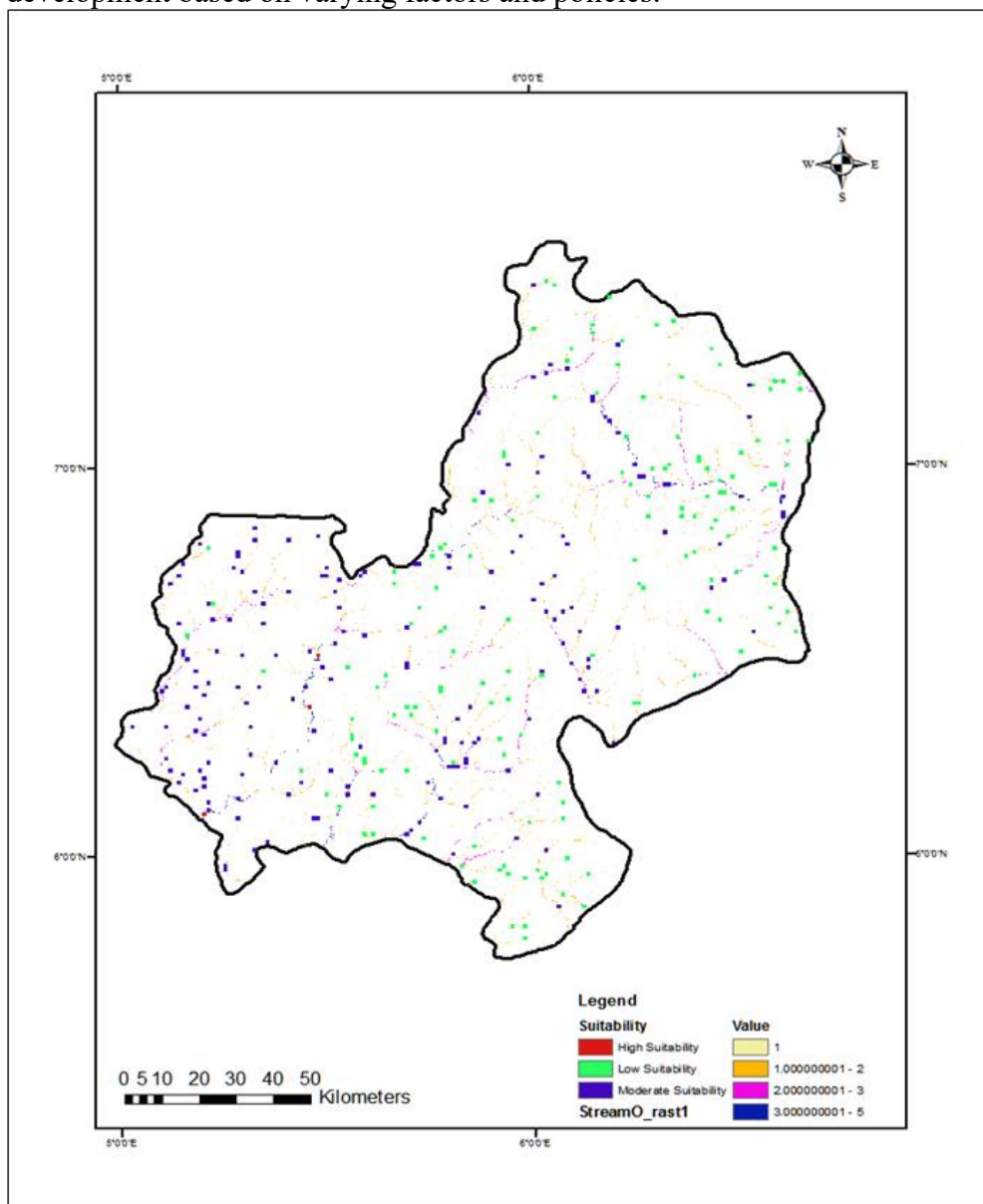


Fig. 13. Distribution of Suitability for Small Hydro Power (SHP) dam in the studied area

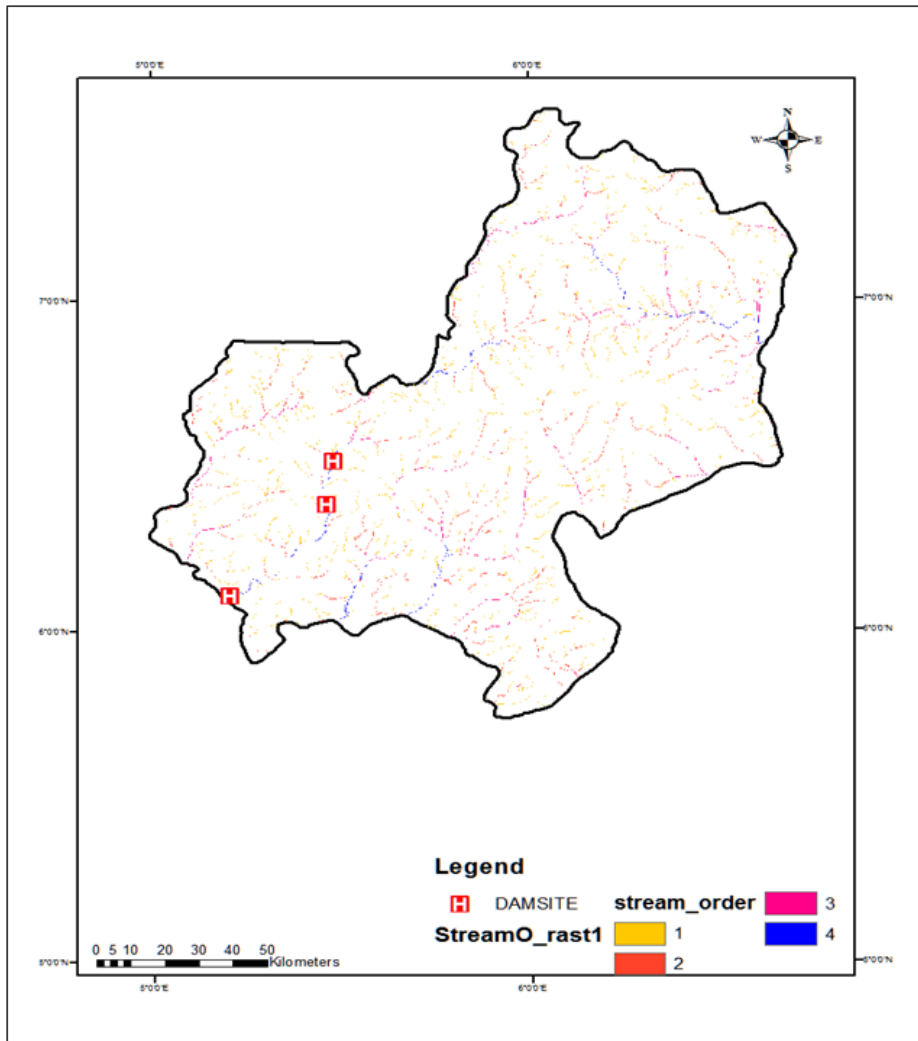


Fig. 14. Proposed Hydropower Damsites (of Highly Suitable points depicted with the symbol “H” on the map) for the studied area.

Run-off Depth

The runoff values for the three suitable dam sites contain curve number values of 65 for the first site, 60 for the second site, and 98 for the third site (Table 5). The average monthly precipitation ranges from 190.5 mm in the 1st suitable site and 190.5 mm and 198 mm for the 2nd and 3rd sites, respectively. The first, second, and third sites contained 5.38 mm, 6.67 mm, and 0.2 mm as the potential maximum retention after runoff starts, with 1.08, 1.33, and 0.04 as the initial abstraction values lost before runoff is generated due to infiltration, evaporation, and water interception by vegetation. The runoff depth consisted of 189 mm, 183 mm, and 197.7 mm for the first, second, and third suitable dam sites, respectively.

Table 5: Runoff values for each SHP site

Dam Site	CN Value	Avg Precipitation	S	Initial Abstraction (I _a) mm	Runoff (Q)
Dam 1	65	190.5	5.38	1.08	189
Dam 2	60	190.5	6.67	1.33	183
Dam 3	98	198	0.2	0.04	197.7

Gross Hydropower Energy Outputs

The gross hydropower potential was estimated for the three most suitable sites by calculating their annual energy outputs. The analysis, as shown in Table 6, provides both locational data and gross energy output from each site. The results revealed that the volume of water runoff (Q) is a primary factor in determining the power generation capacity at each hydro site. Specifically, hydro site 1, with a runoff of 189 m³/s, can generate approximately 5.83 MW of power annually. Hydro site 2, with a runoff of 183 m³/s, has a gross power capacity of 5.65 MW per year. Hydro site 3, with the highest runoff of 197.8 m³/s, can produce about 6.10 MW annually.

It is important to emphasize that these values are theoretical estimates and do not reflect the exact power generation that may be realized when the hydropower plants are operational. Actual energy outputs can vary due to several factors, including weather changes, seasonal variations in water flow, and design or engineering considerations. For instance, the head (the vertical distance between the water source and the turbine) may fluctuate throughout the year based on rainfall or drought conditions. The values presented in Table 6 are average annual estimates that provide a general indication of the hydropower potential at each site.

Hydro Site 1: A site with coordinates 5° 28' 6.5" E and 6° 6' 34.7" N is identified for small hydropower generation with a runoff rate of 189 m³/s, generating an estimated 5.83 MW annually.

Hydro Site 2: A second site with coordinates 5° 27' 27.2" E and 6° 23' 11.5" N has a slightly lower runoff of 183 m³/s and is estimated to produce 5.65 MW of power annually.

Hydro Site 3: The third and most powerful site, with coordinates 5° 12' 6.5" E and 6° 6' 34.7" N and a runoff of 197.8 m³/s, has a capability of generating 6.10 MW annually.

These sites were selected based on their suitability for hydropower development and provide a promising opportunity for renewable energy generation in the region. However, further site-specific evaluations are needed to refine these estimates and account for real-world conditions.

Table 6: Location and Potential Gross Annual Approximate Output

Site	Latitude	Longitude	Head	Q(Runoff)	Gross Power (watts)	Gross Power (Mw)
1	5° 28' 6.5" E	6° 6' 34.7" N	3.5	189	5,834,430	5.83
2	5° 27' 27.2" E	6° 23' 11.5" N	3.5	183	5,649,210	5.65
3	5° 12' 6.5" E	6° 6' 34.7" N	3.5	197.8	6,104,851	6.10

Conclusion

This study examined the suitability of sites for small hydropower (SHP) development in Edo State, Nigeria, using GIS and multi-criteria analysis techniques. The results identified three highly suitable locations for SHP development, with estimated gross annual energy outputs of 5.8 MW, 5.65 MW, and 6.1 MW. These sites offer a promising contribution to the region's energy supply, particularly in supporting rural electrification efforts and reducing dependence on the national grid.

However, the study highlights that further study and considerations are necessary before development. These include evaluating the specific hydropower yield, the segment of the river where each site is located, environmental and ecological impacts, socio-cultural implications, and adherence to government policies. While the focus of this research was on the most suitable sites, moderately suitable locations also hold potential but may require more investment or yield lower energy output.

In conclusion, the development of SHP in Edo State presents a viable path towards sustainable and renewable energy generation. With proper planning and consideration of key environmental and other relevant policy factors, these sites could significantly enhance local power generation capacity and contribute to broader electrification initiatives in Nigeria. These findings are intended to guide government agencies and private sector actors seeking reliable alternatives to centralized power systems. Future work should include site-level engineering and environmental feasibility studies to operationalize the mapped hydropower potentials.

Conflict of Interest: On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

Data Availability Statement

Data publicly available in a repository:

- Geologic data is available at <http://ngsa.gov.ng/geological-maps/>. Landsat and SRTM data are available at <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Precipitation data are available at <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/tags/precipitation>, soil data is available at <https://osf.io/86qcy/>.

Data cannot be shared openly, but is available on request from the authors:

- Additional data sets to the above-listed, generated during the current study, are available from the corresponding author on reasonable request.

Funding Statement: The authors declare that no funds, grants, or other support were received during the preparation of this manuscript.

References:

1. Adejumobi, I. A., Adebisi, O., I. and Oyejide S. A. (2013) *Developing Small Hydropower Potentials For Rural Electrification*. College of Engineering, Federal University of Agriculture , Department of Electrical/Electronics Engineering, Abeokuta.
2. Adinarayana, J. K. N. (1995) An Integrated Approach for Prioritization Of Watersheds. *Journal of Environmental Management*, 4(44), 375-384.
3. Africa Soil Profiles Database (AFSP). (n.d.). www.isric.org. <https://www.isric.org/projects/africa-soil-profiles-database-afsp>
4. Ang, T., Salem, M., Kamarol, M., Das, H. S., Nazari, M. A., & Prabakaran, N. (2022). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*, 43, 100939. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100939>
5. Audu, L. M., Musa, N. A., Nasir A. and Muhammadu M. M. (2022). Environmental Impact Assessment of a Small Hydropower Plant: A Case Study of Orle River Auch. *Nigeria Journal of Engineering Science Research (NIJESR)*, 5(2): 28-39
6. Baban S. M. J. and Wan-Yusof K. (2003) Modelling Optimum sites for locating reservoirs in tropical Environments. *Water Resources Management*, 1-17. <https://doi.org/10.1023/a:1023066705226>
7. Chiyembekezo SK, Cuthbert ZK, Torbjorn KN (2012) Potential of Small-Scale Hydropower for Electricity Generation in Sub-Saharan Africa, International Scholarly Research Network ISRN Renewable Energy Volume 2012, Article ID 132606, 15 pages doi:10.5402/2012/132606.
8. Citypopulation (2023) Data retrieved: 23-11-2023 from <https://citypopulation.de/en/nigeria/cities/agglos/> based on data from National Population Commission and National Bureau of Statistics, Nigeria.
9. Department of the Army & U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (1986). SEEPAGE ANALYSIS AND CONTROL FOR DAMS (Change 1) [Engineer Manual]. Department of the Army.

- https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1901.pdf (Original work published 1993)
10. De winnaar G. (2007) A GIS based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River Basin, South Africa. *Physics and Chemistry of The Earth*, 1058-1067.
 11. Emeribe, C. N., Ogbomida, E., Fasipe, O., Biose, O., Aganmwonyi, I., Isiekwe, M., & Fasipe, I. (2016). Hydrological Assessments of Some Rivers in Edo State, Nigeria for Small-Scale Hydropower Development. *Nigerian Journal of Technology*, 35(3), 656. <https://doi.org/10.4314/njt.v35i3.26>.
 12. Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2013). Examining urban Heat island relations to land use and air pollution: multiple endmember spectral mixture analysis for thermal remote sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(3), 1749–1756. <https://doi.org/10.1109/jstars.2013.2263425>
 13. Feizizadeh, B., Roodposhti, M. S., Jankowski, P., & Blaschke, T. (2014). A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Computers & Geosciences*, 73, 208–221. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.08.001>
 14. Fraenklel P. P (1991) *Micro-Hydro Power; A guide for development workers*, London. London: Immediate Technology Publications in association with The Stooockholm Environment Institute.
 15. Ibegbulam, M. C., Fatounde, S. A., Olowonubi, J. A (2023) Small Hydropower (SHP) Development in Nigeria: An Assessment, Challenges, And Opportunities, *International Journal of Physical Sciences Research*, 7 (1), 11-35
 16. Karakuş C. B, Yıldız S (2022) GIS-multi criteria decision analysis-based land suitability assessment for dam site selection. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Springer, 19:12561–12580, <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04323-4>.
 17. Khare V, Khare C, Nema S, Baredar P (2019) Chapter 1 - Introduction to Energy Sources In: V Khare, C Khare, S Nema, PBT-TESBaredar (ed) Elsevier, pp 1–39 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814881-5.00001-6>.
 18. Kurse BC, Baruah DC, Bordoloi PK, Patra SC (2010) Assessment of Hydropower Potential using GIS and Hydrrological Modelling technique in Kopili River Basin in Assam India. *Appl. Energy*, 87(1), 298-309.
 19. Geological Maps. (n.d.). Nigeria Geological Survey Agency. <https://ngsa.gov.ng/geological-maps/>

20. Machiwal, D., & Jha, M. K. (2008). Comparative evaluation of statistical tests for time series analysis: application to hydrological time series / Evaluation comparative de tests statistiques pour l'analyse de séries temporelles: application à des séries temporelles hydrologiques. *Hydrological Sciences Journal*, 53(2), 353–366. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.2.353>
21. Mahoo HN (1999) Rainwater Harvesting Technologies for Agricultural Production: A case of Dodoma, Tanzania. Dodoma.
22. Maidment RD (1993) Handbook of Hydrology. Texas, USA: University of Texas.
23. Malczewski, J. (1999) GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons, New York.
24. Mardani, A., Jusoh, A., & Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems With Applications*, 42(8), 4126–4148. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.003>
25. Melesse AM (2002) Spatially Distributed Storm Runoff Depth Estimation using Landsat images and GIS. University of Florida, Gainesville.
26. NIMET (2007) Rainfall and Temperature data for Benin City Synoptic Station. *Nigerian Meteorological Agency (NIMET), Benin, Nigeria*.
27. Nyambuu, U., Semmler, W. (2023). Fossil Fuel Resources, Environment, and Climate Change. In: Sustainable Macroeconomics, Climate Risks and Energy Transitions. Contributions to Economics. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-27982-9_4
28. Odiji C, Adepoju M, Ibrahim, I, Adedeji O, Nnaemeka I, Aderoju O (2021) Small hydropower dam site suitability modelling in upper Benue River watershed, Nigeria, *Applied Water Science, Springer*. 11:136 <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01466-6>.
29. Osokoya O. O., Ojikutu, A. O., Olayiwola, O. O., Chinedum, C. W., & Osokoya, O. O. (2013). Enhancing Small Hydropower Generation in Nigeria. *Journal of Sustainable Energy Engineering*, 1(2), 113–126. <https://doi.org/10.7569/jsee.2012.629507>
30. Prasad HC, Bhalla P, Palria S (2014) Site suitability Analysis of water Harvesting Structures using Remote Sensing and GIS- A csae Study of Pisangan Watershed, Ajmer District, Rajasthan. The Internal Archives of the Photogrammetry, Remote Sensng and Spatial Information Sciences., XL-8.
31. Saaty T (1977) A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 3(15), 234-281.

32. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83. <https://doi.org/10.1504/ijssci.2008.017590>
33. Soulis, K. X., Manolakos, D., Anagnostopoulos, J., & Papantonis, D. (2016). Development of a geo-information system embedding a spatially distributed hydrological model for the preliminary assessment of the hydropower potential of historical hydro sites in poorly gauged areas. *Renewable Energy*, 92, 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.013>.
34. USDA (2004) *Estimation of Direct runoff from Storm rainfall, National Engineering Handbook*.
35. Valiantzas KS (2012) *SCS-CN Parameter determination using Rainfall-Runoff data in heterogenous Watersheds- the two-CN-System approach*. Agricultural University of Athens, Greece, Department of Natural resources Management and Agriculture Engineering. Athens: Hydrology and Earth System Sciences.
36. Wang L, Li Y, Wu J, An Z, Suo L, Ding J, Li S, Wei D, Jin L (2023) Effects of the Rainfall Intensity and Slope Gradient on Soil Erosion and Nitrogen Loss on the Sloping Fields of Miyun Reservoir. *Plants (Basel)*. 12(3):423. doi: 10.3390/plants12030423. PMID: 36771513; PMCID: PMC9921839.
37. Webb, S. (2024). Fossil fuels and environmental degradation. *EBSCO Research Starters*
38. World Bank Climate Change Knowledge Portal. (n.d.). <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/nigeria/climate-data-historical>

Aspects épidémiologiques et causes des décès maternels dans le département de la Donga de 2020 à 2024

Mavlyson Kolawolé Zinvokpodo

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,
Université d'Abomey-Calavi. Institut de Formation et de Recherche
Interdisciplinaires en Sciences de la Santé et de l'Éducation au Burkina.
Commune de Copargo, Zone Sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké,
Direction Départementale de la Santé de la Donga

Georgia Barikissou Damien

Centre de Formation et de Recherche en matière de Population,
Université d'Abomey-Calavi. Unité de santé publique,
Faculté des Sciences de la santé, Université d'Abomey-Calavi, Benin

Rousseau Christel Segbegnon Zinvokpodo

Commune de Bonou, Zone Sanitaire Adjohoun-Bonou-Dangbo,
Direction Départementale de la Santé de l'Ouémé

Ignace Coovi Nonwanou Tokpanoude

Institut de Formation et de Recherche Interdisciplinaires en Sciences de la
Santé et de l'Éducation au Burkina. Unité de santé publique,
Faculté des Sciences de la santé, Université d'Abomey-Calavi.
Association des médecins communautaire du Bénin

Josué Gildas Nical Kenet Tchilamessi Nounon

Collectif de Recherche et d'Innovation en Statistique, de Travail et
d'Application sur les Logiciels (CRISTAL-ENSPD),
Université de Parakou, Bénin

Badirou Aguemon

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,
Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p106](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p106)

Submitted: 28 May 2025

Accepted: 21 July 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Zinvokpodo, M.K., Damien, B.G., Zinvokpodo, R.C.S, Tokpanoude, C.N.I., Tchilamessi, J.G.N.K. & Aguemon B. (2025). *Aspects épidémiologiques et causes des décès maternels dans le département de la Donga de 2020 à 2024*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 106. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p106>

Résumé

Introduction : La mortalité maternelle reste un problème majeur de santé publique, en particulier dans les pays à ressources limitées, comme le Bénin. Malgré les efforts déployés ces dernières années, les décès maternels demeurent préoccupants, notamment en raison des complications obstétricales directes et des causes indirectes, telles que les pathologies médicales associées à la grossesse. Cette étude vise à décrire les aspects épidémiologiques des décès maternels dans le département de la Donga, au Bénin, de 2020 à 2024.

Méthodologie : Il s'agit d'une étude descriptive rétrospective réalisée à partir des données issues des audits des décès maternels dans les deux zones sanitaires du département de la Donga : Djougou-Copargo-Ouaké et Bassila. Les données ont été collectées via un formulaire standardisé d'audit, puis analysées en distinguant les causes obstétricales directes et indirectes, conformément à la classification de l'Organisation Mondiale de la Santé. Les variables analysées incluent l'année de survenue, les caractéristiques sociodémographiques des femmes décédées, le délai de prise en charge et les circonstances du décès. **Résultats :** Pour l'ensemble du département de la Donga, le taux de mortalité maternelle cumulé entre 2020 et 2024 est estimé à environ 95,01 décès pour 100 000 naissances vivantes. La majorité des femmes décédées était âgée de 20 à 35 ans (72,00 %) et résidait en milieu rural (74,80 %). Les principales causes étaient les hémorragies post-partum (36,21 %), les troubles hypertensifs de la grossesse, notamment la prééclampsie et l'éclampsie (17,24 %), et la rupture utérine (11,21 %). Les causes indirectes étaient dominées par l'anémie sévère (62,96 %). La majorité des décès (72,70 %) était survenue dans les 24 premières heures suivant l'admission, principalement pendant la période du post-partum (67,80%). **Conclusion :** La mortalité maternelle dans la Donga demeure préoccupante, avec des causes évitables telles que les hémorragies post-partum et les complications hypertensives. Les résultats de cette étude soulignent la nécessité de renforcer l'accès et la qualité des soins obstétricaux d'urgence, particulièrement en post-partum, et d'améliorer la prévention et la prise en charge des pathologies médicales associées à la grossesse.

Mots-clés: Mortalité maternelle, Causes obstétricales, Hémorragie, Prééclampsie, Anémie, Donga, Bénin

Epidemiological Aspects and Causes of Maternal Deaths in the Donga Region of Benin (2020–2024)

Mavlyson Kolawolé Zinvokpodo

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,
Université d'Abomey-Calavi. Institut de Formation et de Recherche
Interdisciplinaires en Sciences de la Santé et de l'Éducation au Burkina.
Commune de Copargo, Zone Sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké,
Direction Départementale de la Santé de la Donga

Georgia Barikissou Damien

Centre de Formation et de Recherche en matière de Population,
Université d'Abomey-Calavi. Unité de santé publique,
Faculté des Sciences de la santé, Université d'Abomey-Calavi, Benin

Rousseau Christel Segbegnon Zinvokpodo

Commune de Bonou, Zone Sanitaire Adjohoun-Bonou-Dangbo,
Direction Départementale de la Santé de l'Ouémé

Ignace Coovi Nonwanou Tokpanoude

Institut de Formation et de Recherche Interdisciplinaires en Sciences de la
Santé et de l'Éducation au Burkina. Unité de santé publique,
Faculté des Sciences de la santé, Université d'Abomey-Calavi.
Association des médecins communautaire du Bénin

Josué Gildas Nical Kenet Tchilamessi Nounon

Collectif de Recherche et d'Innovation en Statistique, de Travail et
d'Application sur les Logiciels (CRISTAL-ENSPD),
Université de Parakou, Bénin

Badirou Aguemon

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,
Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

Abstract

Introduction: Maternal mortality remains a major public health problem, particularly in resource-limited countries such as Benin. Despite efforts made in recent years, maternal deaths remain a cause for concern, notably due to direct obstetrical complications and indirect causes, such as medical pathologies associated with pregnancy. This study aims to describe the epidemiological aspects of maternal deaths in the Donga department, Benin, from 2020 to 2024. **Methodology:** This is a retrospective descriptive study based on data from audits of maternal deaths in the two health zones of Donga department: Djougou-Copargo-Ouaké and Bassila. Data were collected using a standardized audit form, then analyzed by distinguishing between direct and indirect obstetrical causes, in accordance with the World

Health Organization classification. Variables analyzed included year of occurrence, sociodemographic characteristics of the deceased women, time to care and circumstances of death. **Results:** For the Donga department as a whole, the cumulative maternal mortality rate between 2020 and 2024 is estimated at around 95.01 deaths per 100,000 live births. The majority of women who died were aged between 20 and 35 years (72.00%) and lived in rural areas (74.80%), the main causes being post-partum haemorrhage (36.21%), hypertensive disorders of pregnancy, notably pre-eclampsia and eclampsia (17.24%), and uterine rupture (11.21%). Indirect causes were dominated by severe anemia (62.96%). The majority of deaths (72.70%) occurred within the first 24 hours of admission, mainly in the post-partum period (67.80%). **Conclusion:** Maternal mortality in Donga remains a cause for concern, with preventable causes such as post-partum haemorrhage and hypertensive complications. The results of this study underline the need to reinforce access to and quality of emergency obstetric care, particularly in the post-partum period, and to improve prevention and management of medical pathologies associated with pregnancy.

Keywords: Maternal mortality, Obstetrical causes, Hemorrhage, Preeclampsia, Anemia, Donga, Benin

Introduction

La mortalité maternelle demeure un défi majeur de santé publique, particulièrement dans les pays à revenu faible et intermédiaire, où elle représente un fardeau considérable pour les systèmes de santé. Selon les dernières estimations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) publiées le 7 avril 2025, plus de 700 femmes décèdent chaque jour, de causes évitables liées à la grossesse et à l'accouchement, soit une femme toutes les deux minutes (OMS, 2025). L'Afrique subsaharienne concentre à elle seule près de 70 % de ces décès, principalement dus à l'accès limité aux soins de santé de qualité, des infrastructures insuffisantes, ainsi que des barrières socioculturelles (INSTAD, 2018).

Le Bénin, bien qu'ayant déployé des efforts considérables pour améliorer la santé maternelle, n'échappe pas à cette réalité préoccupante. Selon l'Enquête Démographique et de Santé (EDS) de 2017-2018, le ratio de mortalité maternelle y reste élevé, estimé à 391 décès pour 100.000 naissances vivantes, bien au-dessus de la cible des Objectifs de Développement Durable (ODD), qui visent moins de 70 décès pour 100 000 naissances vivantes d'ici 2030 (HNN, 2023) (INSTAD, 2018). Les principales causes de décès maternels au Bénin sont bien documentées : les hémorragies post-partum (29,6 %), l'éclampsie (22,2 %), les avortements compliqués (13,0 %), les infections sévères (11,0 %) et la rupture utérine (7,1 %) (Seidou, 2018). Ces

complications sont souvent exacerbées par des facteurs tels que l'insuffisance de soins obstétricaux d'urgence, le manque de personnel qualifié et les retards dans la prise en charge des complications (UNFPA, 2016).

Le département de la Donga, situé au nord-ouest du Bénin, reflète bien ces défis. Ce département, caractérisé par une population majoritairement rurale et des infrastructures sanitaires limitées, présente des indicateurs de santé maternelle préoccupants. En 2015, la létalité maternelle y atteignait un taux alarmant de 28 %, le plus élevé du pays (UNFPA, 2016).

Afin de combler ce manque de données, cette étude a pour objectif de décrire les aspects épidémiologiques des décès maternels dans le département de la Donga entre 2020 et 2024, en mettant particulièrement l'accent sur :

- L'évolution temporelle des décès maternels sur la période d'étude ;
- Les caractéristiques sociodémographiques des femmes décédées ;
- Le délai de prise en charge et la période de survenue des décès ;
- Les circonstances immédiates du décès ;
- Les causes médicales et obstétricales des décès.

Cadre et Méthode d'étude

Il s'agit d'une étude rétrospective, descriptive, menée dans le département de la Donga, situé au nord-ouest du Bénin, sur une période de quatre (4) ans, allant du 1er janvier 2020 au 31 décembre 2024. Le département de la Donga est composé de deux zones sanitaires : la zone sanitaire Djougou-Ouaké-Copargo (DCO) et la zone sanitaire de Bassila. Ces zones disposent de centres de santé périphériques et d'hôpitaux de zone, chargés de la prise en charge des urgences obstétricales et des cas maternels graves.

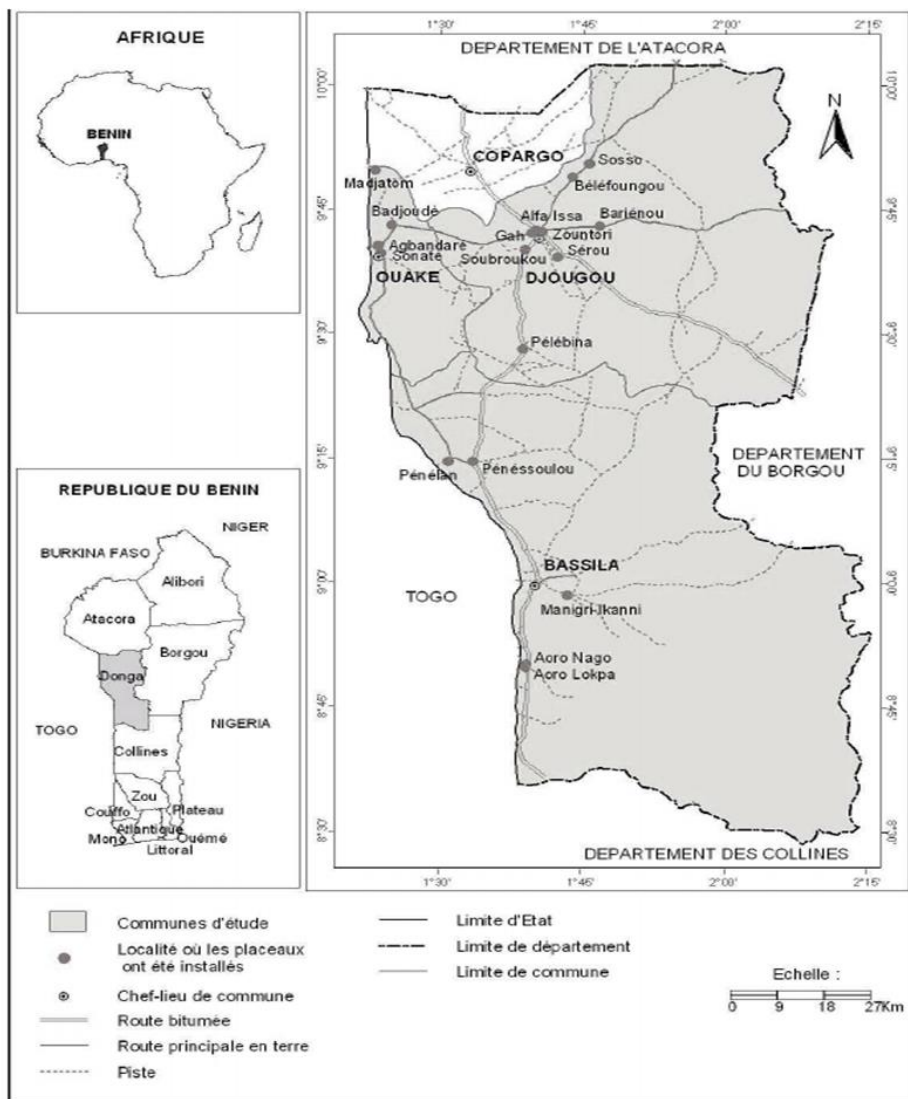


Figure 1 : Carte du département de la Donga (Ganglo, 2013)

La population d'étude était constituée de toutes les femmes décédées en période de grossesse, d'accouchement ou dans les 42 jours suivant la fin de la grossesse, conformément à la définition de l'OMS (2023), dans les formations sanitaires publiques des deux zones sanitaires. Les cas inclus sont ceux ayant été enregistrés dans les rapports hebdomadaires de surveillance épidémiologique ou signalés dans les registres hospitaliers, puis confirmés à travers les formulaires nationaux d'audit des décès maternels. Les critères d'inclusion étaient : décès survenu entre 2020 et 2024, cas répondant à la définition de l'OMS du décès maternel, et dossier médical complet et

exploitable. Aucun cas n'a été exclu pour données manquantes : tous les dossiers examinés étaient complets.

Les cas de décès maternels ont été identifiés via une revue exhaustive des registres des décès hospitaliers, des rapports de surveillance hebdomadaire, des fiches de notification des décès et des fiches d'audit disponibles dans les formations sanitaires. La collecte a été effectuée par des agents enquêteurs formés, sous la supervision des responsables des services de santé des zones concernées.

Les données ont été recueillies à l'aide d'un formulaire de collecte standardisé, élaboré à partir du formulaire national d'audit des décès maternels fourni par le Ministère de la Santé et le Programme National de Santé de la Reproduction (PNSR). Les principales variables étudiées incluaient les caractéristiques sociodémographiques (âge, profession, résidence, statut matrimonial, type de foyer), les caractéristiques cliniques (période de survenue du décès, délai entre admission et décès, circonstances immédiates du décès), ainsi que les causes médicales classées en causes obstétricales directes (hémorragies, éclampsie, rupture utérine, etc.) et indirectes (anémie sévère, infections, drépanocytose, etc.), selon la typologie de l'OMS et les recommandations du rapport Trends in maternal mortality 2000 to 2020.

Les données collectées ont été saisies dans le logiciel EpiData 3.1, puis analysées à l'aide du logiciel Epi Info version 7.2.6.0. Les variables qualitatives ont été exprimées en fréquences et pourcentages, et les variables quantitatives ont été présentées en moyenne avec écart-type. Les ratios de mortalité maternelle (RMM) ont été calculés pour chaque année et chaque zone sanitaire en rapportant le nombre de décès maternels au nombre total de naissances vivantes, multiplié par 100 000.

L'étude a respecté les principes éthiques de confidentialité, d'anonymat et de protection des données personnelles. Elle a reçu une autorisation formelle de l'Unité de Santé Publique de la Faculté des Sciences de la Santé de Cotonou, ainsi que des autorités sanitaires départementales de la Donga (Aguemon, 2025; DDS, 2025). L'exploitation des données s'est faite conformément aux principes de la Déclaration d'Helsinki sur la recherche médicale impliquant des sujets humains.

Résultats

Caractéristiques sociodémographiques des femmes décédées

La moyenne d'âge des femmes décédées était de $28,31 \pm 6,54$ ans avec les extrêmes de 14 et 43 ans. La tranche d'âge la plus fréquente était celle de [20-35[ans, représentant 72,03 % des femmes décédées.

Les ménagères étaient les plus représentées dans cette étude avec 76,92 %. Elles provenaient en majorité d'un milieu rural (74,83 %), elles étaient mariées (93,01 %) et dans un foyer polygame (63,91 %). Le tableau suivant

présente la répartition des femmes décédées selon les données sociodémographiques.

Tableau I : Répartition des femmes décédées selon les caractéristiques sociodémographiques, Donga 2020-2024.

	Effectif	Pourcentage
Âge (en année)		
[14-20[	10	6,99
[20-35[	103	72,03
35 et plus	30	20,98
Profession		
Ménagère	110	76,92
Commerçante/revendeuse	12	8,39
Artisane	16	11,19
Fonctionnaire	2	1,4
Étudiante/Élève	2	1,4
Autre*	1	0,7
Résidence		
Rural	107	74,83
Urbain	36	25,17
Situation matrimoniale		
Mariée	133	93,01
Célibataire	10	6,99
Type de foyer (n=133) **		
Monogame	48	36,09
Polygame	85	63,91

*Agent d'entretien

** Effectif des Mariées

Source : Données issues des audits des décès maternels, Donga 2020–2024.

Épidémiologie des décès maternels enregistrés dans le département de la Donga

Un total de 150 516 naissances vivantes a été enregistré dans le département de la Donga. Sur la même période, 143 décès maternels ont été documentés. Le ratio de mortalité maternelle dans le département de la Donga de 2020 à 2024 était de 95,01 décès pour 100 000 naissances vivantes.

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif des naissances, décès maternels et du ratio de mortalité maternelle (RMM) pour 100.000 naissances vivantes par zone sanitaire et par année.

Tableau II : Répartition du taux de mortalité maternelle dans le département de la Donga en de 2020 à 2024.

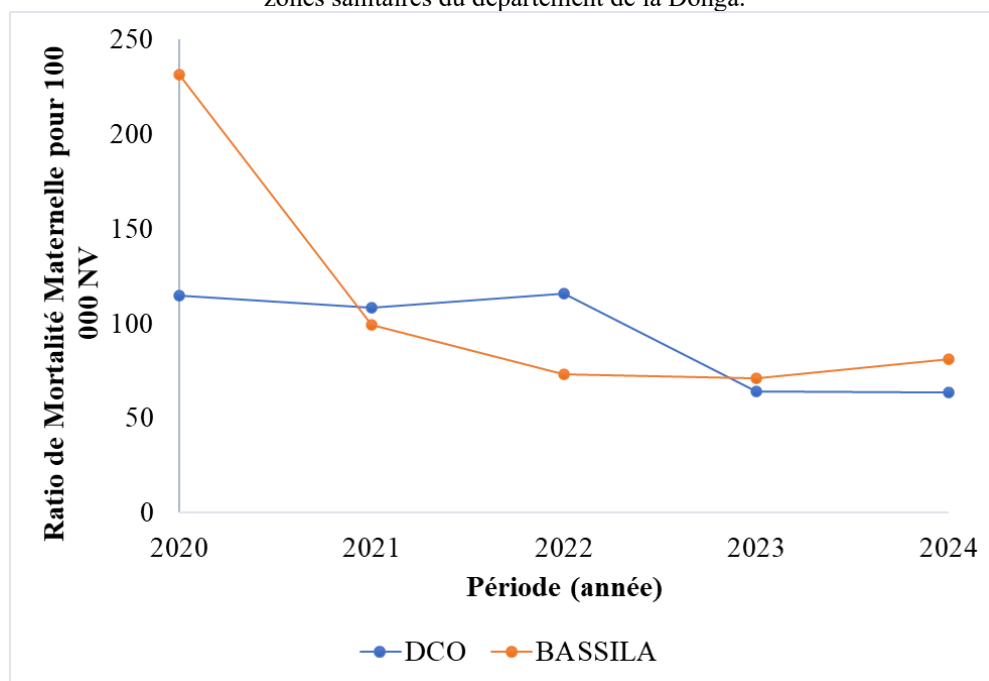
Année	DCO			BASSILA		
	Naissances	Décès	RMM	Naissances	Décès	RMM
2020	20904	24	114,81	5628	13	230,99
2021	22220	24	108,01	6057	6	99,06
2022	24214	28	115,64	6855	5	72,94
2023	25013	16	63,97	7045	5	70,97
2024	25158	16	63,6	7422	6	80,84
Total	117509	108	91,91	33007	35	106,04

Source : Données issues des audits des décès maternels, Donga 2020–2024.

La zone sanitaire DCO affiche un ratio de mortalité maternelle de 91,91 pour 100.000 naissances vivante, contre 106,04 pour la zone sanitaire de Bassila sur l'ensemble de la période étudiée.

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution annuelle du taux de mortalité maternelle dans chaque zone sanitaire.

Figure 2 : Tendence évolutive du ratio de mortalité maternelle entre 2020 à 2024 dans les zones sanitaires du département de la Donga.



Source : Données issues des audits des décès maternels, Donga 2020–2024

Durée de séjour et période de survenue du décès

Parmi les 143 décès enregistrés, 72,73 % sont survenus en moins de 24 heures après l'admission, principalement pendant les suites de couches (67,83 %). Le tableau suivant présente la répartition des cas de décès maternels selon la durée du séjour et la période de survenue du décès.

Tableau III : Répartition des cas de décès maternels selon la durée du séjour et la période de survenue du décès dans le département de la Donga de 2020 à 2024.

	Effectif (n=143)	Pourcentage
Durée de séjour avant décès (heures)		
< 24	104	72,73
[24 à 48[	28	19,58
≥ 48	11	7,69
Période de survenue du décès		
Pendant la grossesse	37	25,87
Pendant le post-abortionum	5	3,50
Pendant l'accouchement	4	2,80
Pendant les suites de couches	97	67,83

Source : Données issues des audits des décès maternels, Donga 2020–2024

Circonstance de décès

Les principales causes de décès étaient le collapsus cardiovasculaire (33,57 %), l'arrêt cardiorespiratoire (25,17 %) et les hémorragies (10,49 %) (Tableau IV).

Tableau IV : Répartition des cas de décès maternels selon les circonstances du décès dans le département de la Donga de 2020 à 2024.

	Effectif (n=143)	Pourcentage
Circonstance de décès		
Collapsus cardiovasculaire	48	33,57
Arrêt cardiorespiratoire	36	25,17
Hémorragies	15	10,49
Anémie	11	7,69
Autres*	33	23,08

* *Dyspnée : 8, Éclampsie : 8, Septicémie : 7, Rupture utérine : 5, Choclat : 3, Grossesse extra-utérine (GEU) : 2.*

Source : Données issues des audits des décès maternels, Donga 2020–2024.

Causes des décès maternels

Au total, 143 décès maternels ayant des causes bien renseignées ont été analysés dans le département de la Donga entre 2020 et 2024. Les causes obstétricales directes représentaient 81,12 % des cas, tandis que les causes obstétricales indirectes en représentaient 18,88 %. Parmi les causes directes, les hémorragies, notamment post-partum, étaient les plus fréquentes (36,21 %), suivies de la prééclampsie/éclampsie (17,24 %) et de la rupture utérine (11,21 %) (Tableau V). Les autres causes incluent la coagulation intravasculaire disséminée (CIVD), les embolies amniotiques, les infections sévères et les grossesses extra-utérines rompues. Concernant les causes

indirectes, l'anémie sévère était prédominante avec 62,96 %, suivie par l'œdème aigu du poumon (OAP), la drépanocytose, l'embolie pulmonaire et la péritonite.

Tableau V : Répartition des cas de décès maternels selon les causes obstétricales directes du décès dans le département de la Donga de 2020 à 2024.

Causes de décès	Effectif (n=116)	Pourcentage
Hémorragie	42	36,21
Prééclampsie / Éclampsie	20	17,24
Rupture utérine	13	11,21
Autres causes*	41	35,34

**Hémorragies : 11, CIVD : 6, Grossesse extra-utérine : 5, Infections : 4, Drépanocytose : 3, Embolie amniotique : 3, Œdème aigu du poumon (OAP) : 3, Septicémie : 3, Syndrome de Mendelson : 2*

Source : Données issues des audits des décès maternels, Donga 2020–2024

Discussion

Ratio de mortalité maternelle

Notre étude a révélé un ratio de mortalité maternelle (RMM) de 95,01 décès pour 100 000 naissances vivantes dans le département de la Donga entre 2020 et 2024. À l'échelle nationale, le Bénin a enregistré des ratios de mortalité maternelle fluctuants au fil des années. En 2014, le RMM était estimé à 347 décès pour 100 000 naissances vivantes (Seidou, 2018). Plus récemment, en 2017–2018, ce ratio était de 397 décès pour 100 000 naissances vivantes (Toffa, 2020). Selon une étude menée par Ouédraogo et al. au Burkina Faso, le RMM était estimé à 453 pour 100 000 naissances vivantes (Ouédraogo et al., 2001). Bien que le RMM dans la Donga soit inférieur aux moyennes nationale et régionale, il reste au-dessus de la cible des Objectifs de Développement Durable (ODD), qui vise moins de 70 décès pour 100 000 naissances vivantes d'ici 2030. Des efforts soutenus sont donc essentiels pour réduire davantage la mortalité maternelle. Cela pourrait inclure le renforcement des soins prénatals, l'amélioration de l'accès aux services obstétricaux d'urgence, la formation continue du personnel soignant, et la sensibilisation des communautés aux signes de danger pendant la grossesse. Le niveau élevé de décès maternels observé dans notre étude s'aligne sur le défi régional plus large lié au sous-investissement dans les systèmes de santé publique. Adegoke et al. ont démontré que, sauf si les dépenses publiques de santé augmentent d'au moins 30 %, la plupart des pays d'Afrique subsaharienne n'atteindront pas la cible des ODD en matière de mortalité maternelle (Adegoke et al., 2025).

Caractéristiques sociodémographiques des femmes décédées

L'analyse des caractéristiques sociodémographiques des femmes décédées dans le département de la Donga révèle que les décès maternels concernent principalement des femmes jeunes, avec un âge moyen de 28,31

ans. La tranche d'âge la plus représentée est celle des 20 à 34 ans, qui concentre 72,03 % des décès. La même tendance a été rapportée par une étude menée par Atade et al. à l'hôpital de zone Saint Jean de Dieu de Tanguéta au Bénin en 2024, soulignant une moyenne d'âge de 25,4 ans (Atade et al., 2024). Aussi une étude réalisée au Nigéria en 2023 par Kahansim et al. a révélé une moyenne d'âge de $27,0 \pm 8,1$ ans (Kahansim et al., 2023).

Les profils sociaux des femmes décédées dans la Donga indiquent une situation de grande précarité. Plus des trois quarts des femmes décédées étaient des femmes au foyer (76,92 %), mariées (93,01 %) et vivaient en milieu rural (74,83 %). Dans l'étude de Atade et al. Nous observons une similarité avec nos résultats avec 72,1% des femmes qui étaient ménagères (Atade et al., 2024). Les femmes rurales sont particulièrement vulnérables aux "trois retards" identifiés dans le modèle de Thaddeus et Maine (1994) : retard dans la décision de consulter, retard dans l'accès à une structure de soins, et retard dans la prise en charge appropriée à l'arrivée (Thaddeus & Maine, 1994).

Délai de survenue des décès après admission

Un constat préoccupant dans notre étude est que 72,73% des décès maternels sont survenus en moins de 24 heures après l'admission. Ce chiffre suggère que la majorité des patientes arrivent dans un état critique nécessitant une prise en charge immédiate. Cette tendance est également observée dans d'autres contextes africains. Par exemple, au centre-nord du Nigéria, Kahansim et al. ont trouvé que la plupart (41,3 %) des décès maternels sont survenus dans les 24 heures suivant l'admission (Kahansim et al., 2023).

Circonstances de décès

La prédominance des décès pendant les suites de couches (67,83 %) indique que le post-partum immédiat est une période particulièrement vulnérable pour les femmes. Cette période est bien connue pour être critique, avec des risques accrus d'hémorragies post-partum, d'infections puerpérales et d'autres complications. Selon l'Organisation mondiale de la santé, les hémorragies graves, principalement après l'accouchement, sont parmi les principales causes de mortalité maternelle (OMS, 2023).

Les collapsus cardiovasculaires (33,57%) et l'arrêt cardiorespiratoire (25,17%), étaient les principales circonstances de décès. Elles indiquent des défaillances circulatoires aiguës, souvent secondaires à des complications obstétricales majeures telles que des hémorragies sévères, des embolies amniotiques ou des chocs septiques. Les hémorragies obstétricales, notamment du post-partum, restent une cause majeure de décès maternels dans cette étude, soit 10,49 % des cas. En Afrique subsaharienne, elles sont responsables d'une proportion significative des décès maternels (Guigma, 2012).

Causes des décès maternels

L'analyse des causes des décès maternels dans le département de la Donga révèle que la majorité des décès (81,12%) sont dus à des causes obstétricales directes. Parmi celles-ci, les hémorragies post-partum, la prééclampsie et/ou l'éclampsie, et la rupture utérine étaient les principales causes de décès, représentant respectivement 36,21%, 17,24% et 11,21% des cas. Ces résultats sont cohérents avec ceux observés par Kahansim et al. En effet, leurs études révèlent qu'environ 72,5% des décès maternels étaient dus à des causes directes : pré-éclampsie/éclampsie (30,0%), septicémie maternelle (17,5%), complications d'un avortement à risque (12,5%), hémorragie obstétricale et rupture utérine 6,3%. Les principales causes de décès maternels indirects étaient la drépanocytose, les maladies cardiaques, le diabète sucré et les maladies du foie pendant la grossesse (Kahansim et al., 2023). De même Atade et al. dans leur cadre d'étude ont trouvés que les causes obstétricales directes des décès étaient dominées par les hémorragies (25,8%), les troubles hypertensifs (22,8%) et les infections puerpérales (21,2%) (Atade et al., 2024).

Conclusion

Cette étude a permis de mettre en lumière les aspects épidémiologiques et les causes des décès maternels dans le département de la Donga, un problème de santé publique majeur au Bénin. La mortalité maternelle dans ce département demeure préoccupante, avec des causes largement évitables. Les décès surviennent principalement chez des femmes jeunes, souvent femmes au foyer, mariées et résidant en milieu rural, mettant en évidence la vulnérabilité socio-économique de cette population.

Il est crucial de renforcer la collaboration entre les autorités sanitaires, les prestataires de soins et les communautés pour une prise en charge rapide des complications. La réduction durable de la mortalité maternelle nécessite à la fois des actions immédiates et des stratégies à long terme.

Conflits d'intérêts : Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

Disponibilité des données : Les données de cette étude ne sont pas disponibles dans un référentiel en ligne. Les données ont été collectées par des agents enquêteurs formés à cet effet.

Déclaration de financement : Les ressources utilisées dans cette étude ont été mobilisées sur fonds propres ; aucun financement n'a été reçu de sociétés ou d'organisations quelconques.

Déclaration relative aux participants humains

Cette étude a été approuvée par l'unité de santé publique de la Faculté des Sciences de la Santé de Cotonou. Des autorisations de collecte ont été obtenues de ladite unité et des autorités sanitaires du département de la Donga. L'anonymat et la confidentialité des données recueillies ont été conformes aux principes éthiques applicables aux recherches médicales sur les sujets humains contenus dans la Déclaration de l'Association Médicale Mondiale d'Helsinki.

References:

1. Adegoke, Y., Mbonigaba, J., & George, G. (2025). Sustainable development goals (SDGs), public health expenditures, and maternal and child mortality in selected African countries: Forecasting modelling. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(4), 482. <https://doi.org/10.3390/ijerph22040482>
2. Aguemon, B. (2025, février 12). *Autorisation de recherche*.
3. Atade, S. R., Hounkponou, A. F. M. N., Obossou, A. A. A., & Gabkika, B. M. (2024). Facteurs associés aux décès maternels à l'Hôpital de zone Saint Jean de Dieu de Tanguiéta de 2015 à 2019. *European Scientific Journal*, 17(29), 93. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n29p93>
4. DDS, B. (2025, février 12). *Autorisation de recherche*.
5. Ganglo, J. C. (2013). Figure 1 : Carte du département de la Donga situant les localités où les... *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/figure/Carte-du-departement-de-la-Donga-situant-les-localites-ou-les-placeaux-ont-ete-installes_fig1_262967513
6. Guigma, M. G. (2012). *Situation de la santé maternelle et infantile* (p. 22).
7. Healthy Newborn Network. (2023, février). *Mortalité maternelle Bénin 2000–2020*. <https://healthynewbornnetwork.org/fr/resource/2023/maternal-mortality-benin-2000-2020/>
8. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Démographique. (2018). *Cinquième enquête démographique et de santé* (p. 74).
9. Kahansim, M. L., Da'ap, P., Nyango, D. D., Anyaka, C. U., Egbodo, C. O., & Mutihir, J. T. (2023). Causes and trends in maternal mortality in a tertiary health facility in North Central Nigeria. *International Journal of Reproduction, Contraception, Obstetrics and Gynecology*, 12(7), 1980–1985. <https://doi.org/10.18203/2320-1770.ijrcog20231907>
10. Organisation mondiale de la Santé. (2023a). *Réduire la mortalité maternelle et infantile*. Malteser International. <https://www.malteser->

international.org/fr/qui-sommes-nous/champs-daction/sante/mortalite-maternelle.html

11. Organisation mondiale de la Santé. (2023b, février 22). *Mortalité maternelle*. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/maternal-mortality>
12. Organisation mondiale de la Santé. (2025, avril). *Mortalité maternelle*. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/maternal-mortality>
13. Organization, W. H., UNICEF, UNFPA, World Bank Group, & UNDESA/Population Division. (2023). *Trends in maternal mortality 2000 to 2020: Estimates by WHO, UNICEF, UNFPA, World Bank Group and UNDESA/Population Division*. World Health Organization. <https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=6WnWEAAQBAJ>
14. Ouédraogo, C., Ouattara, T., Akotonga, M., Thiéba, B., Lankoandé, J., & Koné, B. (2001). La mortalité maternelle au Burkina Faso : Évolution et stratégie nationale de lutte. *Médecine d'Afrique Noire*, 41(11), 452–456.
15. Seidou, A. (2018, mars). *Plan opérationnel de réduction de la mortalité maternelle et néonatale au Bénin PO-RMMN 2018–2022*. Direction de la Santé de la Mère et de l'Enfant.
16. Thaddeus, S., & Maine, D. (1994). Too far to walk: Maternal mortality in context. *Social Science & Medicine*, 38(8), 1091–1110. [https://doi.org/10.1016/0277-9536\(94\)90226-7](https://doi.org/10.1016/0277-9536(94)90226-7)
17. Toffa, A. (2020). *Accélérer la réduction de la mortalité maternelle au Bénin*. Management Sciences for Health. <https://msh.org/resources/accelerer-la-reduction-de-la-mortalite-maternelle-au-benin/>
18. UNFPA. (2016). *Évaluation rapide des besoins en soins obstétricaux et néonataux d'urgence (SONU) au Bénin en 2016* (p. 159). Direction de la Santé de la Mère et de l'Enfant.

Aspects diagnostiques et thérapeutiques de la fistule de l'ouraque dans un hôpital rural peu équipé : à propos de 7 cas

Biréga Koutora

Service de Chirurgie, Hôpital de l'Ordre de Malte d'Elavagnon, Togo

Mibirim Agbogawo

Amouki Serge Trésor Anate

Clinique Médico-Chirurgicale (Pavillon Militaire),

CHU Sylvanus Olympio-Lomé, Togo

Kamou Okassate Sibabi-Akpo

Service de Chirurgie Pédiatrique, CHU Sylvanus Olympio-Lomé, Togo

Kodjo Tengue

Service d'Urologie, CHU Sylvanus Olympio-Lomé, Togo

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p121](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p121)

Submitted: 16 February 2023

Accepted: 07 July 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Koutora, B., Agbogawo, M., Anate, A.S.T., Sibabi-Akpo, K.O. & Tengue, K. (2025). *Aspects diagnostiques et thérapeutiques de la fistule de l'ouraque dans un hôpital rural peu équipé : à propos de 7 cas*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 121.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p121>

Résumé

Introduction : Le but de cette étude était de décrire la démarche diagnostique et thérapeutique de la fistule de l'ouraque en milieu peu équipé.

Patients et méthode : Il s'est agi d'une étude transversale observationnelle menée à l'Hôpital de l'Ordre de Malte d'Elavagnon, de Novembre 2019 à Octobre 2021 (24 mois), incluant les patients pris en charge dans le service de chirurgie dudit hôpital pour fistule de l'ouraque. Le diagnostic était de présomption clinique. La confirmation diagnostique était per-opératoire.

Résultats : Sept cas, tous de sexe masculin ont été enregistrés. L'âge moyen des patients étaient de 7 ans (extrêmes : 4 ans et 11 ans). L'écoulement intermittent d'urines par l'ombilic était le principal signe fonctionnel (5cas / 71,4%). Les autres signes fonctionnels étaient la tuméfaction ombilicale (2cas / 28,6%) et l'ombilic humide (2cas / 28,6%). La manœuvre de recherche d'écoulement d'urines par l'ombilic était positive dans tous les cas. Le traitement était chirurgical. Il avait consisté en la résection du trajet fistuleux

emportant une collerette vésicale. Une sonde vésicale était mise en place par voie urétrale pour cinq à six jours post-opératoires. Les suites opératoires étaient simples chez tous les patients. **Conclusion :** La fistule de l'ouraue est une affection non exceptionnelle. Son diagnostic en milieu rural est clinique. Le traitement est chirurgical et le pronostic est bon.

Mots-clés: Fistule, Ouraque, Zone rurale, Togo

Diagnostic and Therapeutic Aspects of Urachus Fistula in a Rural Hospital with Limited Technical Facilities: Report of 7 Cases

Biréga Koutora

Service de Chirurgie, Hôpital de l'Ordre de Malte d'Elavagnon, Togo

Mibirim Agbogawo

Amouki Serge Trésor Anate

Clinique Médico-Chirurgicale (Pavillon Militaire),

CHU Sylvanus Olympio-Lomé, Togo

Kamou Okassate Sibabi-Akpo

Service de Chirurgie Pédiatrique, CHU Sylvanus Olympio-Lomé, Togo

Kodjo Tengue

Service d'Urologie, CHU Sylvanus Olympio-Lomé, Togo

Abstract

Introduction: This study aims to describe the diagnostic and therapeutic approach of urachus fistula in a poorly equipped environment. **Patients and method:** It was an observational cross-sectional study conducted at Malte Order Hospital of Elavagnon, from November 2019 to October 2021 (24 months), including patients managed in the surgical department of this hospital for urachus fistula. The diagnosis was clinically presumptive. Diagnostic confirmation was intraoperative. **Results:** Seven cases, all males, were registered. The mean age of the patients was 7 years (extremes: 4 years and 11 years). Intermittent discharge of urine from the umbilicus was the main symptom (5 cases / 71.4%). Other symptoms were umbilical swelling (2 cases / 28.6%) and wet umbilicus (2 cases / 28.6%). The research on urine flow through the umbilicus was positive in all cases. The treatment was surgical and consisted of resection of the fistulous pathway with the removal of a bladder flange. A bladder catheter was inserted through the urethra for five to six days after surgery. The postoperative course was simple in all cases. **Conclusion:** Urachus fistula is not an exceptional condition. Its

diagnosis in rural areas is clinical. The treatment is surgical and the prognosis is good.

Keywords: Fistula, Urachus, Rural area, Togo

Introduction

L'ouraque est un vestige embryonnaire de l'allantoïde qui se présente à la naissance sous forme d'un cordon fibreux oblitéré reliant le dôme vésical à l'ombilic. Son défaut total ou partiel d'oblitération est à l'origine de pathologies ouraquiennes que sont la fistule, le kyste, le sinus et le diverticule de l'ouraque (Ndour, 2013 ; Renard, 2008 ; Blichert-Toft, 1971). Ces pathologies sont rares mais de prévalence sous-estimée en raison de nombreuses formes asymptomatiques. Le diagnostic des pathologies de l'ouraque est établi dans 60% des cas chez l'enfant ou l'adolescent. Les circonstances de découverte sont variables. Le diagnostic peut être posé en anténatal au cours d'une échographie, ou à la naissance devant l'écoulement d'urines par l'ombilic ou devant une masse ombilicale ou hypogastrique (Ndour, 2013 ; Renard, 2008). Le scanner abdomino-pelvien et l'urétrocystographie rétrograde sont des examens clés pouvant permettre non seulement de faire le diagnostic des pathologies ouraquiennes, mais aussi de rechercher d'autres malformations associées (Renard, 2008 ; Hubert, 2003 ; Cilento Jr, 1998). Cependant, ces examens sont difficilement accessibles en contexte africain et surtout en zone rurale. La suspicion clinique de la fistule de l'ouraque est basée sur l'écoulement d'urines par l'ombilic. Les croyances des populations en milieu rural attribuent l'écoulement d'urines par l'ombilic aux résultats d'esprits maléfiques du fait de la méconnaissance de la pathologie ouraquienne. Ainsi, les patients souffrant de ces affections sont d'abord pris en charge chez les charlatans et tradipraticiens. La consultation à l'hôpital se fait souvent après échec du traitement traditionnel. Il a été jugé opportun de faire cette étude dont les objectifs étaient de décrire les particularités diagnostiques et thérapeutiques de la fistule de l'ouraque à l'Hôpital de l'Ordre de Malte d'Elavagnon (HOM-Elavagnon), un hôpital confessionnel basé en zone rurale au Togo.

Patients et méthode

Il s'est agi d'une étude transversale observationnelle descriptive menée à l'HOM-Elavagnon de Novembre 2019 à Octobre 2021 (24 mois). Etaient inclus dans l'étude, les patients pris en charge dans le service de chirurgie dudit hôpital pour fistule de l'ouraque. Le diagnostic était de présomption clinique et était basé sur la présence d'un écoulement d'urines par l'ombilic, associée ou non à une tuméfaction ombilicale. La recherche à l'examen clinique de l'écoulement d'urines par l'ombilic consistait à placer une sonde

vésicale par voie urétrale puis à clamper cette sonde au niveau de sa partie externe pour empêcher le drainage d'urines ; et le patient était mis en surveillance. Lorsque le patient avait envie d'uriner, une pression manuelle était exercée sur la région sus-pubienne, ce qui entraînait un écoulement d'urines par l'ombilic. La manœuvre était alors dite positive et permettait de suspecter cliniquement une fistule de l'ouraue. La confirmation diagnostique était per-opératoire. Aucun examen d'imagerie médicale n'était réalisé en raison de l'insuffisance du plateau technique local. Les patients étaient opérés en chirurgie programmée après la réalisation d'un bilan pré-opératoire comportant : l'hémogramme, le groupe sanguin-facteur Rhésus, l'urémie, la créatininémie, la glycémie et la sérologie rétrovirale. Le traitement chirurgical était fait sous anesthésie générale. L'abord chirurgical débutait par une incision péri-ombilicale gauche qui était prolongée au besoin en médiane sous-ombilicale. Le geste thérapeutique consistait en une exérèse complète du trajet fistuleux emportant une collerette vésicale. Une sonde vésicale était mise en place par voie urétrale pour cinq à six jours postopératoires.

Les paramètres étudiés étaient les paramètres socio-démographiques (nombre de cas, âge, sexe, profession), les aspects cliniques, les aspects thérapeutiques et l'évolution. Le traitement des données a été fait à partir du tableur Excel 2019. Les images ont été traitées sur le logiciel Paint.

Résultats

Paramètres socio-démographiques

Sept cas ont été enregistrés. L'âge moyen des patients étaient de 7 ans (extrêmes : 4 ans et 11 ans ; écart-type : 2,8 ans). Les patients étaient tous de sexe masculin. Il y avait 2 écoliers et 5 enfants non scolarisés.

Aspects cliniques

Le signe fonctionnel le plus fréquent était l'écoulement intermittent d'urines par l'ombilic (5cas / 71,4%). Les autres symptômes étaient la tuméfaction ombilicale (2cas / 28,6%), et l'ombilic humide (2cas / 28,6%). Les symptômes évoluaient depuis la naissance chez tous les patients. Tous les patients suivaient un traitement traditionnel avant leur admission à l'hôpital. A l'examen clinique, l'état général était conservé dans tous les cas. Les signes physiques étaient : la tuméfaction ombilicale (2cas / 28,6%), l'érythème péri-ombilical (2cas / 28,6%), des scarifications de la région ombilicale (7cas / 100%). La manœuvre de recherche d'écoulement d'urines par l'ombilic était positive dans tous les cas. Cet écoulement était sous forme de suintement dans 2 cas et franc sous forme de jet dans 5 cas. La figure 1 est une image illustrative de signes physiques retrouvés chez un patient de cette étude.

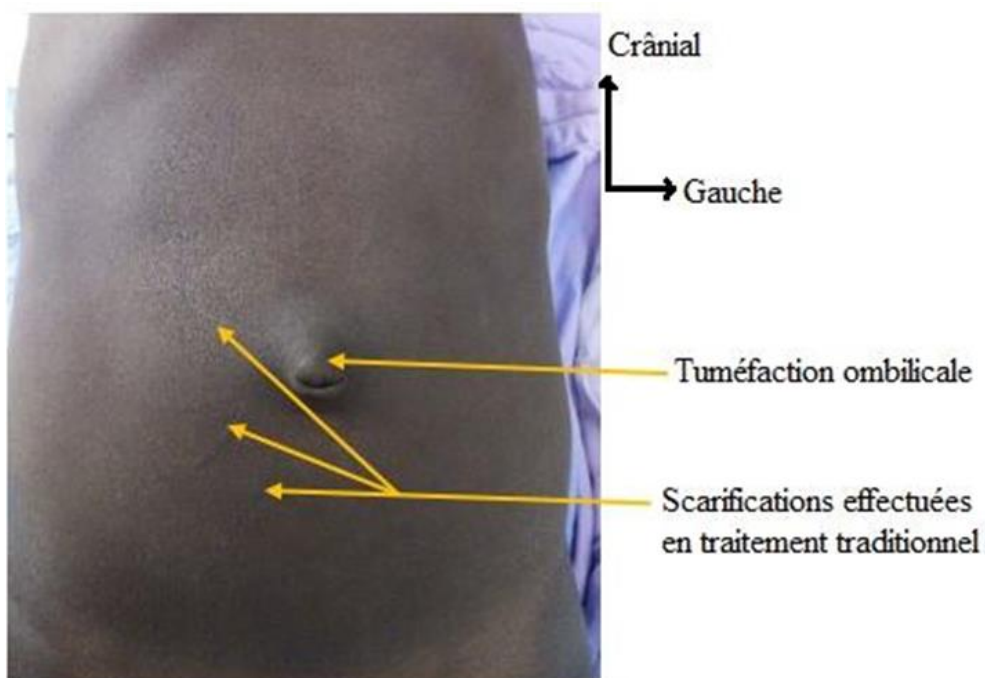


Figure 1 : Image montrant une tuméfaction ombilicale et des scarifications chez un patient de 8 ans pris en charge dans cette étude

Aspects thérapeutiques

Au bilan pré-opératoire, il y avait une anémie modérée dans 3 cas. Aucune anomalie biologique n'était relevée dans le bilan effectué dans les autres cas. Le traitement chirurgical avait consisté en une fistulectomie emportant une collerette vésicale dans tous les cas. Les figures 2 et 3 en sont quelques images illustratives. Le traitement médical comportait la prise en charge de la douleur à base de l'association Paracétamol – Ibuprofène dans 5 cas et de Paracétamol seul dans 2 cas ; et une couverture antibiotique à base d'Amoxicilline-acide clavulanique dans tous les cas. Les autres mesures médicales étaient la correction de l'anémie modérée par du Fer-acide folique dans 3 cas. L'ablation de la sonde vésicale était faite aux cinquième et sixième jours post-opératoires respectivement dans 2 cas et 5 cas.

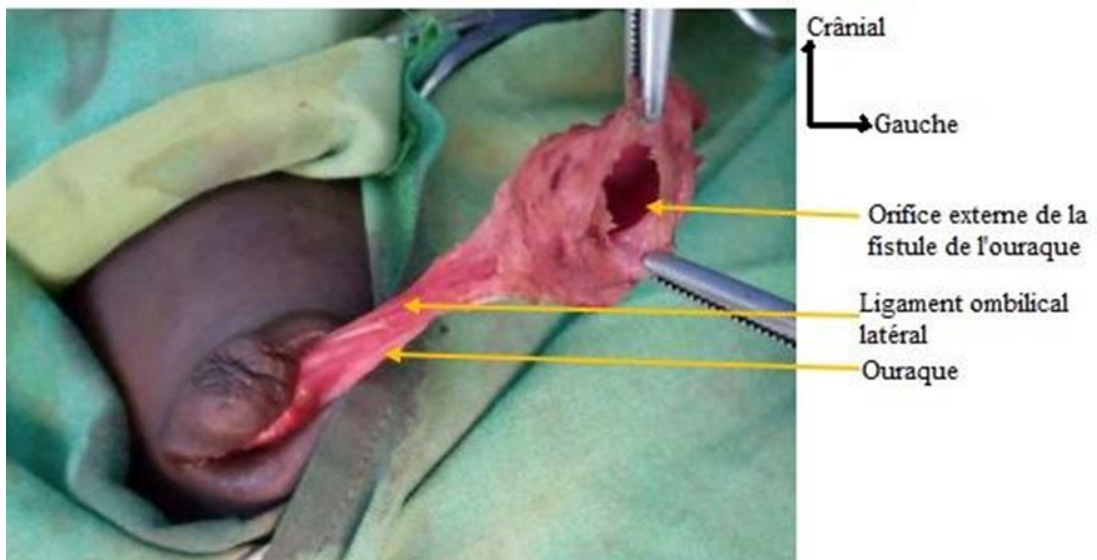


Figure 2 : Vue per-opératoire d'une fistule de l'ouraque chez un patient de cette étude

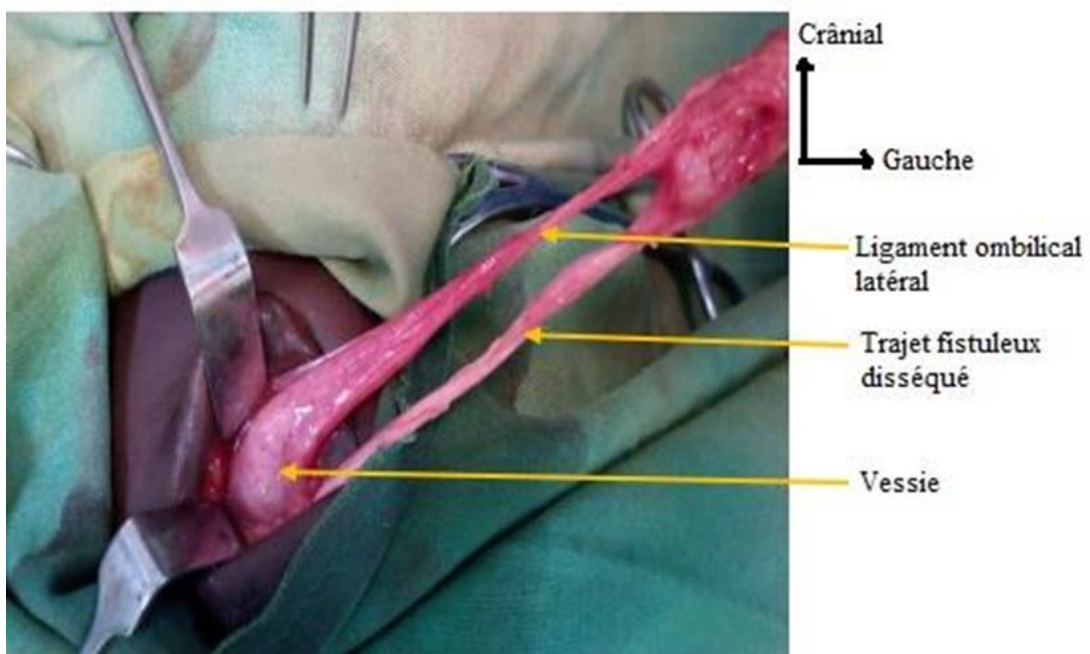


Figure 3 : Vue per-opératoire montrant la dissection jusqu'à la vessie chez un patient de cette étude

Aspects évolutifs

Les suites opératoires étaient simples dans tous les cas. La morbidité et la mortalité post-opératoires étaient nulles. La durée moyenne d'hospitalisation était de 7,4 jours (extrêmes : 6 jours et 8 jours ; écart-type : 0,8jour). L'évolution était favorable dans tous les cas après un recul moyen de suivi de 17,3 mois. Le tableau I est un récapitulatif des cas cliniques:

Tableau I : récapitulatif des cas de fistule de l'ouraue à l'HOM-Elavagnon de Novembre 2019 à Octobre 2021

N°	Age	Motifs de consultation	Données de l'examen clinique
1	7 ans	Ecoulement intermittent d'urines par l'ombilic associé à une tuméfaction ombilicale intermittente	-Tuméfaction ombilicale -Scarifications -Manœuvre de recherche d'écoulement d'urines par l'ombilic positive
2	4 ans	Ombilic humide	-Erythème péri-ombilical -Scarifications -Manœuvre de recherche d'écoulement d'urines par l'ombilic positive
3	11 ans	Ecoulement intermittent d'urines par l'ombilic	-Scarifications -Manœuvre de recherche d'écoulement d'urines par l'ombilic positive
4	5 ans	Ombilic humide et tuméfaction ombilicale intermittente	-Tuméfaction ombilicale -Erythème péri-ombilical -Scarifications -Manœuvre de recherche d'écoulement d'urines par l'ombilic positive
5	8 ans	Ecoulement intermittent d'urines par l'ombilic	-Scarifications -Manœuvre de recherche d'écoulement d'urines par l'ombilic positive
6	10 ans	Ecoulement intermittent d'urines par l'ombilic	-Scarifications -Manœuvre de recherche d'écoulement d'urines par l'ombilic positive
7	4 ans	Ecoulement intermittent d'urines par l'ombilic	-Scarifications -Manœuvre de recherche d'écoulement d'urines par l'ombilic positive

Discussion

La fistule de l'ouraue résulte d'un défaut total d'oblitération du canal allantoïdien au 5^{ème} mois de gestation, ce qui réalise une communication totale entre la vessie et l'ombilic. Elle est la plus fréquente des pathologies de l'ouraue et représente près de 48% de ces pathologies (Ndour, 2013 ; Descazeaud, 2007). Les pathologies ouraquiennes sont réputées rares. Elles sont cependant en pratique sous-estimées en raison de l'existence de nombreuses formes asymptomatiques pour lesquelles aucune consultation n'est faite (Cisse, 2021 ; Renard, 2008). Dans cette étude, 7cas ont été enregistrés en 2 ans. Ces cas étaient tous suivis en médecine traditionnelle. La prise en charge réussie de 2 cas enchaînés à l'hôpital avait motivé les familles

des patients à se défaire du caractère mystique de cette affection. Ce qui avait contribué à relayer auprès de la population qu'il est possible de guérir de cette pathologie. En effet, en milieu rural, les croyances attribuent toute maladie aux résultats de sorcellerie, et cela doit d'abord se gérer chez le charlatan et le tradipraticien. Cette situation est facilitée et entretenue par la précarité de la population et les difficultés d'accès aux soins de santé conventionnels.

Le principal motif de consultation était l'écoulement d'urines par l'ombilic. Il en a été de même dans d'autres études. Ce signe s'explique par la communication entre la vessie et l'ombilic à travers le canal que réalise la fistule. Il constitue souvent la circonstance de découverte de la fistule ouraquienne qu'il est plus aisé de suspecter que les autres pathologies de l'ouraque qui se révèlent souvent par des complications infectieuses ou douloureuses (Hodonou, 2016 ; Millet, 2016 ; Tazi, 2012 ; Renard, 2008 ; Valla, 1981). Le diagnostic de la fistule de l'ouraque dans cette série était de présomption clinique et la confirmation était per-opératoire. A l'examen clinique, des scarifications en région péri-ombilicale avaient été notées chez tous les patients. Ces scarifications ne sont en réalité pas un signe physique de la fistule de l'ouraque, mais le résultat du traitement effectué en médecine traditionnelle. Ainsi la présence de scarifications en péri-ombilical chez un patient devrait appeler l'attention du personnel de santé afin qu'il oriente son interrogatoire à la recherche de pathologies ouraquiennes. Aucun examen d'imagerie médicale, en particulier aucune urétrocystographie ni tomodensitométrie n'était réalisé du fait de l'insuffisance du plateau technique local. Ces examens sont pourtant nécessaires car ils permettent de faire le diagnostic des pathologies de l'ouraque et de rechercher d'autres malformations associées (Cisse, 2021 ; Hubert, 2003 ; Cilento Jr, 1998 ; Valla, 1981). Le système de prise en charge dans les hôpitaux publics de référence du pays est basé sur le paiement à l'acte avant service. Ce qui constitue un frein pour les patients en situation de précarité de consulter dans ces centres. La prise en charge à l'HOM-Elavagnon qui est un centre confessionnel est facilitée par le système de paiement différé, et il y est donc possible de prendre en charge le patient en différant le recouvrement des frais qui peut se faire par tranches selon les capacités du patient. Les populations en milieu rural étant en situation précaire et en l'absence d'assurance santé universelle, il est difficile de référer des patients vers les hôpitaux publics de référence lorsque l'on veut affiner le diagnostic pour une meilleure prise en charge thérapeutique. Ce qui oblige à adapter la démarche de prise en charge aux réalités locales afin de trouver une solution aux patients.

Le traitement de la fistule de l'ouraque est chirurgical et consiste à réséquer l'ouraque en emportant les ligaments ombilicaux latéraux à son extrémité supérieure et une collerette vésicale à son extrémité inférieure (Zakou, 2018 ; Renard, 2008). Le risque majeur des pathologies de l'ouraque

est la dégénérescence carcinomateuse dans sa portion intramurale vésicale (Renard, 2008). La voie d'abord chirurgicale est habituellement une laparotomie médiane sous-ombilicale ou transversale ou une chirurgie laparoscopique (Cisse, 2021 ; Zakou, 2018 ; Ndour, 2013 ; Renard, 2008). Dans cette étude, l'abord débutait en péri-ombilical gauche afin de s'assurer du diagnostic vu qu'aucun examen d'imagerie médicale n'était réalisé, et pour ne pas créer une grande cicatrice au patient.

Conclusion

La fistule de l'ouraue est une affection rare mais non exceptionnelle. Elle doit être suspectée devant la notion d'écoulement d'urines par l'ombilic. La démarche diagnostique en milieu rural est limitée par l'insuffisance du plateau technique. Le traitement est chirurgical avec de bons résultats.

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 de Lomé, et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. Blichert-Toft M. & Nielson O.V. (1971). Diseases of the urachus simulating intraabdominal disorders. Am J Surg ; 122:123-8.
2. Cilento Jr B.G., Bauer S.B., Retik A.B., Peters C.A. & Atala A. (1998). Urachal anomalies: defining the best diagnostic modality. Urol ; 52:120-2
3. Cisse D., Berthe H.J.G., Diarra A., Coulibaly M., Diallo M.S., Kassogue A. & al. (2021) Fistule Ouraquienne Et Valves De L'urètre Postérieur A Propos D'un Cas A L'hôpital Somine Dolo De Mopti (Mali). J Afr d'Urol ; 27:44-8
4. Descazeaud A. (2007). Pathologie de l'ouraue. Ann Urol ; 41:209-15
5. Hodonou M.A., Allodé S.A., Tamou S.B., Ossé M., Moumouni A., Mensah E., & al. (2016). Kyste De L'ouraue Infecté : A Propos De Trois Cas Cliniques Au CHU De Parakou Au Benin. Eur Sci J ; 12(3):134-40

6. Hubert J. & Descotes J.L. (2003). L'urologie par ses images. *Prog en Urol* ; 13:947-69
7. Millet A. & Latteux G. (2016). Abscès de l'ouraque. *Ann Fr Med Urgence* ; 6:210-1
8. Ndour O., Mukulu H.K., Ndoeye N.A., Mbaye P.A., Faye Fall A., Ngom G., & al. (2013). La pathologie malformative de l'ouraque: A propos de 12 cas colligés au service de Chirurgie Pédiatrique du CHU Aristide Le Dantec de Dakar, Sénégal. *Afr J of Urol* ; 19 :113-8
9. Renard O., Robert G., Guillot P., Pasticier G., Roche J.B., Bernhard J.C., & al. (2008). Pathologies bénignes de l'ouraque chez l'adulte : origine embryologique, présentation clinique et traitements. *Prog en Urol* ; 18:634-41
10. Tazi F., Ahsaini M., Khalouk A., Mellas S., Stuurman-Wieringa R.E., Elfassi M.J., & al. (2012). Abscess of urachal remnants presenting with acute abdomen: a case series. *J of Med Case Reports* ; 6 : 226
11. Valla J.S. & Mollard P. (1981). Pathologies de l'ouraque chez l'enfant. *Chir Pediatr* ; 22:17-23
12. Zakou A.R.H., Fall B., Ndiath A., Sine B., Sarr A., Thiam A., & al. (2018). A propos d'un cas de fistule de l'ouraque observé à l'Hôpital Aristide Le Dantec de Dakar. *Uro'Andro* ; 1(9):424-7.

État des connaissances sur *Borassus aethiopum* Mart. en Afrique de l'Ouest : revue bibliométrique

Zaneidou Habou Housseini

Douma Soumana

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,
Département de Biologie, Laboratoire Garba Mounkaila et Laboratoire de
Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel, Niamey, Niger

Soumana Idrissa

Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), Niger

Alio Sanda Abdelkader

Inoussa Maman Maarouhi

Ali Mahamane

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,
Département de Biologie, Laboratoire Garba Mounkaila et Laboratoire de
Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel, Niamey, Niger

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p131](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p131)

Submitted: 21 November 2024

Accepted: 13 July 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Zaneidou, H.H., Soumana, D., Idrissa, S., Abdelkader, A. S., Maarouhi, I.M. & Mahamane, A. (2025). État des connaissances sur *Borassus aethiopum* Mart. en Afrique de l'Ouest : revue bibliométrique. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 131.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p131>

Résumé

La présente revue bibliométrique avait pour objectif d'analyser la production scientifique sur *Borassus aethiopum*, en mettant en lumière les acteurs majeurs et les tendances thématiques. Dans cette étude, la base de données The Lens a été utilisée pour télécharger le fichier contenant les publications relatives à cette espèce en Afrique de l'Ouest, couvrant la période de 2006 à 2025. Le logiciel VOSviewer a été employé pour l'analyse des métadonnées et la représentation graphique des réseaux de coopération entre les co-auteurs, les pays, et les institutions de recherche, ainsi que pour l'analyse de la co-occurrence des mots-clés. La recherche a permis d'identifier 1 484 études, révélant une dominance de l'Inde, du Nigeria et du Bénin en matière de publications. L'Université d'Abomey-Calavi, l'Université Nangui

Abrogoua et l'Université Joseph Ki-Zerbo sont les leaders en nombre de publications. Les chercheurs les plus prolifiques sont Achille Ephrem Assogbadjo, Aristide Cossi Adomou et Kolawole Valère Salako. L'analyse des co-occurrences de mots-clés indique une diversification des approches disciplinaires, avec une prédominance des domaines tels que la biochimie, la pharmacologie, l'écologie et l'ethnobotanique. Les résultats de cette revue mettent en évidence les acteurs clés de la recherche sur cette espèce et permettront d'orienter de futures recherches.

Mots-clés: *Borassus aethiopum*, Afrique de l'Ouest, foresterie, revue bibliométrique, état des connaissances, VOSviewer

State of Knowledge on *Borassus aethiopum* Mart. in West Africa: A Bibliometric Review

Zaneidou Habou Housseini

Douma Soumana

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,
Département de Biologie, Laboratoire Garba Mounkaila et Laboratoire de
Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel, Niamey, Niger

Soumana Idrissa

Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), Niger

Alio Sanda Abdelkader

Inoussa Maman Maarouhi

Ali Mahamane

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques,
Département de Biologie, Laboratoire Garba Mounkaila et Laboratoire de
Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel, Niamey, Niger

Abstract

This bibliometric review aimed to analyze scientific production on *Borassus aethiopum*, highlighting major contributors and thematic trends. In this study, the Lens database was used to download records of publications concerning the species in West Africa, covering the period from 2006 to 2025. The VOSviewer software was applied to analyze metadata and to generate visual representations of collaboration networks among co-authors, countries, and research institutions, as well as keyword co-occurrence analysis. The study identified 1,484 publications, revealing a publication dominance from India, Nigeria, and Benin. Leading institutions in terms of publication volume include the University of Abomey-Calavi, Nangui Abrogoua University, and Joseph Ki-Zerbo University. The most prolific researchers were Achille

Ephrem Assogbadjo, Aristide Cossi Adomou, and Kolawole Valère Salako. Keyword co-occurrence analysis demonstrated a diversification of disciplinary approaches, with predominant fields including biochemistry, pharmacology, ecology, and ethnobotany. The results of this review shed light on the key actors in research on this species and will help guide future research directions.

Keywords: *Borassus aethiopum*, West Africa, forestry, bibliometric review, state of knowledge, VOSviewer

Introduction

En raison de leur qualité nutritionnelle les produits forestiers sont devenus indispensables en milieu rural, en particulier durant les périodes de disette (Tahirou *et al.*, 2016). Selon Bouda (2005) les multiples avantages qu'offre le *Borassus aethiopum* justifient le surnom de « mère nourricière » qui lui a été conféré. La forte demande de ses produits sur les marchés locaux et nationaux additionnée à la paupérisation des populations rurales sont entre autres les facteurs qui expliquent l'engouement pour cette espèce (Ohin *et al.*, 2018). Le palmier rônier pousse dans la plupart des États d'Afrique de l'Ouest (FAO, 1988) et partout dans ces régions une régression des peuplements a été notée (Cassou, 1996). De plus, les politiques de gestion durable peinent à intégrer cette ressource dans les stratégies nationales de conservation et de développement rural.

La régression de cette espèce est le résultat d'une surexploitation immodérée (Issiaka, 2018). Tout comme la pression anthropique, le changement climatique a contribué significativement à la dégradation des ressources forestières y compris *B. aethiopum*. De ce fait, la conjugaison de ces deux facteurs a pour principale conséquence la perte d'habitat et la réduction de la productivité végétale (Sambou, 2004 ; Thione et Sambou, 2004 ; Salako *et al.*, 2018a). D'après Teague *et al.*, (2004), les effets d'une sécheresse climatique sont particulièrement préjudiciables quand les écosystèmes font face à des menaces anthropiques. Selon Kabore *et al.*, (2019), les populations rurales étant fortement dépendantes des ressources naturelles sont très affectées par les changements climatiques. Certes, les ménages ont évoqué le faible rendement de leurs cultures, la dégradation de leurs terres et la diminution des ligneux.

Dans un contexte de changement climatique, de pression anthropique et de perte de biodiversité il devient nécessaire de mieux comprendre les dimensions biologiques, socio-économiques et culturelles liées à cette espèce afin d'en garantir une gestion durable. Cette revue se propose d'explorer l'état actuel des connaissances sur le rônier en Afrique de l'Ouest à l'aide d'une analyse bibliométrique. L'analyse bibliométrique s'appuie sur des techniques

quantitatives et des outils statistiques permettant d'analyser la dynamique de coopération entre auteurs ainsi que la visibilité de leur publication, elle fournit une synthèse globale de la littérature scientifique et permet de définir les articles, les auteurs, les revues, les institutions et les pays les plus pertinents dans un domaine de recherche (Tarazi, 2024). Cette étude vise à examiner la dynamique de croissance des publications sur *B. aethiopum* ; identifier les pays, institutions, auteurs et les revues les plus prolifiques dans les recherches portant sur *B. aethiopum* ; analyser les réseaux de collaboration entre pays, universités et chercheurs ; recenser les publications les plus citées ; analyser les co-occurrences des mots-clés afin de dégager les thématiques dominantes dans les travaux scientifiques consacrés à *B. aethiopum*.

Cette étude s'articule autour des questions suivantes :

- 1) Quelle est la dynamique de croissance des publications scientifiques portant sur *Borassus aethiopum* ?
- 2) Quels sont les pays, institutions, auteurs et revues les plus prolifiques dans les recherches consacrées à *Borassus aethiopum* ?
- 3) Quelle est la dynamique de collaboration entre pays, universités et chercheurs dans ce domaine ?
- 4) Quelles sont les publications les plus citées dans les travaux sur *Borassus aethiopum* ?
- 5) Quelles sont les thématiques dominantes émergent de l'analyse des co-occurrences des mots-clés dans les publications scientifiques sur *Borassus aethiopum* ?

Méthodologie

Les données bibliographiques ont été extraites de la plateforme The Lens (<https://www.lens.org>), qui est une base de données regroupant des publications académiques et des brevets provenant de PubMed, CrossRef et Microsoft Academic Graph (Tarazi, 2024). La recherche a été réalisée en juin 2025 à l'aide des mots-clés "Borassus aethiopum" et "West Africa". Aucune restriction de langue n'a été prise en compte. La période couverte par la recherche s'étend de 2006 à 2025. Les types de documents sélectionnés incluaient les chapitres de livres, les articles, les livres édités, les monographies, les préimpressions et les actes.

Les fiches téléchargées sur la plateforme The Lens ont été exportées au format CSV. Les doublons au sein des fiches ont été supprimés, puis importés dans le logiciel VOSviewer. Ce logiciel a été utilisé pour l'analyse des métadonnées et la représentation graphique des réseaux de coopération entre les co-auteurs, les pays, les institutions de recherche ainsi que pour l'analyse de co-occurrence des mots-clés (Van Eck et Waltman, 2010). L'interprétation a été réalisée grâce à la mesure total link strength, qui sert à évaluer la connexion entre les nœuds (pays, institution, auteur, etc.) avec les

autres nœuds du même réseau. La taille des nœuds reflète le poids d'un mot-clé ou le nombre de publications d'un auteur, d'une institution, etc. En outre, la moyenne de citations a été utilisée comme un indicateur bibliométrique permettant d'évaluer l'impact moyen des publications d'un auteur.

Résultats

Types de documents exploités et évolution chronologique des publications

Les études intégrées dans la revue correspondent à la période allant de 2016 à 2025. La visualisation de la figure 1 montre que la période allant de 2016 à 2021 a connu un nombre de publications relativement stable, tournant autour de 100 publications par an, avec une légère baisse en 2018 et 2019. L'intérêt pour l'espèce a connu son pic en 2022 avec 481 publications. Après cette année, le nombre de publications a brusquement chuté jusqu'à atteindre son niveau le plus bas en 2025, qui comptabilise 68 publications.

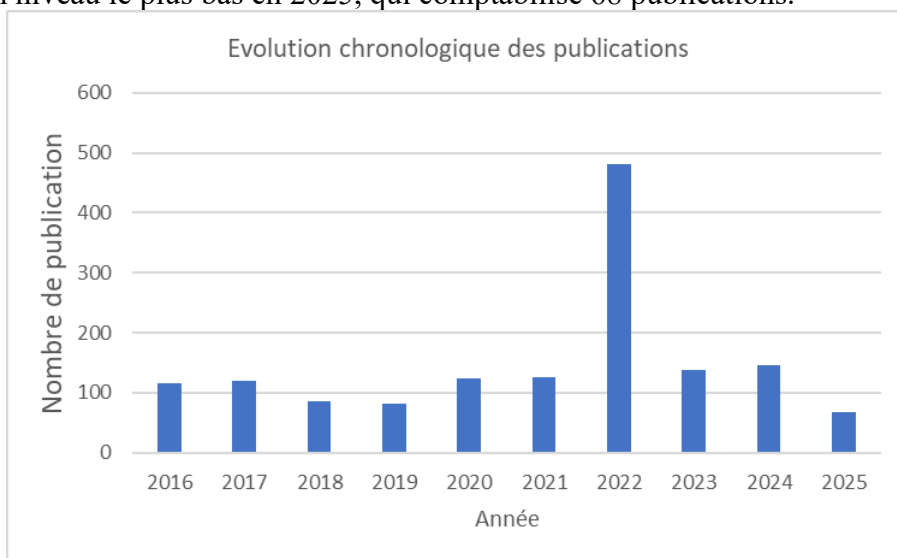


Figure 1 : Evolution chronologique des publications

Cette revue a permis d'identifier 1 484 études, réparties selon différents modes de diffusion. Le tableau 1 indique une prépondérance des chapitres (38,7 %), suivis des articles (29,7 %), des livres édités (24,2 %), des monographies (5,8 %), des préimpressions (1,3 %) et des actes (0,1 %).

Tableau 1 : Types de documents exploités

Type de document	Nombre	Fréquence
Chapitre de livre	575	38,7
Article	441	29,7
Livre édité	360	24,2
Monographie	86	5,8
Préimpression	20	1,3
Actes	2	0,1

Les Pays les plus prolifiques

Le tableau 2 montre les 10 pays les plus prolifiques ayant réalisé des recherches sur *Borassus aethiopum*. Ces pays se distinguent par leur contribution scientifique et académique reflétée à la fois par le nombre de publication, le nombre total de citation et la force totale du lien.

L'Inde, suivie du Nigeria et du Bénin, se distingue par le plus grand nombre de publications, avec respectivement 222, 144 et 136 articles.

Si l'on considère le nombre de citations, l'Inde reste en tête avec 10 261 citations, suivie des États-Unis avec 7 962 et de la Chine avec 6 958. Cette observation souligne que, malgré une quantité de publications plus modeste les États-Unis (128 publications) et la Chine (135 publications) ont eu un impact et une reconnaissance académique significatifs. Le même constat s'applique à la Allemagne et à l'Angleterre qui comptent respectivement 103 et 88 publications pour 4 061 et 4 330 citations.

Les pays ouest-Africain avec le plus grand nombre de publications ne figurent pas parmi les trois premiers pays en termes de collaboration. Le tableau 2 indique que les États-Unis, l'Allemagne et la Chine dominent en matière de collaboration internationale.

Tableau 2 : Les 10 pays les plus prolifiques en matière de recherche sur *B. aethiopum*

Pays	Nombre de publications	Nombre de citations	Force totale du lien
Inde	222	10261	107
Nigeria	144	2619	85
Bénin	136	1619	107
Chine	135	6958	121
Etat Unies	128	7962	161
France	103	4601	106
Cote d'Ivoire	96	870	70
Angleterre	88	4330	118
Allemagne	82	1461	146
Burkina Faso	52	898	59

Les Universités les plus prolifiques

D'après la figure 2, l'intérêt pour *B. aethiopum* s'est avéré être international. Plusieurs universités de divers horizons allant de l'Afrique, à l'Asie jusqu'en Europe ont contribué à une meilleure connaissance de l'espèce.

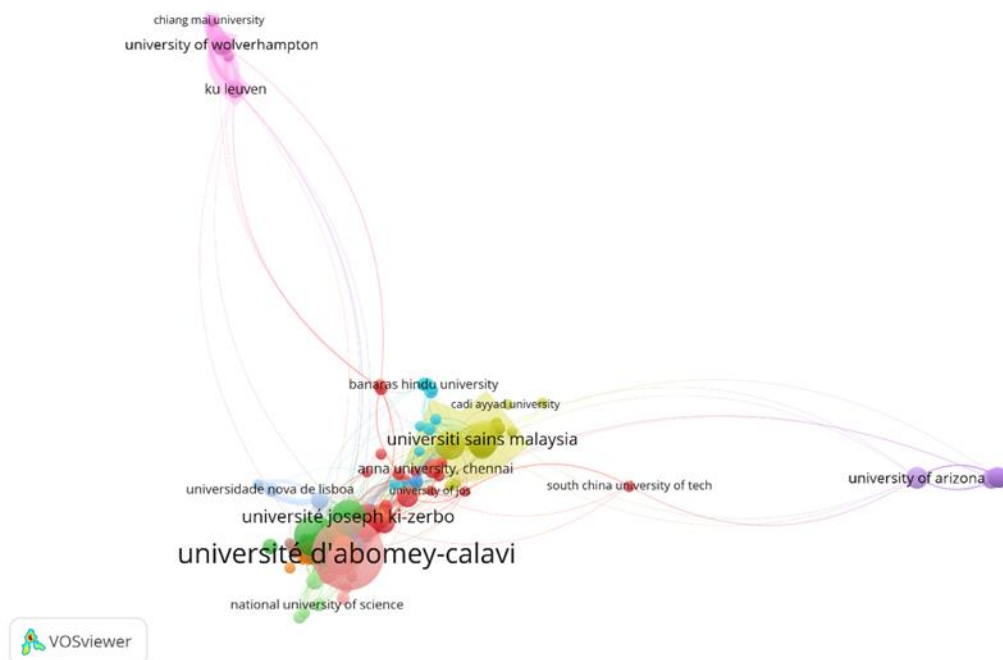


Figure 2 : Réseau de collaboration des universités les plus prolifiques

D'après le tableau 3, les universités ouest-africaines ont montré une productivité significativement supérieure. En effet, les trois premières universités ayant le plus étudié l'espèce sont l'Université d'Abomey-Calavi, l'Université Nangui Abrogoua et l'Université Joseph Ki-Zerbo, avec respectivement 124, 48 et 38 publications.

Malgré un volume de publications plus modéré (32), l'Université Sains Malaysia se démarque par sa forte visibilité académique, avec le plus grand nombre de citations (1 886). Cela suggère des études à fort impact fréquemment citées. L'Université d'Abomey-Calavi et l'Université Ahmadu Bello, comptabilisant respectivement 1 531 et 1 164 citations.

Le tableau 3 indique que l'Université d'Abomey-Calavi, l'Université Joseph Ki-Zerbo et l'Université Sains Malaysia présentent respectivement une force totale du lien égale à 564, 307 et 285. Ces établissements se distinguent comme des pôles majeurs en matière de collaboration, de transfert de connaissances et de recherche sur l'espèce.

Tableau 3 : Universités les plus prolifiques en matière de recherche sur *B. aethiopum*

Université	Nombre de documents	Nombre de citations	Force totale du lien
Université d'Abomey-Calavi	124	1531	564
Université Nangui Abrogoua	48	636	160
Université Joseph Ki-zerbo	38	595	307
Université Felix Houphouet-Boigny	36	129	199
Université Sains Malaysia	32	1886	285
Université Ahmadu Bello	29	1164	246
Université de Parakou	28	237	185
Université King Saud	21	897	117
Université Cheikh Anta Diop	19	171	98
Université d'Aarhus	19	992	185

Auteur les plus prolifique

Le tableau 4 illustre les 10 auteurs les plus prolifiques en fonction du nombre de leurs publications et du nombre de citations de leurs recherches. Les quatre premiers auteurs les plus prolifiques sont Achille Ephrem Assogbadjo, Aristide Cossi Adomou, Kolawole Valère Salako et Brice Augustin Sinsin. Ils sont tous d'origine béninoise, ce qui confirme à nouveau le rôle central de ce pays dans la production et la diffusion des connaissances sur *B. aethiopum* en Afrique de l'Ouest.

Achille Ephrem Assogbadjo se distingue en tête, avec 37 publications et un total impressionnant de 682 citations soit une moyenne de 18,43 citations par publication, ce qui témoigne à la fois de sa prolificité et de l'impact soutenu de ses travaux. On observe également que les travaux de Brice Augustin Sinsin ont généré une reconnaissance notable, avec 20 publications pour une moyenne de 20,75 citations.

Malgré un volume de publications légèrement inférieur, des auteurs remarquables comme Jacques Gignoux, avec 528 citations pour 19 publications, et Michael A. Augustine Fullen, avec 449 citations pour 17 publications, apparaissent comme des leaders en matière de moyenne de citations, ce qui reflète l'influence scientifique et la pertinence des sujets qu'ils ont développés.

Tableau 4 : Les 10 auteurs les plus prolifiques

Nom de l'auteur et institution	Nombre de publications	Nombre de Citations	Moyenne de citations
Achille Ephrem Assogbadjo, université d'Abomey-Calavie, Bénin	37	682	18,43
Aristide Cossi Adomou, université d'Abomey-Calavie, Bénin	26	231	8,88
Kolawole Valere Salako, université d'Abomey-Calavie, Bénin	20	182	9,10
Brice Augustin Sinsin, université d'Abomey-Calavie, Bénin	20	415	20, 75
Jacques Gignoux, centre national français pour la recherche scientifique, France	19	528	27,79
Hounnankpon Yedomonhan Yedomonhan, université d'Abomey-Calavie, Bénin.	18	302	16,78
Michael A Augustine Fullen, université de Wolverhampton	17	449	26,41
Koffi Akpagana, université de Lome, Togo	16	253	15,81
Romain Glele Kakaï, université d'Abomey-Calavie, Bénin	16	279	17, 44
Thierry Dèhou Egnon Houehanou, université d'Abomey-Calavie, Bénin	15	147	9,80

Publications les plus citées

Le tableau 5 correspond au classement décroissant des 10 publications les plus citées en fonction de leur lien avec d'autres auteurs. En première position Salako *et al.*, (2018) se sont distingués avec 37 citations leur étude portait sur l'ethnobotanique de l'espèce. En deuxième position, on retrouve Salako *et al.*, (2018a) avec 21 citations, ces auteurs ont modélisé les effets actuels et futurs du changement climatique sur la répartition et la densité spatiale de *B. aethiopum*. En troisième position, on retrouve Zon *et al.*, (2021) qui ont réalisés une revue sur les palmiers sauvages d'Afrique, leur étude totalise 17 citations.

Tableau 5 : Classement décroissant des publications les plus citées en fonction de la force totale du lien

Publications	Nombre de citations	Force totale du lien
Zon <i>et al.</i> , (2021)	17	29
Salako <i>et al.</i> , (2018)	37	23
Salako <i>et al.</i> , (2018a)	21	16
Adéoti <i>et al.</i> , (2024)	0	14
Zongo <i>et al.</i> , (2018)	8	14
Salako <i>et al.</i> , (2018b)	11	13
Abe-ingé <i>et al.</i> , 2020	10	12
Kptenon <i>et al.</i> , (2020)	15	11
Korese <i>et al.</i> , (2021)	6	8
Zon <i>et al.</i> , (2023)	2	8

La figure 3 montre que Zon *et al.*, (2021), présentent une centralité remarquable avec un total de 29 lien, témoignant de leur forte interconnexion dans le réseau de co-citation. Ils sont suivis par Salako *et al.*, (2018, 2018a), qui établissent respectivement 23 et 16 liens.

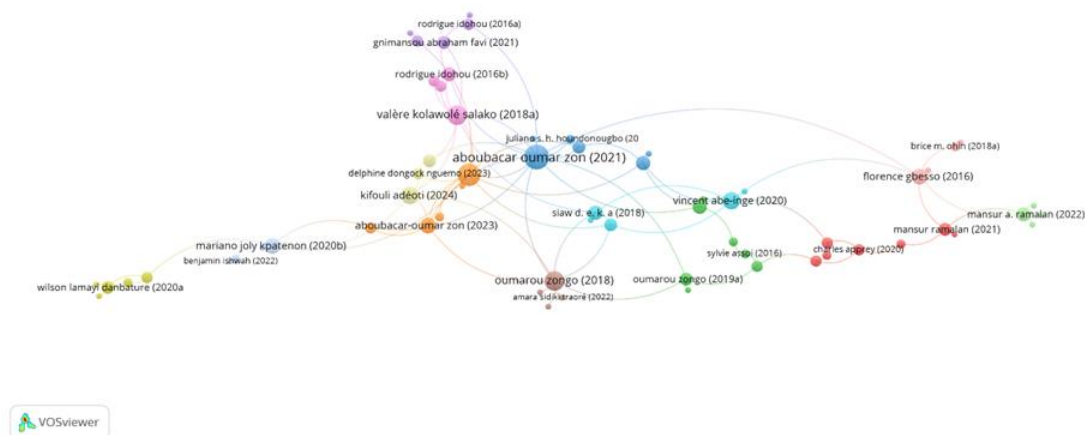


Figure 3 : Dynamique de co-citation des auteurs

Revue les plus citées

Cette revue a pris en compte 1 484 références issues de différentes revues scientifiques. Le tableau 6 met en avant les 9 principales revues avec le plus grand nombre de publications sur *B. aethiopum*. En termes de publications, Agroforestry Systems est en tête avec 11 publications pour 384 citations. Cependant, cette revue présente moins de citations que le Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, qui se place en deuxième position en termes de nombre de publications. L'analyse des publications montre également que Biodiversity and Conservation ainsi que Insectes Sociaux, comptent parmi les revues les plus citées, avec respectivement 7 et 6 publications pour 242 et 213 citations.

Tableau 6 : Revues les plus citées

Titre du journal	Documents	Citations
Agroforestry systems	11	384
Journal of ethnobiology and ethnomedecine	10	473
Biodiversity and conservation	7	242
Insectes sociaux	6	213
Genetic ressources and crop evolution	6	109
Human ecology	6	164
International journal of biological and chimical sciences	6	25
International journal of advanced research	5	2
Scientific report	5	124

Analyse de co-occurrence des mots-clés

Le tableau 7 correspond aux 10 mots-clés les plus occurrents dans notre recherche. Un mot-clé avec une occurrence élevée indique qu'il est fréquemment utilisé dans les publications, ce qui reflète son importance ou sa popularité dans le champ de recherche. En Deuxième et troisième position, on retrouve respectivement les mots-clés « teneur » avec 113 occurrences et « propriété » avec 72 occurrences. Ces mots-clés sont utilisés de façon interchangeable dans des études ayant pour objectif la caractérisation biochimique ou pharmacologique des organes de la plante (fruit, feuille, hypocotyle, vin etc.) et la caractérisation mécanique du bois de rônier.

La relevance permet d'identifier les termes ayant la plus grande valeur descriptive, même s'ils ne sont pas les plus fréquents. Dans ce cas, le mot-clé « parcelle » qui correspond aux études de terrain notamment les mesures dendrométriques, la distribution et l'écologie de l'espèce se placent en première position. Suivi du mot-clé « béton » qui est associé à l'utilisation du bois de rônier dans le domaine de la construction et du mot-clé « farine » qui occupe la troisième position et est lié aux enjeux alimentaires.

Ainsi, on constate une diversité interdisciplinaire des axes de recherche autour de *B. aethiopum* et une pertinence élevée des travaux de terrain.

Tableau 7 : classement des 10 mots clés les plus occurrent

Terme	Occurrences	Relevances
<i>Borassus Aethiopum</i> . Mart	179	0,46
Teneur biochimique	113	0,34
Propriété biochimique ou mécanique	72	0,39
Parcelle	64	1,8
Farine d'hypocotyle	57	1,25
Béton	47	1,04
Bois	41	0,99
Amidon d'hypocotyle	40	1,02
Fibre du fruit ou du bois	40	0,93
Pulpe du fruit	40	0,80

La figure 4 correspond à la représentation graphique de l'analyse de co-occurrence des mots-clés. Sa visualisation met en évidence sept clusters interconnectés, dont quatre sont les plus importants (rouge, vert, jaune et bleu marine) et trois sont moindres (orange, violet et bleu clair).

Les thèmes clés identifiés dans le cluster rouge sont liés aux enjeux de conservation et d'usage ethnobotanique qui sont considérés comme les principaux facteurs de menace pour l'espèce. Ces thématiques sont reflétées par des mots-clés tels que « community », « resource », « food », « construction », « abundance » et « conservation ». On note également que le cluster rouge comptabilise le plus grand nombre de mots-clés (13), ce qui démontre la dominance des thèmes développés en son sein.

Le cluster jaune met l'accent sur l'écologie de l'espèce. Les principaux mots-clés qui apparaissent dans ce cluster sont : « borassus », « plot », « soil », « slope », « bare », « West Africa » et « treatment ».

Le cluster bleu marine met en évidence l'intérêt porté au potentiel du bois de rônier dans le domaine de la construction. On y retrouve des mots-clés tels que « wood », « concrete » et « fiber », dont les *relevances* sont particulièrement élevées. On y retrouve également d'autres mots-clés comme « length », « characterization », « test », « aethiopum » et « Chad ».

Le cluster vert contient des mots-clés tels que « root », « saponin », « content », « property », « functional property », « flour », « young shoot » et « bread », et était orienté sur les caractéristiques des organes de la plante (ex. : fruit, farine, hypocotyle, bois, etc.) et les transformations agroalimentaires des sous-produits de la plante.

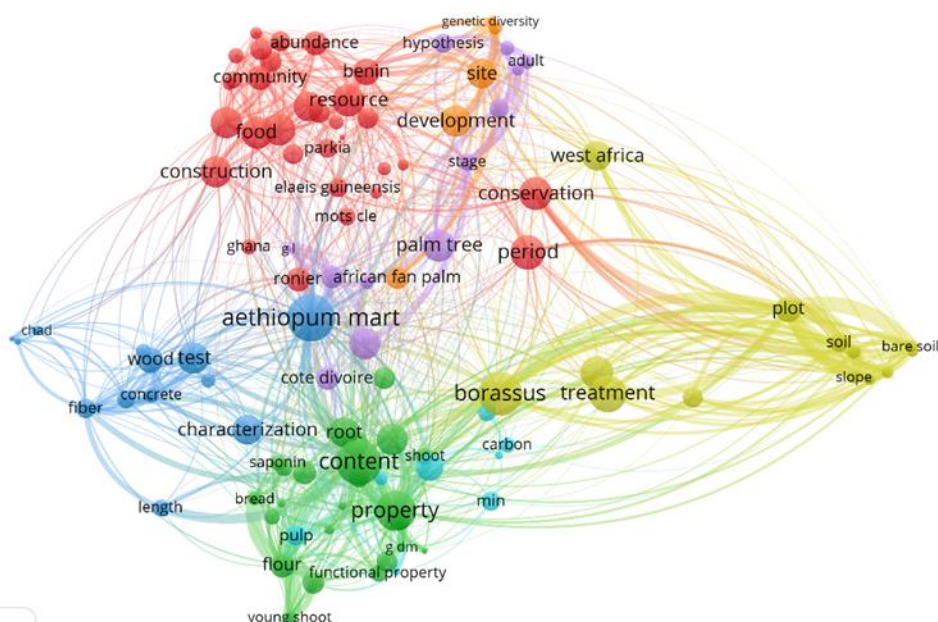


Figure 4 : Réseaux co-occurrence des mots-clés

Discussion

Cette étude visait à examiner la dynamique de croissance des publications sur *Borassus aethiopum* ; à identifier les pays, les institutions, les auteurs et les revues les plus prolifiques dans les recherches portant sur cette espèce ; à analyser les réseaux de collaboration entre pays, universités et chercheurs ; à recenser les publications les plus citées ; et à analyser les co-

occurrences des mots-clés afin de dégager les thématiques dominantes dans les travaux scientifiques qui lui étaient consacrés.

L'analyse bibliométrique révèle une dynamique de productions scientifiques en forte croissance. Cependant, cette tendance indique une grande concentration des recherches autour de quelques auteurs, institutions ou pays ce qui est problématique car on a remarqué un faible taux de recherche dans certains pays Ouest africain comme le Niger, le Cap-Vert, le Cameroun, le Mali, la Guinée, la Guinée-Bissau où selon Cosiaux *et al.*, (2016) l'espèce est considérée comme native et menacée. Or, l'absence de données scientifiques fiables dans certaines zones rend difficile la mise en œuvre de politiques ou de plans de gestion adaptés. Ces résultats corroborent ceux de (Houndonougbo, *et al.*, 2020 et Dassou *et al.*, 2023) qui ont remarqué un déséquilibre dans la distribution géographique des publications et une tendance à la hausse du nombre de publications sur les espèces agroforestières durant ces dernières décennies.

Les auteurs les plus prolifiques étaient béninois. Concernant les institutions les plus prolifiques, les universités ouest-Africaines étaient en tête, notamment l'Université d'Abomey-Calavi, l'Université Nangui Abrogoua et l'Université Joseph Ki-Zerbo. Cela s'explique par le fait que l'espèce a une forte distribution en Afrique de l'Ouest, mais aussi parce qu'elle revêt une importance socio-économique et alimentaire majeure pour les populations de la sous-région. En effet, Giffard (1967) affirme que la zone soudanienne offre les meilleures conditions climatiques pour le développement du rônier. De plus, des études comme celles de Jatau (2008), Gbesso *et al.*, (2013), Senou et Ongoïba (2014) indiquent que l'exploitation du rônier améliore la sécurité économique des populations ouest-africaines.

Les pays les plus prolifiques étaient l'Inde, suivie du Nigeria et du Bénin. Malgré le volume supérieur des publications de certains pays comme le Nigeria ou le Bénin si on les compare avec des pays comme la France ou l'Angleterre des disparités importantes étaient observées en termes d'impact académique (nombre de citations). Cela peut s'expliquer par le fait que leur production scientifique, bien que quantitativement élevée, présentait une visibilité internationale limitée. El-Aroui (2024) souligne que cet état de fait peut être attribué à la faible publication des recherches dans des revues indexées, ainsi qu'à la barrière de la langue, qui désavantage les auteurs francophones.

En termes de collaboration, des institutions comme l'Université d'Abomey-Calavi et l'Université Joseph Ki-Zerbo étaient reconnues parmi les institutions scientifiques les plus influentes. Les États-Unis, l'Allemagne et la Chine dominaient en matière de collaboration internationale, ce qui souligne la nécessité de renforcer les partenariats transnationaux entre les pays de la sous-région.

L'analyse des mots-clés avait montré une disparité entre les mots-clés les plus fréquents et ceux ayant une forte pertinence. Les mots-clés les plus fréquents se concentraient sur l'étude des caractéristiques biochimiques et pharmacologiques de la plante. Parmi les références les plus pertinentes dans ce champ d'étude, Zongo *et al.*, (2019) ont démontré les qualités nutritionnelles de la sève de *B. aethiopum* qui est riche en sucres fermentescibles, en glucides et en vitamine C. Bolade *et al.*, (2006) ont mis en évidence la valeur nutritionnelle élevée (protéines, amidon, fibres) de l'hypocotyle. Assoi *et al.*, (2014) affirment que le fruit du palmier est une source prometteuse de pectine pour des applications agroalimentaires et pharmaceutiques.

En revanche, les études de terrain restaient le champ de recherche avec la plus forte pertinence. Cela peut s'expliquer par le fait qu'elles constituent le principal moyen de compréhension et de conservation des espèces forestières. Les études menées par Douffi *et al.*, (2018), Salako *et al.*, (2018a, 2018b, 2015, 2017), Atakpama *et al.*, (2022), Gbesso *et al.*, (2014), Ouinsavi *et al.*, (2011) et Traoré *et al.*, (2022) ont permis une meilleure connaissance de l'écologie, de la structure et de la distribution de l'espèce.

D'autre part, l'interprétation du réseau de co-occurrence des mots-clés (figure 4) avait montré une dominance des études relatives à la conservation et aux usages ethnobotaniques y compris leurs conséquences sur la pérennité de l'espèce. En effet, selon Gruca *et al.*, (2015) en Afrique *B. aethiopum* est le troisième palmier le plus utilisé en ethnomédecine. De plus, selon Salako *et al.*, (2018), Zongo *et al.*, (2018) et Boakye *et al.*, (2024) des usages alimentaires, des usages dans le domaine de la construction, de la vannerie et de la menuiserie sont faits grâce aux multiples avantages qu'offre le rônier. La forte utilité de l'espèce a conduit à sa surexploitation qui est de nos jours une cause majeure de son érosion (Issiaka, 2018 ; Sambou, 1989). Par exemple, la surexploitation, des fruits (Adomou *et al.*, 2011), la production de vin de palme (Sambou *et al.*, 2002) et la coupe des feuilles (Thione et Sambou, 2004) sont les principales menaces anthropiques pour la conservation de l'espèce. Les résultats de cette étude concordent avec ceux de Zon *et al.*, (2021), qui affirment que la plupart des études sur les palmiers sauvages d'Afrique de l'Ouest se sont concentrées sur la biochimie, l'ethnobotanique et la structure des populations.

Globalement on s'aperçoit que les aspects liés à l'adaptation, à la génétique, à la domestication de l'espèce ainsi que les dimensions économiques, juridiques et politiques de la gestion durable restent encore peu approfondis.

Cette étude comporte trois principales limites qu'il convient de mentionner. D'une part, l'analyse repose exclusivement sur les publications d'Afrique de l'Ouest et sur la base de données The Lens, ce qui peut entraîner

l'exclusion de certaines publications issues d'autre pays et de revues locales ou non indexées par The Lens. D'autre part, la période d'étude, bien que couvrant près de deux décennies, ne tient pas compte des travaux antérieurs à 2006, ce qui peut limiter la compréhension des dynamiques historiques de la recherche.

Conclusion et perspectives

Cette étude bibliométrique a permis de dresser un état des lieux de la production scientifique sur *B. aethiopum* entre 2006 et 2025. Les résultats obtenus témoignent d'un intérêt significatif pour l'espèce et une diversification des approches disciplinaires. Les résultats révèlent que l'Inde, le Nigeria et le Bénin sont les pays les plus prolifiques en matière de publications sur *B. aethiopum*, tandis que les États-Unis, l'Allemagne et la Chine dominent les réseaux de collaboration internationale. L'Université d'Abomey-Calavi, l'Université Nangui Abrogoua et l'Université Joseph Ki-Zerbo sont leader en nombre de publication, par contre l'Université d'Abomey-Calavi, l'Université Joseph Ki-Zerbo et l'Université Sains Malaysia se distinguent par leur centralité dans les collaborations institutionnelles. Les chercheurs les plus productifs sont Achille Ephrem Assogbadjo, Aristide Cossi Adomou et Kolawole Valère Salako. Les publications les plus citées par ordre décroissant incluent celles de Salako *et al.*, (2018, 2018a) et Zon *et al.*, (2021) tandis que les travaux de Zon *et al.*, (2021), Salako *et al.*, (2018, 2018a) occupent une position centrale dans le réseau de co-citation. Les revues les plus prolifiques sont Agroforestry Systems, Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine et Biodiversity and Conservation. L'analyse de co-occurrence des mots-clés a indiqué que les thématiques les plus abordées sont relatives aux caractéristiques biochimiques ou pharmacologiques de la plante, aux usages ethnobotaniques et à écologie. La littérature actuelle souligne des lacunes importantes, tant sur le plan biologique qu'ethno-sociale, ce qui ouvre plusieurs axes prometteurs pour la recherche scientifique particulièrement l'adaptation aux changements globaux, l'écologie et la régénération naturelle, la domestication, la conservation génétique, la valorisation économique et la politique de gestion et gouvernance locale.

Des futures études devront se focaliser sur la diversité des méthodes d'adaptation au changement climatique (régénération naturelle assistée, ensemencement, choix de morphotype) et leurs conditions d'application (socio-culturel et économique) afin d'optimiser l'exploitation de l'espèce et promouvoir sa conservation.

En raison des facteurs de menaces anthropiques et climatiques il paraît nécessaire de réaliser une étude diachronique couplée à des relevés phytosociologiques qui permettront de quantifier l'ampleur de la dégradation

des rôneraies, une telle étude permettra de déterminer l'efficacité des modes de gestion. Il semble également pertinent d'analyser la perception des producteurs sur l'impact des changements climatiques et ses effets sur la phénologie du rônier.

Les mécanismes de reproduction, les taux de germination en milieu naturel et les facteurs limitant la régénération restent mal compris. Des études écophysiologiques approfondies sont nécessaires pour identifier les conditions optimales de croissance et pour développer des techniques de régénération assistée.

Peu d'efforts ont été consacrés à la domestication de cette espèce, pourtant prometteuse dans les systèmes agroforestiers. Des recherches sur les pratiques culturales, la sélection variétale et l'intégration du rônier dans les parcelles agricoles pourraient contribuer à sa valorisation durable.

Très peu de recherches ont été menées sur la diversité génétique du *B. aethiopum*. Des études de génomique pourraient appuyer des stratégies de conservation in situ et ex situ, et contribuer à la sélection de génotypes à haut potentiel.

L'analyse des chaînes de valeur liées aux produits dérivés du rônier (fruits, moelle, vin, artisanat) permettrait d'identifier des opportunités économiques tout en limitant les pratiques destructrices, notamment l'abattage pour la sève.

Une meilleure compréhension des cadres institutionnels et des modes de gouvernance des ressources naturelles est nécessaire pour intégrer durablement le rônier dans les politiques locales de développement rural et de gestion forestière.

Ces perspectives montrent que *B. aethiopum* constitue un objet d'étude multidisciplinaire, à la croisée de l'écologie, de l'agronomie, de l'économie rurale et de l'anthropologie. Une recherche coordonnée et contextualisée pourrait favoriser sa conservation et sa valorisation au bénéfice des populations locales et de l'environnement.

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. Abe-Inge, V., Asaam, E. S., Agbenorhevi, J. K., Bawa, N. M., & Kpodo, F. M. (2020). Development and evaluation of African palmyra

- palm (*Borassus aethiopum*) fruit flour–wheat composite flour noodles. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1749216. <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1749216>.
2. Adéoti, K., Salako, K. V., Daa-Kpodé, U. A., Ouédraogo, A., & Santoni, S. (2024). Efficiency of simple sequence repeat (SSR) markers in genetic diversity study and differentiation of *Borassus aethiopum* Mart. and *Borassus akeassii* Bayton, Ouédr. & Guinko. *Genetic Resources and Crop Evolution*. [DOI:10.1007/s10722-024-02067-3](<https://doi.org/10.1007/s10722-024-02067-3>).
3. Adomou, C. A., Agbani, O. P., & Sinsin, B. (2011). Plants. In : Neuenschwander P., Sinsin B., Goergen G. (eds) Une Liste Rouge pour le Bénin. *Nature Conservation in West Africa : Red List for Benin*. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 21-46p.
4. Ahissou, M. V., Balagueman, O. R., Biaou, S. H., Natta, A. K., & Dan, B. S. C. (2017). Caractérisation structurale des populations de *Borassus aethiopum* Mart. dans la commune de Savè au Bénin. *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron.* Vol.7 (No.1) : 47-53.
5. Assoi, S., Konan, K., Walker, L. T., Holser, R., Agbo, G. N., Dodo, H., & Wicker, L. (2014). Functionality and yield of pectin extracted from Palmyra palm (*Borassus aethiopum* Mart) fruit. *LWT - Food Science and Technology*, 58(1), 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.045>.
6. Atakpama, W., Atoemne, K., Egbelou, H., Padakale, E., Batawila, K., & Akpagana, K. (2022). Distribution and demography of roan tree parks in the Savannah Region of Togo. *African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences*. ISSN : 2657-2664, Vol. 5 Issue 2.
7. Boakye, M. K., Adunu, S. K., Gbadegbe, R. S., Quashie, M. C., Agyemang, A. O., & Dankwa, R. (2024). *Borassus aethiopum* Mart. ethnobotanical knowledge and application in the Volta region of Ghana. *Forestist*. doi:10.5152/forestist.2024.24017.
8. Bolade, M. K. & Bello, S. B. (2006). Selected Physicochemical Properties of Flour from the Root of *Borassus aethiopum*. *International Journal of Food Properties*, 9(4), 701–713. DOI : 10.1080/10942910600575641.
9. Bouda, M. C. M. (2005). La gestion locale des rôneraies : Des incertitudes à l'espoir. <https://duddal.org/s/bibnum-promap/item/13400#?c=0&m=0&cv=0>.
10. Cassou, J., (1996). Le parc à rôniers (*Borassus aethiopum*) de Wolonkoto dans le Sud-Ouest du Burkina Faso : structure, dynamique, et usages de la rôneraie, Mémoire de DESS, Gestion des systèmes

- agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales, Université de Paris-Val-de-Marne, France, 103 p. [Agritrop].
11. Cosiaux, A., Gardiner, L. M. & Couvreur, T. (2016). *Borassus aethiopum*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T195913A2431857.
<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20163.RLTS.T195913A2431857.en>.
 12. Dassou, G. H., Favi, G. A., Salako, K.V., Ouachinou, J. M. A. S., Trekpo, P., Akouete, P., Agounde, G., Djidohokpin, D., Dansi, M., Kouyaté, A. M., Natta, A. K., Yedomonhan, H., & Adomou, A. C. (2023). *An updated review of the African multipurpose tree species Detarium senegalense J.F.Gmel. (Fabaceae). South African Journal of Botany, 157, 525–539.* <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.04.035>.
 13. Douffi, K. G. C., Koné, M., Traoré, A. S., Kouakou, A. A. F., & N'guessan, J. (2018). Influence des facteurs environnementaux sur la structure spatiale du peuplement rôniers (*Borassus aethiopum* Mart.) de la savane, au Centre de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI) ISSN (Online) : 2319 – 6734, ISSN (Print): 2319 – 6726 www.ijesi.org ||Volume 7 Issue 6 Ver II || June 2018 || PP 40-56.*
 14. El-Aroui, M. A., (2024). Dynamiques et écosystèmes de la publication scientifique en Afrique : une analyse scientométrique sur les deux premières décennies du 21e siècle. *Global Africa, (7), pp. 62-83.* <https://doi.org/10.57832/3y5v-jg98>.
 15. FAO, (1988). Traditional food plants-policy and food nutrition, Paper 4, Vol. 42. ICRAF Agroforestry Data base.
 16. Gbesso, F., Akouehou, G., Tente, B., & Akoegninou, A. (2013). Aspects technico-économiques de la transformation de *Borassus aethiopum* Mart. (arecaceae) au Centre-Bénin. *Afrique SCIENCE 09(1). 159 – 173 ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.info.*
 17. Gbesso, F., Yedomonhan, H., Tente, B., & Akoegninou, A. (2014). Distribution géographique des populations de rôniers (*Borassus aethiopum*, *Arecaceae*) et caractérisation phytoécologique de leurs habitats dans la zone soudano-guinéenne du Benin. *J. Appl. Biosci. 74, 6099–6111p.*
 18. Giffard, P. L. (1967). Le palmier rônier *Borassus aethiopum* Mart. *Revue Bois et forêts des tropique, n°116.*
 19. Gruca, M., Yu, W., Amoaeng, P., Nielsen, M. A., Poulsen, T. B., & Balslev, H. (2015). Ethnomedicinal survey and in vitro anti-plasmodial activity of the palm *Borassus aethiopum* Mart. *Journal of Ethnopharmacology, 175, 356–369.*

20. Houndonougbo, J. S. H., Kassa, B., Mensah, S., Salako, V. K., Glèlè Kakai, R., & Assogbadjo, A. E. (2020). A global systematic review on conservation and domestication of *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don, an indigenous fruit tree species in Sub-Sahara African traditional parklands: current knowledge and future directions. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 67(5), 1051–1066. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00892-w>.
21. Issiaka, H. (2018). Gestion durable et valorisation des ressources de la rônieraie du Dallol Maouri (GayaDioundiou/sud-ouest du Niger). *Annales de l'Université de Moundou, Série A - Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines*, Vol.5(2).
22. Jatau, D. F. (2008). Profitability assessment of *Borassus aethiopum* (Mart.) marketing in Adamawa State, Nigeria. *J. Agri. Soc. Sci.*; 4: 159-64.
23. Kabore, P. N., Barbier, B., Ouoba, P., Kiema, A., Somé, L., & Ouedraogo, A. (2019). Perceptions du changement climatique, impacts environnementaux et stratégies endogènes d'adaptation par les producteurs du Centre-nord du Burkina Faso. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 19(1) : 15- 19 ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.24637>.
24. Korese, J. K., Achaglinkame, M. A., & Chikpah, S. K. (2021). Effect of hot air temperature on drying kinetics of palmyra (*Borassus aethiopum* Mart.) seed-sprout fleshy scale slices and quality attributes of its flour. *Journal of Agriculture and Food Research*, 6, 100249. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100249>.
25. Kpatènon, M. J., Salako, K. V., Santoni, S., Zekraoui, L., Latreille, M., Tollon-Cordet, C., Mariac, C., Jaligot, E., Beulé, T., & Adéoti, K. (2020). Transferability, development of simple sequence repeat (SSR) markers and application to the analysis of genetic diversity and population structure of the African fan palm (*Borassus aethiopum* Mart.) in Benin. *BMC Genetics*, 21, 145. <https://doi.org/10.1186/s12863-020-00955-y>.
26. Ohin, B. M., Kifouli, A., Noumavo, P. A., Kouhounde, S. H. S., Garba, K., Tovide, N. S., Ogoua, S., Baba-Moussa, L., Toukourou, F., & Baba-Moussa, F. (2018). Technological Processes Itinerary and Socio-economic Impact Assessment of *Borassus aethiopum* Hypocotyles “Agonté” Produced in Centre of Benin Republic. *Food and Public Health* 8(2) 35-41. DOI: 10.5923/j.fph.20180802.01.
27. Ouinsavi, C., Gbémavo, C., & Sokpon, N. (2011). Ecological structure and fruit production of African fan palm (*Borassus aethiopum*) populations. *American Journal of Plant Sciences**, 2(6), 733–743.

- [DOI:10.4236/ajps.2011.26088](https://doi.org/10.4236/ajps.2011.26088).
28. Salako, K. V., Moreira, F., Gbedomon, R. C., Tovissodé, F., Assogbadjo, A. E., & Glèlè Kakaï, R. (2018). Traditional knowledge and cultural importance of *Borassus aethiopum* Mart. in Benin: interacting effects of socio-demographic attributes and multi-scale abundance. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 14(36). [DOI:10.1186/s13002-018-0242-7](https://doi.org/10.1186/s13002-018-0242-7).
 29. Salako, K. V., Vihotogbé, R., Houéhanou, T., Sodé, I. A., & Glèlè Kakaï, R. (2018a). Predicting the potential impact of climate change on the declining agroforestry species *Borassus aethiopum* Mart. in Benin: a mixture of geostatistical and SDM approaches. *Agroforestry Systems*, 93, 1513–1530.
 30. Salako, V. K., Assogbadjo, A. E., & Adomou, A. C. (2015). Latitudinal distribution, co-occurring tree species and structural diversity of the threatened palm *Borassus aethiopum* (Arecaceae) in Benin, West Africa. *Plant Ecol Evol* 148:335–349. <https://doi.org/10.5091/plecevo.2015.1046>
 31. Salako, V. K., Houéhanou, T. H., Yessoufou, K., Assogbadjo, A. E., Akoègninou, A., & Kakaï, R. L. G. (2017). Patterns of elephant utilization of *Borassus aethiopum* Mart. and its stand structure in the Pendjari National Park, Benin, West Africa. *Tropical Ecology* 58(2): 425–437.
 32. Salako, V. K., Kénou, C., Dainou, K., Assogbadjo, A. E., & Glèlè Kakaï, R. (2018b). Impacts of land use types on spatial patterns and neighbourhood distance of the agroforestry palm *Borassus aethiopum* Mart. in two climatic regions in Benin, West Africa. *Agroforestry Systems*, 93(3), 1057–1071. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0205-y>.
 33. Sambou, B. (2004). Évaluation de l'état, de la dynamique et des tendances évolutives de la flore et de la végétation ligneuses dans les domaines soudanien et sub-guinéen au Sénégal. *Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop*, 248p.
 34. Sambou, B., (1989). Rônier *Borassus aethiopum* Mart. et rôneraies au Sénégal : état actuel et condition de restauration. Thèse de doctorat en sciences de l'environnement. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
 35. Sambou, B., Goudiaby, A., Ervik, F., Diallo, D. & Camara, M.C. (2002). Palm wine harvesting by the Bassari threatens *Borassus aethiopum* populations in north-western Guinea. *Biodiversity and Conservation* 11: 1149-1161.

36. Senou, O., & Ongoiba, B. (2014). Rapport diagnostic sur la filière noix de palmier rônier dans les régions de Sikasso, Ségou et Mopti au Mali. Ministère du développement rural, Mali, 24 p.
37. Tahirou, S. I., Chaibou, I., Ngom, D., Moussa, H., & Banoin, M. (2016). Perception paysanne des ligneux à houppier fermé dans les agrosystèmes de Gaya : cas du terroir villageois de Tanda (République du Niger). *Journal of Applied Biosciences*, 106(1): 10309-10319. DOI: <https://doi.org/10.4314/jab.v106i1.11>.
38. Tarazi, A. (2024). Comparative analysis of the bibliographic data sources using PubMed, Scopus, Web of Science, and Lens. High Yield Medical Reviews. Advance online publication. <https://doi.org/10.59707/hymrUNHW4628>.
39. Teague, W., R., Dowhower, S., L., & Waggoner, J., A. (2004). Drought and grazing patch dynamics under different grazing management. *J Arid Environ* 2004 ; 58 : 97-117.
40. Thione, L. A & Sambou, Bi. (2004). Impact de l'exploitation des feuilles sur la production foliaire et la fructification du rônier. *Homme, plantes et environnement au Sahel occidental* Actes de l'atelier de Fada N'Gourma (Burkina Faso).
41. Thione, L. A & Sambou, Bi. (2004). Impact de l'exploitation des feuilles sur la production foliaire et la fructification du rônier. *Homme, plantes et environnement au Sahel occidental* Actes de l'atelier de Fada N'Gourma (Burkina Faso).
42. Traoré, S., Kouassi, K. I., Koné, M., Gignoux, J., & Barot, S. (2022). Spatial patterns of a savanna palm tree *Borassus aethiopum* and its temporal variability Amara. *Journal of plant ecology* | <https://doi.org/10.1093/jpe/rtac029>.
43. Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538.
44. Zon, A. O., Kouassi, E. K., & Ouédraogo, A. (2021). Current knowledge and future directions on West African wild palms : an analytical review for its conservation and domestication in the context of climate change and human pressures. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68, 1–18. [DOI:10.1007/s10722-021-01158-9](<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10722-021-01158-9>).
45. Zon, A. O., Kouassi, E. K., Tiétiambou, F. R. S., & Ouédraogo, A. (2023). Usage patterns and conservation practices of wild palm species (Arecaceae) in Western Burkina Faso. *Economic Botany*, 78(3), 292–307. <https://doi.org/10.1007/s12231-023-09595-6>.

46. Zongo, O., Tapsoba, F., Cisse, H., Traore, Y., & Savadogo, A. (2018). Modes of use of the palm *Borassus aethiopum* Mart. by the rural populations of Eastern and Central-Eastern regions from Burkina Faso. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(12), 62–74. [PDF](<https://www.researchgate.net/publication/329914599>).
47. Zongo, O., Tapsoba, F., Leray, F., Bideaux, C., Guillouet, S., Traoré, Y., & Savadogo, A. (2019). *Nutritional, biochemical and microbiological composition of Borassus aethiopum Mart. sap in Burkina Faso. Journal of Food Science and Technology*, 56(12), Article 335685219. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04078-w>.

Effets de la diversité des sols et du niveau topographique sur l'activité microbienne et le cycle du carbone en contexte de bas-fonds sud-soudaniens du Burkina Faso

Bintou Céline Sanou

Université Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou, Burkina Faso

Daouda Guébré

Centre Universitaire de Ziniaré/ Université Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso.
LMI-IESOL, Centre de Recherche de Bel Air, Dakar, Sénégal

Edmond Hien

Université Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou, Burkina Faso.
LMI-IESOL, Centre de Recherche de Bel Air, Dakar, Sénégal.
Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Burkina Faso

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p153](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p153)

Submitted: 01 May 2025

Accepted: 01 July 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Sanou, B.C., Guébré, D. & Hien, E. (2025). *Effets de la diversité des sols et du niveau topographique sur l'activité microbienne et le cycle du carbone en contexte de bas-fonds sud-soudaniens du Burkina Faso*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 153.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p153>

Résumé

En contexte de bas-fonds sud-soudaniens, la faible productivité agricole due à une connaissance insuffisante des caractéristiques intrinsèques des sols, est un problème crucial. En effet, les statuts organique et nutritionnel des sols dans cette zone restent fortement influencés par la typologie des sols et le relief. Ainsi, l'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence combinée de la diversité des sols et de leur position topographique sur l'activité microbienne et le cycle du carbone. L'étude a été menée sur des sols du bas-fond de Lofing dans le Sud-Ouest du Burkina Faso. Une caractérisation morpho-pédologique de la zone étudiée selon le système français et son correspondant selon WRB, 2015 a mis en évidence des sols bruns eutrophes (Vertic Cambisol), couvrant 56,29% du bas-fond. Le deuxième type concerne les sols hydromorphes peu humifères (Haplic Gleysol) couvrant 40,85% du bas-fond. Les analyses des échantillons de sols de subsurface (0-10 cm) ont montré des valeurs plus élevées en carbone total (+29%) et minéralisable

(+22%), ainsi qu'en quotient métabolique (+29%) et en respiration microbienne (+36%) dans les sols hydromorphes par rapport aux sols bruns. En revanche, c'est dans les sols bruns que la biomasse et le rendement microbiens ont été plus élevés (+22% et +69%, respectivement). Il ressort de cette étude que la fraction labile de carbone et l'activité des microorganismes des sols sont fortement influencées par les apports organiques colluviaux et le niveau topographique. Ainsi, l'interaction entre la nature du sol et le niveau topographique apparaît comme un facteur clé dans l'évaluation du cycle du carbone organique des sols en contexte de bas-fonds sud-soudaniens.

Mots-clés: Sols de Bas-fond ; topographie ; matière organique ; Sud-soudaniens; Burkina Faso

Effects of soil diversity and topography on microbial activity and the carbon cycle in the lowlands of Sudanian climate of Burkina Faso

Bintou Céline Sanou

Université Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou, Burkina Faso

Daouda Guébré

Centre Universitaire de Ziniaré/ Université Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso.

LMI-IESOL, Centre de Recherche de Bel Air, Dakar, Sénégal

Edmond Hien

Université Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou, Burkina Faso.

LMI-IESOL, Centre de Recherche de Bel Air, Dakar, Sénégal.

Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Burkina Faso

Abstract

In the lowlands of the Sudanian climate of Burkina Faso, low crop productivity due to inadequate knowledge of the intrinsic characteristics of soils is a crucial problem. The aim of this study was to determine the influence of soil diversity and topographical position on the combined efficiency of microbial activity and the carbon cycle. The study was carried out in the Lofing lowland (south-west of Burkina Faso). A morpho-pedological characterisation of the study area according to the French system (and its correspondent according to WRB, 2015) revealed eutrophic Brown soils (Vertic Cambisols), covering 56.29% of the lowland. The second type concerns hydromorphic soils with low humus content (haplic Gleysols) covering 40.85% of the lowland. The results of analyses of subsurface soil samples (0-10 cm) showed higher values for total carbon (+29%) and

minéralisable carbone (+22%), quotient métabolique (+29%) et respiration microbienne (+36%) dans les sols hydromorphes comparés aux sols bruns. D'autre part, c'est dans les sols bruns que la biomasse microbienne et le rendement étaient plus élevés (+22% et +69%, respectivement). Cette étude montre que la fraction labile de carbone et l'activité des microorganismes du sol sont fortement influencées par les entrées organiques colluviales et la topographie. Ainsi, l'interaction entre le type de sol et la topographie est un facteur clé pour évaluer le cycle du carbone organique du sol dans les zones basses du climat soudanais de Burkina Faso.

Keywords: Lowland soils; topography, organic matter; Sudanian climate; Burkina Faso

Introduction

De nos jours, la durabilité de la production représente un défi majeur de l'activité agricole. Cette durabilité est basée particulièrement sur la fertilité organique du sol (Doetterl *et al.*, 2015). En effet, de faibles rendements et la dégradation des sols ont été signalés (Lompo *et al.*, 2009), dus principalement à la faible teneur en matière organique du sol (Traoré *et al.*, 2015) et une mauvaise gestion de l'agro-biodiversité (Bayala *et al.*, 2005). En outre, ce phénomène est accentué par l'érosion hydrique des sols qui constitue un problème environnemental mondial, entravant gravement le développement durable (Gao and Wang, 2019). Cette érosion résulte d'un ensemble de processus complexes et interdépendants, liés à la pluie, au ruissellement, à la topographie, à la texture du sol, à la couverture végétale, aux techniques culturales et aux éventuels aménagements (Khemiri and Jebari, 2021). Ces auteurs affirment que tous ces facteurs réunis contribuent directement ou indirectement au détachement et au transport des particules du sol.

Dans le contexte du Burkina Faso, la teneur en matière organique totale des sols est généralement faible, de l'ordre de 0,6 % dans les régions sahélienne et sud-soudanienne (Pallo *et al.*, 2008). Les pratiques agricoles comme le travail du sol, l'utilisation de diverses sortes de fertilisants minéraux et l'irrigation des terres ont contribué à augmenter la vitesse de minéralisation de la matière organique du sol (MOS). Cette dégradation des sols est accompagnée d'une croissance démographique entraînant une surexploitation des sols cultivables (Sanou & Hien, 2022).

Ainsi, les bas-fonds connaissent une pression anthropique de plus en plus accentuée. En effet, les bas-fonds restent de nos jours des zones d'exploitation agricole par excellence pour les producteurs qui y voient un moyen de sécurisation de leur production dans un contexte de changement climatique (Ilboudo *et al.*, 2023). Cependant, si les bas-fonds sont généralement perçus comme des milieux fertiles, ils présentent dans certains cas un déficit de production ; comme c'est le cas dans le Sud-Ouest du Burkina

Faso, où le rendement moyen du riz (2,02 t/ha) dans les bas-fonds restent inférieurs aux rendements moyens escomptés sur le plan national (Sanou and Hien, 2022). Dans ce contexte, Ilboudo *et al.* (2023) estiment que la détermination de bonnes pratiques et la réussite de leur mise en application reposent sur l'analyse des caractéristiques morpho-pédologiques, chimiques et physiques des sols de bas-fonds. A propos, l'évaluation des sols dans cette zone a montré une très bonne aptitude physique mais avec une aptitude chimique défavorable du fait d'un déficit de restitution organique (Sanou and Hien, 2022).

Ainsi, il s'avère nécessaire de s'intéresser à des indicateurs biologiques qui permettent d'apprécier le devenir de la matière organique sols. En effet, la matière organique des sols provient d'organismes morts, végétaux pour la plupart, de déjections animales, d'exsudats des racines et d'organismes vivants. De ce fait, elle subit des biotransformations dans le sol par des organismes microbiens du sol. Des recherches récentes ont également démontré que la compréhension de la dynamique de la matière organique du sol MOS est un facteur essentiel pour renforcer la résilience des agroécosystèmes et atténuer les effets négatifs du changement climatique (Chahal *et al.*, 2024). A ce titre, la biomasse et la respiration microbiennes des sols constituent des indicateurs importants pour évaluer la minéralisation de la MOS et contribuer à mieux gérer des problèmes liés au statut organique des sols (Gnankamary *et al.*, 2008). L'avantage des MOS est qu'elles stimulent efficacement les communautés biologiques du sol, tout en libérant progressivement les éléments disponibles (Guébré *et al.*, 2020; Zongo *et al.*, 2024).

Ainsi, sous l'hypothèse que l'aptitude chimique des sols reste contrôlée par les activités biologiques qui à leur tour, sont influencées par le type de sol et le niveau topographique ; cette étude se propose d'évaluer l'effet de la diversité des sols et du niveau topographique sur l'efficacité des activités microbiennes et le cycle du carbone. Spécifiquement, l'étude vise à évaluer d'une part, l'effet (i) de la typologie des sols et (ii) du niveau topographique sur le carbone total et minéralisable, la biomasse et l'activité microbienne des sols. D'autre part, elle vise à déterminer (iii) les éventuelles corrélations entre le niveau topographique, la typologie des sols et les paramètres microbiens.

Matériel et méthodes

Site d'étude

L'étude s'est déroulée dans le basfond de Lofing situé au Sud-Ouest du Burkina Faso (10°30'N, 3°15'W) sur une superficie de 31,46 ha. La zone est essentiellement cultivée en riz, mil, sorgho et maïs ; comprise entre les isohyètes 900 et 1200 mm. Elle appartient à la zone climatique de type soudanien et se caractérise par un relief accidenté (altitude moyenne de 450

m), une température moyenne annuelle de 27°C qui oscille entre un minimum de 21°C et un maximum de 32°C. Le réseau hydrographique appartient au bassin versant du fleuve Mouhoun avec un potentiel important de sites de barrages agricoles. La végétation est relativement dense et variée. Du nord au sud, on observe une évolution de la savane arborée vers la forêt claire et les galeries forestières le long des cours d'eau. Les aires à vocation strictement fauniques sont estimées à 271 000 ha.

Caractérisation morpho-pédologique du site

Au plan topographique, le bas-fond de Lofing a été divisé en trois niveaux dans le cadre de cette étude. Les différents niveaux étaient séparés par des pentes de 0 à 2% : niveau 1 (pente élevée), niveau 2 (pente moyenne) et niveau 3 (pente faible). Le niveau 1 (en amont) présente une dénivellée de 7 m et de 15 m, respectivement par rapport au niveau 2 et au niveau 3.

La méthode de prospection pédologique utilisée a été celle du quadrillage systématique à raison d'une fosse par hectare. Au total 33 fosses pédologiques ont été ouvertes manuellement à l'aide de pics et de pelles ainsi que leur environnement immédiat, ont été décrites selon les directives pour la description des sols de FAO (1994). La couleur de la matrice et celle des taches des différents horizons ou couches de sol ont été déterminées à l'état humide à l'aide de l'échelle colorimétrique de Munsell (Munsell Color Chart, 2000). Les sols ont été classifiés selon le système français (Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols, CPCS, 1967) (Duchaufour, 1972), et une correspondance à la classification (WRB, 2015) a été proposée (IUSS Working Group WRB, 2015). Par ailleurs, 14 fosses représentatives de principales unités pédologiques inventoriées ont été échantillonnées.

Prélèvements de sols et analyses de laboratoire

Les prélèvements d'échantillons de sols ont porté sur l'ensemble des horizons pour chaque fosse pédologique pour évaluer les horizons diagnostics et caractériser les sols. Au total, 43 échantillons ont été prélevés, soit en moyenne 3 par fosse pédologique. Par la suite, 40 autres échantillons prélevés à la tarière dans la couche 0-10 cm, ont permis de suivre la dynamique de minéralisation du carbone et les paramètres microbiens. Les différents échantillons ont été séchés à l'air libre, puis tamisés à 2 mm pour les analyses de laboratoire.

Le Carbone total (C_{total}) a été mesuré par une analyse élémentaire par combustion par voie sèche (Thermoflash 2000 N analyzer, Milan, Italy) adaptée à la norme NF ISO 10694. La granulométrie 5 fractions a été déterminée par la méthode internationale à la pipette de Robinson, le pH de la solution du sol à l'aide du pHmètre (sonde) dans une suspension sol-H₂O de rapport 1/2,5, l'azote total par la méthode Kjeldahl (Novozamsky *et al.*, 1983),

le phosphore assimilable par la méthode de Bray 1 (Van Reeuwijk, 2002) et la Capacité d'Echanges Cationiques (CEC) par extraction à l'acétate d'ammonium en milieu tamponné à pH(7).

La biomasse microbienne (BM) a été déterminée selon la méthode de (Jenkinson *et al.*, 1976) et (Chaussod *et al.*, 1986) à partir d'échantillons de sols fumigés et non fumigés de 24 heures environ. A partir de la détermination de la biomasse microbienne, le rendement microbien (R.M) a été calculée par le rapport BM/Carbone organique (en %). Les sols étant déficients en carbonates du fait de leur non réactivité à l'acide, on en déduit que le carbone total dans ces sols représente le carbone organique. Pour un type de sol donné, les faibles valeurs du rendement microbien pourraient traduire un environnement physique et/ou chimique défavorable (compaction, pH acide, manque de restitution organique).

Le potentiel de minéralisation du sol a été mesuré par la respiration du sol par la méthode de (Dommergues, 1960). La respiration du sol exprime l'activité biologique potentielle du sol qui dépend de la matière organique biodégradable présente. L'Indice de Minéralisation du carbone ($C_{\text{minéralisable}} / C_{\text{total}} * 100$) est la proportion de carbone « actif » pour 100 g de carbone total. Ainsi, un indice élevé correspondrait à de fortes restitutions organiques facilement dégradables. Le quotient métabolique exprime l'efficacité énergétique d'une communauté de microorganismes et correspond au rapport entre la respiration basale et la biomasse microbienne (Anderson *et al.*, 1978). Il caractérise l'état physiologique des microorganismes.

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont porté sur des statistiques descriptives. Les variations de la biomasse microbienne et de la respiration du sol ont été testées à l'aide de modèles linéaires généralisés (MLG). Ces modèles permettent d'ajuster une variable de réponse spécifiant sa distribution et sa fonction de lien. L'Analyse en Composante Principale (ACP) a été utilisée pour évaluer les éventuelles relations entre type de sol, niveau topographique et propriétés biologiques. La corrélation de Pearson a été utilisée comme test supplémentaire, afin de vérifier la relation entre les variables obtenues par l'ACP. Les tests de comparaison multiples de moyennes ont ensuite été effectués avec les contrastes de Tukey au seuil de 5%. Toutes ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel statistique R (3.5.2).

Résultats

Caractérisation morpho-pédologique du bas-fond

La caractérisation morpho-pédologique du bas-fond a permis de dégager deux types de sols dominants sur lesquels ont porté nos investigations. Il s'agit pour le premier type des sols Bruns Eutrophes Tropicaux

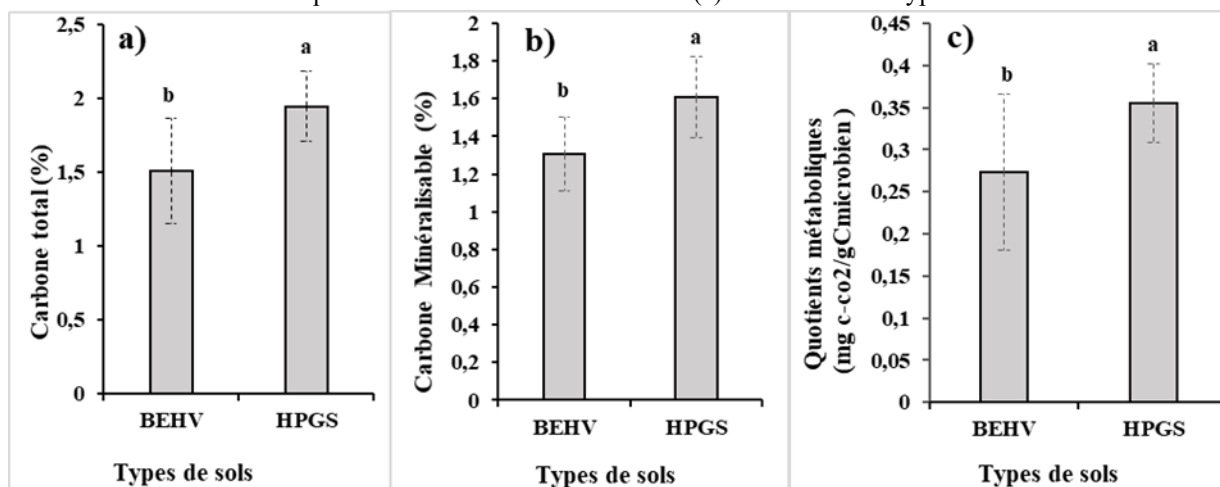
Hydromorphes Vertiques (BEHV), correspondant au Vertic Cambisol couvrant 17,71 ha soit 56,29% du bas-fond. Leur profondeur moyenne est de 109 cm avec des valeurs moyennes en azote total de 0,05%, en Capacité d'Echange Cationique (CEC) de 7,47 cmol/kg⁻¹ et un pH de 6,2. Le deuxième type concerne les sols Hydromorphes Peu Humifères à Pseudogley de Surface (HPGS), correspondant au Haplic Gleysol, couvrant 12,85 ha soit 40,85% du bas-fond. Leur profondeur moyenne est de 113 cm avec des valeurs moyennes en azote total de 0,05%, en Capacité d'Echange Cationique (CEC) de 7,3 cmol/kg⁻¹ et un pH de 6,15.

La texture est fine le long du solum (Argilo-sableuse) pour les deux types de sols. Dans les BEHV, la couleur est de type gris très foncé (10YR 3/1) en surface à brun grisâtre foncé (2,5Y 4/2) en profondeur avec 15% de taches brun vif (7,5YR 5/8) apparaissent dans les 60 premiers cm. Les HPGS présentent une couleur gris foncé (10YR 4/1) dans les horizons de surface, brun grisâtre foncé (10YR 4/2) dans les horizons médians et gris (10YR 5/1) dans les horizons de profondeur, avec 5 à 10% de taches brun vif (7,5YR 5/8) en surface et 20% de taches grisâtres (10YR 5/1) en profondeur.

Effet de la typologie des sols sur le carbone total et minéralisable, la biomasse et l'activité microbienne des sols

Les teneurs moyennes en carbone total et minéralisable ainsi que celles du quotient métabolique ont été significativement plus élevées ($p = 0,011$; 0,010 et 0,010 respectivement) dans les sols hydromorphes (HPGS) que dans les sols bruns (BEHV) (Fig. 1). Ces augmentations dans les sols hydromorphes ont été de +29% (carbone total), +22% (carbone minéralisable) et de +29% (quotient métabolique) comparativement aux sols bruns. Ainsi, l'analyse statistique de ces résultats relève des différences importantes sur le comportement du carbone dans les deux types de sols évalués.

Fig. 1 : Variation du carbone total (a), du carbone minéralisable (b) et du quotient métabolique de la communauté microbienne (c) en fonction des types de sol

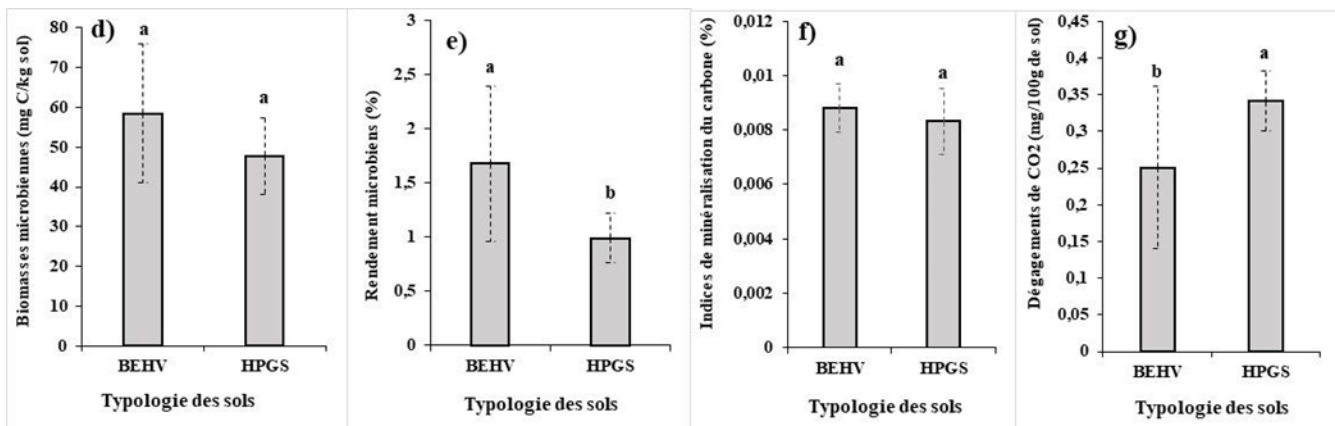


BEHV : Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques (Cambisols vertiques)

HPGS : Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface (Gleysols hapliques)

Les résultats sur la biomasse et le rendement microbien ont montré par contre des valeurs plus importantes dans les sols bruns par rapport aux sols hydromorphes (Fig. 2d et 2e). En effet, dans les sols bruns les teneurs en biomasses microbiennes ont augmenté de +22% et celle du rendement microbien de +69% comparativement aux sols hydromorphes. Cependant, au plan statistique, seules les augmentations en rendements microbiens ont été significatives ($p = 0,021$). En outre, l'indice de minéralisation du carbone n'a montré aucune différence statistique entre les deux types de sols, alors que les sols hydromorphes affichent une respiration microbienne significativement ($p = 0,045$) enlevée (+36%) par rapport aux sols bruns (Fig. 2f et 2g).

Fig. 2 : Variation de la biomasse microbienne (d), du rendement microbien (e), de l'indice de minéralisation du carbone (f) et de la respiration microbienne (g) en fonction des types de sol



BEHV : Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques (Cambisols vertiques)

HPGS : Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface (Gleysols hapliques)

Effets du niveau topographique sur le carbone total et minéralisable, la biomasse et l'activité microbienne des sols

L'analyse du niveau topographique sur le statut du carbone des sols a montré que le niveau 3 est plus favorable à l'accumulation du carbone total (CT), minéralisable (CM) ainsi qu'au développement d'un bon quotient métabolique (QM) (Fig. 3). En effet, comparativement au niveau 1 et 2, le niveau 3 a favorisé des augmentations en carbone total de +17% et +21%, respectivement. Ces augmentations en carbone minéralisable ont été similaires par rapport aux niveaux 1 et 2 (+17%). Concernant le quotient métabolique, le niveau 3 a favorisé son augmentation de +20% et +52% respectivement par rapport au niveau 1 et 2. Cependant, les tests de comparaison multiples de moyennes avec les contrastes de Tukey au seuil de 5%, n'ont révélé aucune différence statistique entre ces augmentations.

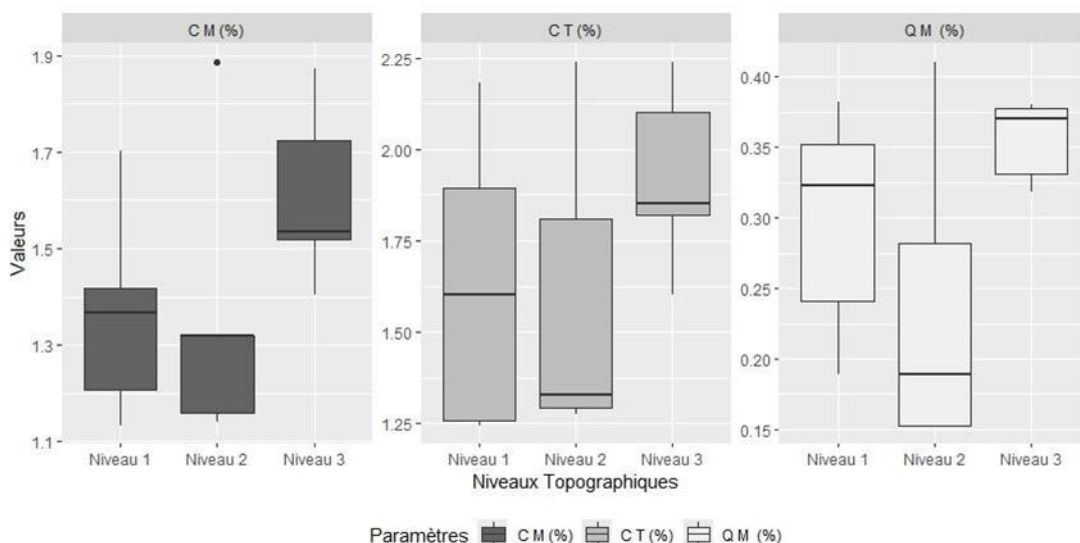


Fig. 3 : Variation du carbone minéralisable (CM), du carbone total (CT) et du quotient métabolique (QM) de la communauté microbienne en fonction du niveau topographique

Les valeurs se rapportant aux paramètres microbiens dans la Fig. 4 ont été relativement plus élevées pour au niveau 2 comparativement au niveau 1 et 3, exceptée la respiration microbienne (DCO₂). La biomasse microbienne (BM) a augmenté de +87% et de +67%, respectivement par rapport aux niveaux 1 et 3. Pour le rendement microbien (RM), ces augmentations ont été similaires (+1500%). Concernant l'indice de minéralisation du carbone (IMG), les augmentations ont été respectivement de +1% et +6%. En revanche, la respiration microbienne a été la plus basse au niveau 2, tout en évoluant similairement entre les niveaux 1 et 3. Les tests de comparaison multiples de moyennes avec les contrastes de Tukey au seuil de 5%, n'ont également révélé aucune différence statistique entre ces augmentations.

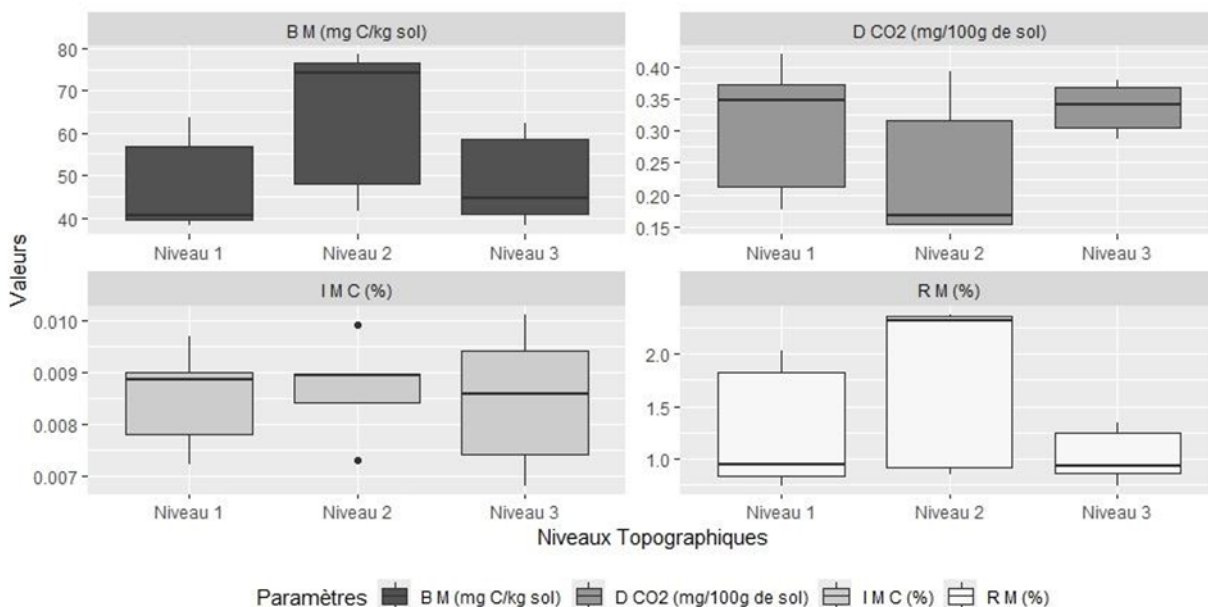


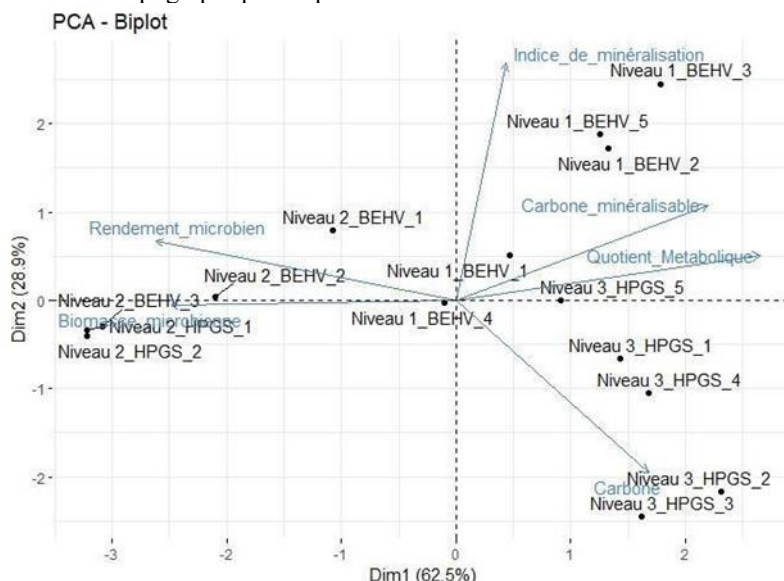
Fig. 4 : Variation de la biomasse microbienne (*BM*), de la respiration microbienne (*D.CO2*), de l'indice de minéralisation du carbone (*IMC*) et du rendement microbien (*RM*) en fonction du niveau topographique

Relation entre type de sol, niveaux topographiques et paramètres microbiens déterminés

Les valeurs de l'ACP indiquent que la première composante principale (Dim 1) et la seconde (Dim 2) expriment, respectivement, 74,72% et 15,37% de l'inertie totale, soit un total de 90,9% de la variabilité totale des données (Fig 5). Le graphique de la distribution des variables indique que l'indice de minéralisation, le quotient métabolique, la biomasse et le rendement microbiens ont fortement contribué à la formation des deux premiers axes (Dim 1 et Dim 2) (Fig. 5). Il y a une corrélation positive significative entre le carbone minéralisable et le quotient métabolique ($r = 0,82$) d'une part et une corrélation négative modérée entre le carbone minéralisable et la biomasse microbienne ($r = -0,56$) d'autre part.

L'analyse de la distribution des individus relève une différenciation des échantillons de sols selon le niveau topographique. Ainsi, les différences sont expliquées pour les HPGS au niveau 3 par un meilleur taux de C total alors que pour le BEHV au niveau 1 elles s'expliquent par une plus grande quantité de carbone minéralisable et un quotient métabolique plus élevé. Les BEHV au niveau 2 ont montré une plus grande quantité de biomasse et de rendement microbiens.

Fig. 5 : Analyses en Composantes Principales (ACP) entre types de sol, niveaux topographiques et paramètres microbiens déterminés



BEHV : Sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques (Cambisols vertiques)
HPGR : Sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface (Gleysols hapliques)

Discussion

La typologie des sols et le niveau topographique influent sur le carbone, la biomasse et l'activité microbiennes

Les sols hydromorphes ont présenté des valeurs plus élevées en carbone total et minéralisable, en quotient métabolique et en respiration microbienne par rapport aux sols bruns. Ces résultats traduisent une dégradation efficace de la matière organique dans les sols hydromorphes, reflétant une quantité importante de la fraction labile de la matière organique. D'autres travaux (Delannoy, 2019 ; Gnankambary *et al.*, 2008), ont montré que la fraction labile de la matière organique des sols constitue une source d'énergie immédiatement disponible pour les micro-organismes. En outre, les travaux de plusieurs auteurs (Li *et al.*, 2018a ; Liu *et al.*, 2019; Wang, 2019; Zhang *et al.*, 2018) confirment que la biomasse microbienne est influencée par la fraction labile du carbone totale des sols. Cette prédominance de la fraction labile du carbone dans les sols hydromorphes pourrait bien expliquer les valeurs élevées de CO₂ dégagés par la respiration microbienne et du quotient métabolique. Les résultats montrent que les sols hydromorphes ont une texture relativement plus fine que les sols bruns, justifiant ainsi leur capacité à conserver la fraction labile du carbone. Plusieurs travaux ont déjà évalué les effets de la texture du sol sur la rétention de la matière organique (Barthès *et al.*, 2008; Feller and Milleville, 1977; Tahirou *et al.*, 2022 ; Traoré *et al.*, 2022). Cette matière organique reste élevée dans les sols à texture argileuse et

faible dans les sols sableux. Cependant, la stabilité de la MOS dépend en particulier des teneurs et de la qualité des fractions minérales avec lesquelles elle forme des complexes organo-minéraux et où elle est protégée contre la dégradation (Dabre *et al.*, 2017). En outre, les multiples voies d'entrée du carbone dans les sols, ont été décrites comme des effets d'amorçage et dépendant principalement de la disponibilité initiale de l'azote (Li *et al.*, 2018b; Liu *et al.*, 2020). Ainsi, des études supplémentaires sur les activités enzymatiques et celles de la macrofaune du sol sont nécessaires au regard de leurs fonctions clés sur les processus de dégradation de la matière organique et de la structuration du sol (Guébré *et al.*, 2020).

En revanche, les valeurs élevées du quotient métabolique pourraient également traduire une mauvaise qualité du substrat et une faible efficacité métabolique (Böhme *et al.*, 2005). En effet, un quotient métabolique plus élevé dans les sols hydromorphes, témoigne des conditions environnementales plus stressantes pour les microorganismes des sols (Anderson *et al.*, 1978). Ainsi, il ressort des résultats que les sols hydromorphes pourraient présenter des conditions environnementales défavorables bien qu'une efficacité énergétique des microorganismes soit envisagée.

Concernant les sols bruns, ils ont montré des valeurs plus importantes en biomasse et en rendement microbiens comparativement aux sols hydromorphes. Dans un contexte de faible quantité de carbone labile, ce résultat traduirait un déficit des restitutions organiques ou des restitutions organiques inadaptées qui pourraient être contrôlées par des facteurs externes non maîtrisés (anthropiques, topographiques, structuraux). A propos, certains auteurs (Jones *et al.*, 2015; Nezomba *et al.*, 2017) affirment que la faible teneur en matière organique due à l'exportation des résidus, le surpâturage et le brûlage de la biomasse ; et le labourage excessif et la culture de terres marginales sont les causes de cette dégradation. Ainsi, l'évolution presque similaire de l'indice de minéralisation du carbone entre les deux types de sols rend la deuxième hypothèse sur les restitutions organiques inadaptées plus plausible. En effet, l'indice de minéralisation du carbone variant de 0 à 1%, traduirait une matière organique du sol majoritairement stable en condition non perturbée. De plus, les sols bruns sont connus pour abriter des horizons (B) structuraux et B texturaux pauvres en matière organique reposant sur un horizon plus profond, tassé, compact, très dense, que les racines pénètrent difficilement (Duchaufour, 1972). Ces défauts structuraux expliquent bien les déficits en restitutions organiques, donc en respiration microbienne.

Par ailleurs, le niveau topographique 3 (plus bas niveau) a enregistré les valeurs élevées en carbone et en quotient métabolique. Cela pourrait être lié à sa position topographique située en aval, justifiant ainsi une accumulation des particules fines et de matière organique en son sein. Ces propos corroborent ceux de certains auteurs (Bounouara, 2018; Matech *et al.*, 2014),

selon lesquels les teneurs en matière organique et en éléments fins augmentent d'amont en aval. Cependant la biomasse microbienne, le rendement microbien et l'indice de minéralisation du carbone restent plus élevés pour le niveau topographique 2 (niveau intermédiaire). Cela pourrait s'expliquer par le fait que la fraction labile du carbone totale serait plus élevée dans le niveau intermédiaire dépendant ainsi du type de sol en présence. De plus, une influence des apports organiques latéraux (colluviaux) pourrait justifier ce résultat. En effet, ce type d'apport s'illustre par des apports de feuilles ou de débris de bois et de matières organiques transformés lors de leur transport. Ces dernières se caractérisent par un stade de maturation plus élevé que les composés dont ils sont issus (Albergel *et al.*, 2004). Selon le même auteur, le taux de matières organiques dans les sols de ce niveau topographique, est généralement supérieur à celui des sols d'origine.

Relation entre type de sol, niveaux topographiques et paramètres microbiens

Les résultats de l'Analyses en Composantes Principales montrent que le carbone minéralisable au niveau topographique 1, reste fortement lié aux sols bruns. Hormis l'influence remarquable des apports organiques colluviaux suggérée par Albergel *et al.* (2004), ce résultat montre bien l'effet conjugué du niveau topographique et de la typologie des sols sur la disponibilité des fractions fines du carbone. Les apports latéraux généralement plus persistants, pourraient interagir fortement avec l'ensemble de la matrice sédimentaire créant une protection contre les attaques microbiologiques. Ils peuvent donc se complexer avec les métaux, interagir avec les argiles pour former le complexe argilo-humique, justifiant la corrélation positive entre le carbone minéralisable et le quotient métabolique à ce niveau topographique. Toutefois, les changements de structure et de constituants survenant dans les sols pourraient être contrôlés par d'autres facteurs tels que l'espace poral, la dispersion et le lessivage (Schäffer *et al.*, 2008).

La corrélation négative entre le carbone minéralisable et la biomasse microbienne, ainsi que les valeurs élevées des biomasse et rendements microbiens enregistrées au niveau topographique 2 ; suggèrent des interactions spécifiques variant d'un type de sol à un autre (Guébré *et al.*, 2024; Lehmann *et al.*, 2003). En outre, le niveau topographique 2 situé en aval du niveau topographique 1 pourrait bénéficier d'une accumulation de dépôts organiques issus du niveau topographique 1. De même, ces constats expliquent bien les quantités de carbone total enregistrées au niveau topographique 3 qui aurait bénéficié des dépôts organiques successifs issus des niveaux supérieurs. Ainsi, nos résultats mettent en évidence le rôle clé de la topographie et du type de sol sur le devenir de la matière organique.

Conclusion

Cette étude a révélé que les sols hydromorphes présentent une meilleure teneur en carbone organique mais dans des conditions environnementales peu favorables à l'accroissement des microorganismes. En revanche, les sols bruns sont favorables à la vie microbienne mais leur teneur en carbone labile reste sensible au niveau topographique et aux changements structuraux. De manière significative, il ressort que la nature des sols conjuguée au niveau topographique, influent significativement sur les propriétés microbiennes et la qualité de la matière organique des sols. La fraction labile du carbone organique plus concentrée dans les niveaux topographiques élevé et intermédiaire, traduit l'importance des apports latéraux dans la fourniture des formes biodégradables aux sols environnants. Ainsi, l'interaction entre la nature du sol et le niveau topographique peut être déterminante dans le cycle du carbone organique des sols en contexte de bas-fonds sud-soudaniens.

Contributions des auteurs

Bintou Céline Sanou était l'investigateur principal et a participé à toutes les étapes de l'étude et de la rédaction du manuscrit. Daouda Guébré a contribué à la rédaction du manuscrit final. Edmond Hien a assuré la direction scientifique de ce travail et la correction du manuscrit.

Remerciements

Les auteurs remercient les responsables et le personnel de la Fondation Dreyer à Dano ainsi que les producteurs du bas-fond de Lofing.

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. Albergel, J., Nasri, S., Boufaroua, M., Droubi, A. & Merzouk, A.A.J.S.e.c.p.S. (2004). Petits barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures aval: exemples des petits barrages en Afrique du Nord et au Proche-Orient. Science et changements planétaires / Sécheresse, 15(1): 78-86.

2. Anderson, J. P., & Domsch, K. H. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil biology and biochemistry*, 10(3), 215-221.
3. Barthès, B. G., Kouakoua, E., Larré-Larrouy, M. C., Razafimbelo, T. M., de Luca, E. F., Azontonde, A., & Feller, C. L. (2008). Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma*, 143(1-2), 14-25.
4. Bayala, J., Mando, A., Teklehaimanot, Z. and Ouedraogo, S.J., (2005). Nutrient release from decomposing leaf mulches of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) under semi-arid conditions in Burkina Faso, West Africa. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(3): 533-539.
5. Böhme, L., Langer, U., Böhme, F.J.A., (2005). Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. *Ecosystems and Environment*, 109(1-2): 141-152.
6. Bounouara, Z. (2018). Origine et évolution de la matière organique dans les sols des zones subhumides (Doctoral dissertation, Université Batna 1) 140 p.
7. Chahal, I., Peng, Y., Hooker, D. C., & Van Eerd, L. L. (2024). Long-term tillage and crop rotation effects on soil carbon and nitrogen stocks in southwestern Ontario. *Canadian Journal of Soil Science. Can. J. Soil Sci.* 105: 1–10
8. Chaussod, R., Nicolardot, B. and Catroux, G.J.S.d.s., (1986). Mesure en routine de la biomasse microbienne des sols par la méthode de fumigation au chloroforme. (2): 201-211.
9. Dabre, A., Hien, E., Some, D., & Drevon, J. J. (2017). Effets d'amendements organiques et phosphatés sous zaï sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et la qualité de la matière organique en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1), 473-487.
10. Delannoy, M., (2019). Détermination de la fraction de matière organique la plus active dans le relargage d'azote au sein d'un sol de culture. Université de Liège: 117.
11. Doetterl, S., Stevens, A., Six, J., Merckx, R., Van Oost, K., Casanova Pinto, M., & Boeckx, P. (2015). Soil carbon storage controlled by interactions between geochemistry and climate. *Nature Geoscience*, 8(10), 780-783.
12. Dommergues, Y. (1960). Notion of the coefficient of mineralization of soil carbon. *Agron. trop.*, 1960, Vol. 15, 54-60

13. FAO, (1994). Directives pour la description des sols. (3ème édn), Service des sols-ressources, aménagement et conservation, Division de la mise en valeur des terres et des eaux. FAO, ISRIC, 75.
14. Feller, C. and Milleville, P., (1977). Evolution des sols de défriche récente dans la région des terres neuves (Sénégal Oriental). Cahier ORSTOM, Série Biologie, 12(3): 199-211.
15. Gao, J., & Wang, H. (2019). Temporal analysis on quantitative attribution of karst soil erosion: A case study of a peak-cluster depression basin in Southwest China. *Catena*, 172, 369-377.
16. Gnankambary, Z., Bayala, J., Malmer, A., Nyberg, G., & Hien, V. (2008). Decomposition and nutrient release from mixed plant litters of contrasting quality in an agroforestry parkland in the south-Sudanese zone of West Africa. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 82, 1-13.
17. Guébré, D., Traoré, S., Hien, E., Somé, D., Bationo, B. A., & Wiesmeier, M. (2020). Soil macrofaunal activity, microbial catabolic limitations and nutrient cycling in cropping systems amended with woody residues and nitrogen inputs. *Pedobiologia*, 83, 150686.
18. Guébré, D., Traoré, S., Zongo, K. F., & Hien, E. (2024). Sorghum and cowpea intercropping response to woody residue amendments in Sahelian agro-ecosystems of Burkina Faso. *Geoderma Regional*, 37, e00781.
19. Ilboudo, A., Savadogo, M. O., Kabore, F., Some, D., Kabore, J. N., Hien, E., & Traore, S. (2023). Typologie et caractérisation morphopédologique des sols de bas-fonds soudano-sahéliens: cas du sous-bassin versant du Nakanbé-Dem au Centre-nord du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(3), 1269-1287.
20. IUSS Working Group WRB, (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 106, FAO, Rome.
21. Jenkinson, D. S., & Powlson, D. S. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V: A method for measuring soil biomass. *Soil biology and Biochemistry*, 8(3), 209-213.
22. Jones, A., Breuning-Madsen, H., Brossard, M., Dampha, A., Deckers, J., Dewitte, O., & Jones, R. (Eds.). (2015). Atlas des sols d'Afrique. Publications Office.
23. Khemiri, K., & Jebari, S. (2021). Évaluation de l'érosion hydrique dans des bassins versants de la zone semi-aride tunisienne avec les modèles RUSLE et MUSLE couplés à un Système d'information géographique. *Cahiers Agricultures*, 30, 7.
24. Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an

- archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and soil*, 249, 343-357.
25. Li, L.-J., Zhu-Barker, X., Ye, R., Doane, T.A. and Horwath, W.R., (2018a). Soil microbial biomass size and soil carbon influence the priming effect from carbon inputs depending on nitrogen availability. *Soil Biology and Biochemistry*, 119: 41-49.
 26. Li, L., Xu, M., Eyakub Ali, M., Zhang, W., Duan, Y., & Li, D. (2018). Factors affecting soil microbial biomass and functional diversity with the application of organic amendments in three contrasting cropland soils during a field experiment. *PloS one*, 13(9), e0203812.
 27. Liu, M., Qiao, N., Xu, X., Fang, H., Wang, H., & Kuzyakov, Y. (2020). C: N stoichiometry of stable and labile organic compounds determine priming patterns. *Geoderma*, 362, 114122.
 28. Liu, X., F Zhou, G Hu, S Shao, H He, W Zhang, X Zhang, & L Li, (2019). Dynamic contribution of microbial residues to soil organic matter accumulation influenced by maize straw mulching. *Geoderma*, 333: 35-42.
 29. Lompo, F., Segda, Z., Gnankambary, Z., & Ouandaogo, N. (2009). Influence des phosphates naturels sur la qualité et la biodégradation d'un compost de pailles de maïs. *Tropicultura*, 27(2), 105-109.
 30. Matech, F., Zaakour, F., Moustarihfer, K., Chems, Z., Benazzouz, I., & Saber, N. (2014). Concentrations en éléments traces métalliques dans les sols irrigués par les eaux usées versées dans l'oued merzeg (Casablanca--Maroc). *European Scientific Journal*, 10(29).
 31. Nezomba, H., Mtambanengwe, F., Tittone, P., & Mapfumo, P. (2017). Practical assessment of soil degradation on smallholder farmers' fields in Zimbabwe: Integrating local knowledge and scientific diagnostic indicators. *Catena*, 156, 216-227.
 32. Novozamsky, I., Houba, V.J.G., Eck & Vark, (1983). A novel digestion technique for multi-element analysis, 14.
 33. Pallo, F. J. P., Sawadogo, N., Sawadogo, L., Sedogo, M. P., & Assa, A. (2008). Statut de la matière organique des sols dans la zone sud-soudanaise au Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2008 12(3), 291-301
 34. Sanou, B. C., & Hien, E. (2022). Constraints of rice production in the sudano-Sahelian zone: the case of the Lofing lowland, South-West Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 16, No. 6, 2573-2584
 35. Schäffer, B., Schulin, R., & Boivin, P. (2008). Changes in shrinkage of restored soil caused by compaction beneath heavy agricultural machinery. *European Journal of Soil Science*, 59(4), 771-783.

36. Tahirou, S., Zerbo, P., Ouattara, S., & Ado, M. N. (2022). Caractérisation des paramètres physico-chimiques du sol de la zone rizicole de Saga (Niamey) dans la vallée du fleuve Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(2), 842-854.
37. Traoré, S., Guébré, D., Hien, E., Traoré, M., Lee, N., Lorenz, N., & Dick, R. P. (2022). Nutrient cycling and microbial responses to termite and earthworm activity in soils amended with woody residues in the Sudano-Sahel. *European Journal of Soil Biology*, 109, 103381.
38. Traoré, S., Ouattara, K., Ilstedt, U., Schmidt, M., Thiombiano, A., Malmer, A., & Nyberg, G. (2015). Effect of land degradation on carbon and nitrogen pools in two soil types of a semi-arid landscape in West Africa. *Geoderma*, 241, 330-338.
39. Van Reeuwijk, L.P., (2002). Procedures for Soil Analysis. 9, ISRIC-Word Soil Information, Wageningen, Netherlands.
40. Wang, J., (2019). Soil carbon fractions in response to straw mulching in the Loess Plateau of China. *Biology and fertility of soils*, 54(4): 423-436.
41. Zhang, T.a., Luo, Y., Chen, H.Y.H. and Ruan, H., (2018). Responses of litter decomposition and nutrient release to N addition: A meta-analysis of terrestrial ecosystems. *Applied Soil Ecology*, 128: 35-42.
42. Zongo, K. F., K Dabiré, SA Kaboré, M Tondé, D Guébré, A Sanon, & E Hien. (2024). Effects of organic compost and trichoderma harzianum spores on soil fertility and agronomic performance of Soybean (*Glycine Max (L.) Merr.*). *International Journal of Environment and Climate Change* 14 (9):705-17.
43. Sanou, B. C., & Hien, E. (2022). Constraints of rice production in the sudano-Sahelian zone: the case of the Lofing lowland, South-West Burkina Faso.

Invagination intestinale chronique chez des enfants de 13 et 8 ans : cas cliniques

Talboussouma S.M.

Université de Kara, Faculté des Sciences de la Santé, Laboratoire de
Recherche en Santé de l'Enfant, Département de Pédiatrie

Folly A.

Université de Kara, Faculté des Sciences de la Santé, Laboratoire de
Recherche en Santé de l'Enfant, Département de Chirurgie

Segbedji K.A.R.

Tchagbele O-B.

Kombieni K.

Université de Kara, Faculté des Sciences de la Santé, Laboratoire de
Recherche en Santé de l'Enfant, Département de Pédiatrie

Opekou D.F.

Boume M.A.

Université de Kara, Faculté des Sciences de la Santé, Laboratoire de
Recherche en Santé de l'Enfant, Département de Chirurgie

Azoumah K.D.

Université de Kara, Faculté des Sciences de la Santé, Laboratoire de
Recherche en Santé de l'Enfant, Département de Pédiatrie

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p172](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p172)

Submitted: 01 May 2025

Accepted: 15 July 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Talboussouma, S.M., Folly, A., Segbedji, K.A.R., Tchagbele, O-B., Kombieni, K., Opekou, D.F., Boume, M.A. & Azoumah K.D. (2025). *Invagination intestinale chronique chez des enfants de 13 et 8 ans : cas cliniques*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 172. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p172>

Résumé

L'invagination intestinale chronique (IIC) est une forme rare de pathologie digestive, surtout chez les enfants plus âgés et les adolescents. Elle se manifeste par des douleurs abdominales intermittentes et non spécifiques, ce qui en complique le diagnostic. Cette étude rapporte deux cas cliniques d'IIC chez un adolescent de 13 ans et un enfant de 8 ans, tous deux hospitalisés au CHU de Kara au Togo. Les deux patients présentaient des douleurs

abdominales évoluant depuis plusieurs semaines, associées à une altération de l'état général et une dénutrition. L'échographie abdominale a permis d'identifier l'invagination, confirmée ensuite par une laparotomie. Dans les deux cas, une invagination iléo-caeco-colique avec zones de nécrose intestinale a été observée, nécessitant une résection intestinale suivie d'une anastomose. L'évolution postopératoire a été favorable, et l'analyse histologique n'a révélé aucune lésion maligne. Ces observations soulignent la nécessité d'évoquer une IIC devant des douleurs abdominales récurrentes chez les enfants plus âgés, même en l'absence de symptômes classiques. Le diagnostic précoce repose sur l'imagerie, et la chirurgie demeure le traitement de référence, surtout dans les contextes de ressources limitées.

Mots-clés: Invagination intestinale, boudin d'invagination, désinvagination, résection, adolescent, Kara

Chronic Intestinal Invagination in Children Aged 8 and 13 Years: A Case Study

Talboussouma S.M.

Université de Kara, Faculté des Sciences de la Santé, Laboratoire de
Recherche en Santé de l'Enfant, Département de Pédiatrie

Folly A.

Université de Kara, Faculté des Sciences de la Santé, Laboratoire de
Recherche en Santé de l'Enfant, Département de Chirurgie

Segbedji K.A.R.

Tchagbele O-B.

Kombieni K.

Université de Kara, Faculté des Sciences de la Santé, Laboratoire de
Recherche en Santé de l'Enfant, Département de Pédiatrie

Opekou D.F.

Boume M.A.

Université de Kara, Faculté des Sciences de la Santé, Laboratoire de
Recherche en Santé de l'Enfant, Département de Chirurgie

Azoumah K.D.

Université de Kara, Faculté des Sciences de la Santé, Laboratoire de
Recherche en Santé de l'Enfant, Département de Pédiatrie

Abstract

Chronic intestinal intussusception (CII) is a rare form of digestive pathology, particularly in older children and adolescents. It presents with intermittent and nonspecific abdominal pain, which makes the diagnosis

challenging. This study reports two clinical cases of CII: one in a 13-year-old adolescent and the other in an 8-year-old child, both hospitalized at the University Hospital of Kara in Togo. Both patients had been experiencing abdominal pain for several weeks, accompanied by general deterioration and malnutrition. Abdominal ultrasound allowed identification of the intussusception, which was then confirmed via laparotomy. In both cases, ileocecolic intussusception with areas of intestinal necrosis was observed, requiring intestinal resection followed by an anastomosis. Postoperative recovery was favorable, and histological analysis revealed no malignant lesions. These cases highlight the importance of considering CII in the differential diagnosis of recurrent abdominal pain in older children, even in the absence of classic symptoms. Early diagnosis relies on imaging, and surgery remains the treatment of choice, particularly in low-resource settings.

Keywords: Intestinal intussusception, Intussusception mass, Reduction of intussusception, Resection, Adolescent, Kara

Introduction

L'invagination intestinale est une affection dans laquelle une portion de l'intestin s'insère dans une portion adjacente, de manière analogue à un télescopage, entraînant une obstruction intestinale partielle ou complète, une ischémie, voire une nécrose si elle n'est pas traitée rapidement (Bines, 2004). L'invagination intestinale aiguë est une pathologie du nourrisson de 3 à 24 mois chez qui elle constitue la première cause d'occlusion intestinale aiguë (Boumas, 2022). Dans cette tranche d'âge, son origine est idiopathique dans plus de 90% des cas (Bines, 2002 ; Rakotoarisoa, 2001). L'invagination chronique est une entité clinique distincte, caractérisée par des crises intermittentes de douleurs abdominales durant plus de 14 jours (Sarhou, 2003); les autres symptômes de l'invagination aiguë peuvent ne pas être présents. Une caractéristique clinique impressionnante est la perte de poids significative due à une anorexie et des vomissements de longue durée (Yalamarhi, 2005). L'invagination intestinale chronique, rare dans l'enfance, révèle souvent une pathologie organique (Sarhou, 2003). Si cette affection ne s'observe que très rarement dans les pays développés, elle est au contraire relativement fréquente en Afrique et notamment en zones intertropicales (Yalamarhi, 2005). Les raisons de ces différences géographiques sont inconnues mais certains facteurs tels que la diététique et les parasites sont évoqués (Yalamarhi, 2005). Dans les pays à ressources limitées, le diagnostic est tardif (Boumas, 2022 ; Bines, 2002) et de ce fait, la prise en charge limitée seulement à la chirurgie (Tsushimi, 2006). L'objectif de ce travail est de rapporter deux cas d'invagination intestinale chronique observés chez des enfants plus âgés, hospitalisés au Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de

Kara, du fait de sa rareté apparente et de souligner les particularités cliniques, diagnostiques et thérapeutiques.

Observation 1

S. M. adolescent de 13 ans, élève résidant en zone rurale à la frontière Togo-Bénin et sans antécédent particulier, admis dans le service de pédiatrie du CHU Kara pour douleurs abdominales diffuses. Le début remonterait à 2 mois avant l'admission marqué par des douleurs abdominales paroxystiques diffuses à type de crampes associées à une fièvre, des selles glairo-sanguinolentes et à des vomissements. Ce syndrome abdominal a été résolutif après des consultations dans des centres de santé de la localité puis entrecoupé d'épisodes douloureux paroxystiques jusqu'au jour de son hospitalisation motivée par l'altération de l'état général, l'accentuation des douleurs. A l'admission, l'examen clinique a noté un abdomen de volume normal, douloureux dans son ensemble avec une masse douloureuse épigastrique s'étendant dans l'hypochondre droit suivant le péristaltisme. Le patient était apyrétique. Le reste de l'examen clinique avait noté une dénutrition aiguë sévère, une altération de l'état général. L'examen biologique a montré une hypochlorémie à 95,8 mmol/l et une anémie microcytaire hypochrome avec un taux d'hémoglobine (TH) à 10,3g/dl. La sérologie au VIH, la coproculture, le GeneXpert du liquide gastrique étaient négatifs. L'échographie abdominale a montré une image classique du boudin d'invagination intestinale en région épigastrique (figure 1). Le boudin d'invagination est une masse palpable, généralement fusiforme ou cylindrique, formée par l'enchevêtrement d'un segment de l'intestin qui s'est invaginé (pénétré) dans un autre segment adjacent. Il est souvent perceptible à la palpation abdominale lors de l'examen physique chez un enfant atteint d'invagination intestinale aiguë.

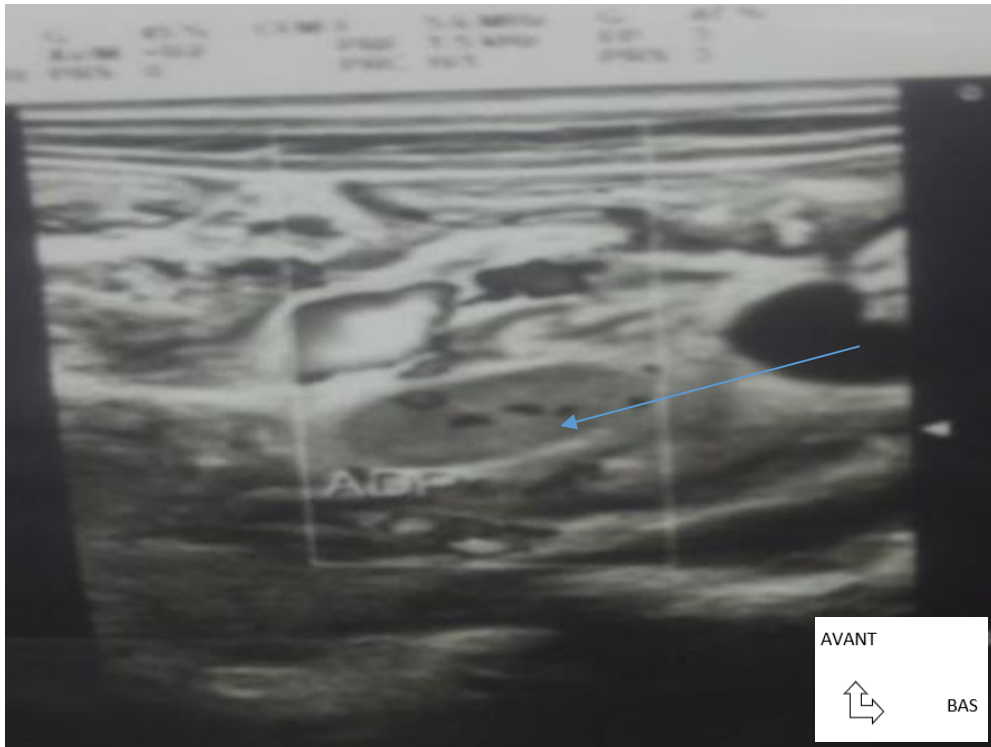


Figure 1 : Coupe longitudinale montrant l'image du boudin d'invagination en forme de pseudo rein

L'enfant a été transféré dans le service de chirurgie pédiatrique où il a bénéficié d'une laparotomie le même jour. A l'exploration, il a été retrouvé une invagination iléo-caeco-colique transverse. Une désinvagination manuelle par taxis a été faite permettant d'objectiver la dernière anse iléale d'aspect noirâtre par endroit et des ADP mésentériques. La désinvagination manuelle est une technique chirurgicale qui consiste à réduire manuellement une invagination intestinale, c'est-à-dire à remettre en place le segment d'intestin invaginé dans le segment qui le contenait.

Une résection emportant la zone de nécrose a été faite suivie d'une anastomose iléo-colique termino-terminale (figure 2). Les suites opératoires étaient simples. La sortie de l'hôpital a eu lieu 10 jours après l'intervention chirurgicale. L'examen anatomopathologique ne montrait aucune lésion de malignité.



Figure 2 : Zone de nécrose réséquée (flèche)

Observation 2

I.Y. écolier de 8 ans résidant également en milieu rural à la frontière Togo-Bénin, sans antécédent particulier admis dans le service de pédiatrie pour des douleurs abdominales paroxystiques dans un contexte non fébrile. Le début remonterait à 6 semaines avant l'admission par des douleurs abdominales péri ombilicales à type de crampes. Il n'y avait pas de notion de diarrhées ni de selles glairo-sanguinolentes ni de vomissements ni de fièvre. Il a été traité dans un centre de santé de la localité avec amendement partiel des symptômes. C'est devant la réapparition des symptômes avec arrêt des matières qu'il a été référé au CHU Kara pour une meilleure prise en charge. L'examen à l'entrée a noté une altération de l'état général, une dénutrition aigue modérée, un abdomen de volume normal avec une masse sus ombilicale molle s'étendant de l'hypochondre droit à l'hypochondre gauche avec des mouvements de reptation intermittents. Il y avait un cri de l'ombilic. Le toucher rectal a noté un cri du Douglas. L'ampoule rectale était pleine de selles. L'échographie abdominale était en faveur d'une invagination intestinale aiguë (figure 3). La radiographie de l'abdomen sans préparation (ASP) montrait des niveaux hydro-aériques mixtes (figure 4).



Figure 3 : Coupe axiale montrant une image de pseudo rein du boudin d’invagination avec dilatation des anses (flèche)

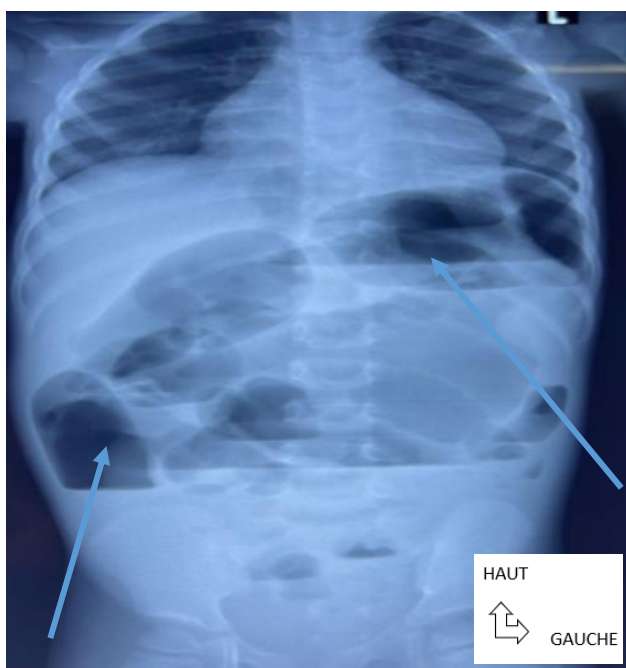


Figure 4 : Radiographie de l’Abdomen sans préparation montrant des des NHA mixtes

Le GeneXpert du liquide de tubage gastrique, la sérologie au VIH se sont révélés négatifs ainsi que la coproculture. L'enfant a été alors transféré dans le service de chirurgie pédiatrique où une laparotomie a été faite le même jour. A l'exploration, il a été retrouvé une invagination iléo-caeco-colique descendant. Une désinvagination par taxis a été faite permettant de retrouver une nécrose allant de l'iléon terminal au tiers distal du côlon ascendant. Une résection emportant la zone de nécrose a été faite suivie d'une anastomose iléo-colique termino-terminale (figure 5). Les suites opératoires étaient simples. Il a été libéré 6 jours après la laparotomie. L'histologie n'avait montré aucune lésion maligne.

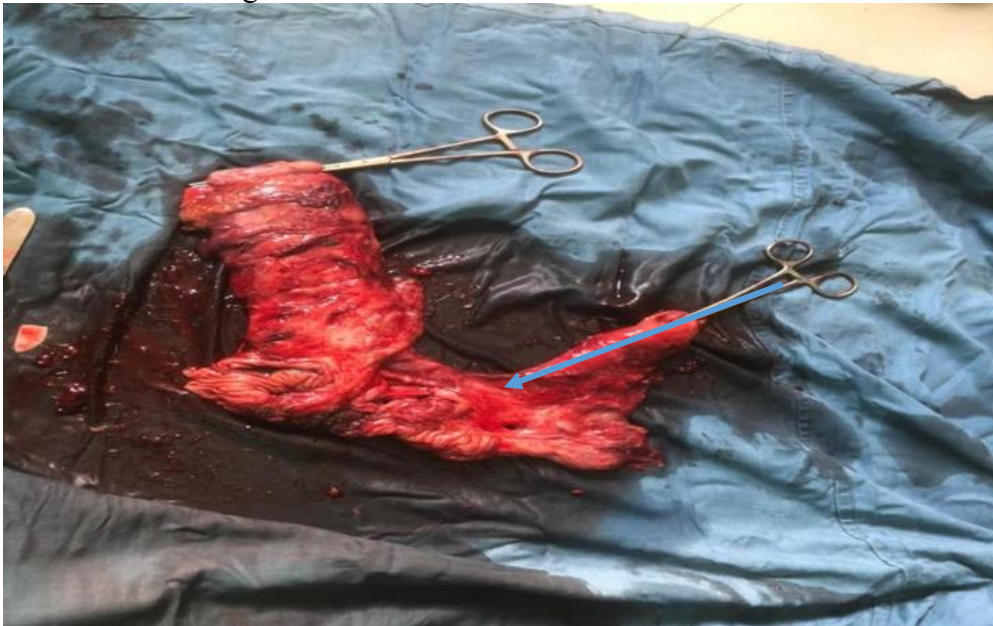


Figure 5 : portion terminale de l'iléon, du caecum et du tiers distal du côlon ascendant reséqués

Discussion

L'invagination intestinale est fréquente chez le nourrisson de moins de 2 ans où elle constitue une urgence chirurgicale. Classiquement, la forme chronique est beaucoup plus rare représentant 5,2% des cas (Macauley, 1955). Elle est beaucoup plus fréquente chez les enfants de plus d'un an représentant 10,03% (Macauley, 1955). Il s'est avéré être une affection touchant plus le sexe masculin que féminin (Lebeau, 2006).

La première invagination intestinale a été décrite par Barbette d'Amsterdam en 1674 (De Moulin, 1985). Cependant, c'est en 1871 que Sir Jonathan Hutchinson a réalisé la première intervention chirurgicale d'invagination intestinale. Si cette affection ne s'observe que très rarement dans les pays développés, elle est au contraire relativement fréquente en

Afrique et notamment en zones intertropicales. La fréquence relativement élevée dans les pays tropicaux s'expliquerait par la prévalence des pathologies intestinales comme les salmonelloses et les parasitoses chroniques (Gentilini, 1993). Ces deux pathologies étant alors intriquées, la gastroentérite faisant le lit de l'invagination, ceci expliquerait l'itinéraire de ces enfants qui avaient tout d'abord consulté dans des centres de santé de leur localité dès les premiers signes de leur pathologie. Une étude réalisée en 2012 au CHU Tokoin au Togo avait noté un délai moyen de consultation de 7,8 heures après que les enfants aient transité dans les centres de santé qui ne possédaient souvent pas l'expertise nécessaire pour le diagnostic (Boume, 2012). L'on se rend compte que ce n'est pas un retard de consultation mais de diagnostic influencé par le caractère trompeur de la gastro-entérite dont les conséquences sont parfois dramatiques.

La symptomatologie clinique est polymorphe et le plus souvent trompeuse : tableau occlusif aigu, tableau subocclusif de survenue progressive s'étendant de quelques jours à quelques semaines, syndromes abdominaux non spécifiques (modification du transit, douleurs abdominales diffuses, saignements digestifs), évoluant parfois pendant plusieurs mois, avec ou sans altération de l'état général (Abou-Nukta, 2007). La constatation à l'examen physique du malade, d'une masse abdominale est un signe de grande valeur d'autant plus significatif lorsque son siège ou sa consistance varie lors d'examens successifs. Une fois sur deux en moyenne, lorsqu'on est appelé à voir le malade en pleine crise, si le pannicule adipeux et le ballonnement abdominal ne sont pas trop importants, et si le relâchement musculaire de la paroi est suffisant, on sentira la tuméfaction correspondante au boudin d'invagination. On le cherchera soigneusement en décubitus latéral droit et gauche, en décubitus dorsal et en position de Trendelenburg (Tabrizian, 2010).

Les patients de nos observations présentaient des douleurs paroxystiques depuis plus d'un mois ayant précédé un syndrome subocclusif. Ils ont été traités pour des gastroentérites avec rémission partielle. La présente crise douloureuse abdominale qui a été le motif de consultation au CHU Kara ne serait-elle pas une crise aiguë se greffant sur un fond chronique évoluant par intermittence ? C'est ce que confirme Mondor pour qui la forme aiguë serait le stade ultime de l'invagination chronique pour laquelle un diagnostic précoce n'aurait pas été fait (Mondor, 1930). Par ailleurs, contrairement à la forme aiguë plus fréquente chez le nourrisson, l'invagination chronique se distingue par une symptomatologie atypique, souvent intermittente, retardant le diagnostic (Marinis, 2009). Dans nos observations, les patients présentaient des douleurs abdominales récurrentes, une dénutrition, une altération de l'état général qui sont des signes évocateurs mais non spécifiques.

Le diagnostic se fait essentiellement par l'échographie abdominale qui est un examen fiable et paraît prometteuse pour le diagnostic d'invagination

intestinale (Baud, 2012). Elle donne typiquement en coupe longitudinale une image en cible avec deux anneaux hypoéchogènes périphériques et un anneau central hyperéchogène, et en coupe transversale une image en « sandwich », avec trois cylindres superposés, qui correspond au boudin d'invagination (Baud, 2012). Dans notre cas, il a été mis en évidence un boudin d'invagination chez les 2 patients réalisant un aspect de pseudo rein associé à une dilatation des anses intestinales.

Anatomiquement, la forme iléo-iléale est la forme la plus rencontrée chez l'adulte. Ce qui est superposable au grand enfant. Les études de Lebeau (Macauley, 1955) confirment cette tendance avec une fréquence de 40% rapportée. Contrairement aux formes primitives du nourrisson, une lésion organique retrouvée est souvent située au niveau de l'intestin grele ou du colon dans plus de 80% des cas chez l'adulte.

D'autres auteurs avaient rapporté des cas d'invagination intestinale chronique chez des enfants de plus de 3 ans dont l'analyse des selles ont montré des parasites telles que l'*ascaris lumbricoides* (Nikolić, 2011) ou des bactéries telles que *Yersinia* (May, 2014), *enterobacter cloacae* (Mujinga, 2016). Ce qui n'a pas été le cas avec nos patients où toutes les coprocultures se sont révélées négatives. Cependant, la fièvre au début de la maladie dans la première observation et la vie en milieu rural avec l'hygiène souvent précaire pourrait laisser penser à une infection du tube digestif telle qu'une fièvre typhoïde, une amibiase digestive, les parasitoses intestinales ou les oxyuroses. Les examens paracliniques se sont révélés tous négatifs. Ceci pourrait être dû aux traitements antibiotiques et antiparasitaires probablement dans les autres centres au début de la maladie.

Le lavement hydrostatique ou pneumatique surveillé par scopie (irradiation) ou par échographie a actuellement un intérêt plus thérapeutique que diagnostique en l'absence de contre-indication (perforation) (Baud, 2012). Il n'est pas accessible dans le contexte à ressources limitées où la résection chirurgicale/manuelle est encore la seule option thérapeutique liée le plus souvent au retard diagnostique (Boumas, 2022). Une résection plus ou moins étendue peut être nécessaire (Macauley, 1955). Le traitement dans notre cas a été exclusivement la résection. Une grande partie de l'intestin était nécrosée. Cela est dû à un retard diagnostique vu le parcours des patients depuis la première crise de douleur abdominale. Pour d'autres auteurs, la résection chirurgicale est plutôt due à un retard de consultation. Le patient étant souvent vu à un stade déjà avancé de la maladie (Rakotoarisoa, 2021). Le recours à une désinvagination est licite dans les formes idiopathiques. A cette désinvagination est associée, une appendicectomie de principe.

Conclusion

L'invagination intestinale chronique est une pathologie rare chez le grand enfant et l'adolescent caractérisée par des épisodes de douleurs abdominales intermittentes et non spécifiques, retardant le diagnostic. Contrairement aux formes aiguës elle évolue de manière insidieuse. L'échographie et le scanner restent indispensables pour poser le diagnostic. Une étiologie organique est fréquemment identifiée chez les adolescents justifiant une exploration chirurgicale. Cependant dans les pays démunis les entérites bactériennes et parasitaires peuvent être des causes d'invagination intestinale chronique bien que ce soit rare. Ces cas soulignent l'importance d'une vigilance clinique face à des douleurs abdominales récurrentes, même en dehors de l'âge habituel d'apparition de l'invagination. Une meilleure sensibilisation des soignants et un accès facilité à l'imagerie abdominale pourraient permettre un diagnostic plus précoce, limitant ainsi la morbidité liée à cette affection.

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 Centre Hospitalier Universitaire de Kara et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été suivis.

References:

1. Bines, J.E., Ivanoff, B., Justice F., & Mulholland, E.K. Clinical case definitions for intussusception. *Vaccine*. 2004 Jan 22;22(5-6):560–4.
2. Boumas, N., Nzue, N.J.H., Abegue, M., Mindze, D., Orema, N.M.P., & Ondo, N. Les invaginations intestinales aiguës du nourrisson au Centre Hospitalier Universitaire Mère Enfant Fondation Jeanne Ebori de Libreville. *Health Sci Dis*. 2022 ;23 :5.
3. Bines, J.E., & Ivanoff B. Acute intussusceptions in infant and young children: incidence, clinical presentation and management: a global perspective. WHO/V&B/02.19 Geneva : WHO, Department of vaccines and biological; 2002 <http://www.who.int/vaccines-documents/DocsPDF02/www640.pdf>.
4. Rakotoarisoa, B., Rabarijaona, M., Rabarioelina, L., & Andrianandrasana, A. Invagination intestinale du nourrisson. A propos

- de 22 cas traités chirurgicalement dans le service de chirurgie pédiatrique au CHU d'Antananarivo. *Médecine d'Afrique Noire* 2001 ; 48 (8/9) : 358-362.
5. Sarthou, L., Podevin, G., David, V., & Heloury, Y. Invagination intestinale chronique de l'enfant - 07/03/08 Doi : JEUR-12-2003-16-4-0993-9857-101019-ART4
 6. Yalamarathi, S., & Smith R.C. Adult intussusception : case reports and review of literature. *Postgrad Med J* 2005 ; 81(953) :174–177
 7. Tsushimi, T., Matsui, N., Kurazumi, H., Takemoto, Y., Kazuhito Oka, K., Seyama, A., Morita, T. Laparoscopic resection of an ileal lipoma: report of a case. *Surg Today*. 2006 ;36(11) :1007–11. doi: 10.1007/s00595-006-3294-6. [DOI] [PubMed] [Google Scholar]
 8. Macauley, D., & Moore, T. Subacute and chronic intussusception in infants and children. *Arch Dis Child* 1955 ;30(150) :180-3. DOI :10.1136/adc.30.150.180.
 9. Lebeau, R., Koffi, E., Diané, B., Amani, A., Kouassi, J.-C. IIA de l'adulte : analyse d'une série de 20 cas. *Annales de chirurgie* 2006 ; 131 : 447-450.
 10. De Moulin, D., & Paul Barbette, M.D. A seventeenth-century Amsterdam author of best-selling text books. *Bull Hist Med*.1985 ; 59(4) : 506-14. PubMed | Google Scholar
 11. Gentilini, M. *Médecine tropicale* Paris : Flammarion. *Médecine-Sciences*, 1993 : 928p.
 12. Boume, M.A., Akakpo-Numado, G.K., Gnassingbe, K., Mhluendo-Agbolan, K.A., Adabra, K., Sakiye, K.A., Noumedem, N.B., & Tekou, H. Prise en charge et pronostic des invaginations intestinales aiguës de l'enfant au CHU-Tokoin de Lome (Togo). *J Afr Chir Digest* 2012 ; vol 12 (1) :1274 – 1280
 13. Abou-Nukta, F., Gutweiler, J., Khaw, J., & Yavorek, G. Giant lipoma causing a colo-colonic intussusception. *Am Surg*. 2007 ; 73(4) :417. PubMed | Google Scholar
 14. Tabrizian, P., Nguyen, S.Q., Greenstein, A., Rajhbeharrysingh, U., Argiriadi, P., Barlow, M., Chao, T.E., & Divino, C.M. Significant parameters for surgery in adult intussusception *Surgery* 2010 ;147 : 227-232. PubMed | Google Scholar
 15. Mondor H. Invagination intestinale aiguë de l'adulte. *Diagnostics urgents abdomen*. Masson, Editeur, Paris, 1930, p 800-805
 16. Marinis A., Yiallourou A., Samanides L., Dafnios N., Anastasopoulos G., Vassiliou I., & al. Intussusception of the bowel in adults: a review. *World J Gastroenterol*. 2009;15(4):407–11.
 17. Baud, C., Prodhomme, O., Forgues, D., Saguintaah, M., Veyrac, C., Couture, A. Invagination intestinale aiguë du nourrisson et de l'enfant.

- In Encycl Med Chir (Elsevier Masson SAS, Paris), Radiologie et imagerie médicale -abdominale-digestive. 2012 ;7(3) :1-19.
18. Nikolić, H., Palčevski, G., Šaina, G. & Peršić, M. Invagination chronique chez les enfants causées par *Ascaris lumbricoides*. Wien Klin Wochenschr 123, 294-296 (2011). <https://doi.org/10.1007/s00508-011-1569-4>
19. May, A.N., Piper, S.M. & Boutlis, C.S. Yersinia intussusception : case report and review. J Paediatr Child Health 2014 Feb ;50(2) :91-5. doi: 10.1111/jpc.12240.
20. Mujinga, D.T. & Katombe, F.T. Un cas rare d'adénite mésentérique suppurée associée à une invagination intestinale chez un enfant : cas clinique. Pan African Medical Journal. 2016 ;23 :148. [doi: 10.11604/pamj.2016.23.148.8590]

Influence des facteurs environnementaux sur l'ichtyofaune de la rivière Mpieme (Kinshasa, République Démocratique du Congo)

Clément Munganga Kilingwa
Santos Kavumbu Mutanda

Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture, Mention Sciences
de la Vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa
(UNIKIN), Kinshasa, R.D. Congo

Centre d'Excellence Chimique, Biologique, Radiologique et Nucléaire
(CoE-CBRN), Ministère de la Recherche Scientifique et Innovation
Technologique, Kinshasa, R.D. Congo

Willy Lusasi Swana

Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture, Mention Sciences
de la Vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa
(UNIKIN), Kinshasa, R.D. Congo

Thierry Tangou Tabou

Département des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences,
Université de Kinshasa (UNIKIN), Kinshasa XI, R.D Congo
Centre d'Excellence Chimique, Biologique, Radiologique et Nucléaire
(CoE-CBRN), Ministère de la Recherche Scientifique et Innovation
Technologique, Kinshasa, R.D. Congo

Bekeli Mbomba Nseu

Victor Pwema Kiamfu

Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture, Mention Sciences
de la Vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa
(UNIKIN), Kinshasa, R.D. Congo

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n21p185](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p185)

Submitted: 03 November 2024

Accepted: 23 July 2025

Published: 31 July 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Munganga Kilingwa, C., Kavumbu Mutanda, S., Lusasi Swana, W., Tangou Tabou, T., Mbomba Nseu, B. & Pwema Kiamfu, V. (2025). *Influence des facteurs environnementaux sur l'ichtyofaune de la rivière Mpieme (Kinshasa, République Démocratique du Congo)*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (21), 185.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p185>

Résumé

L'objectif de ce travail est d'examiner l'influence des variables environnementales sur la distribution de la faune ichthyologique de la rivière Mpieme à Kinshasa. L'échantillonnage des données a eu lieu entre mars 2019 et février 2020 à cinq stations déterminées le long d'un tronçon de 9 km de la rivière Mpieme, d'aval en amont. L'inventaire systématique a permis de recenser quatre ordres, six familles et huit genres et dix espèces de poissons parmi lesquelles figurent *Hemichromis fasciatus*, *Hemichromis stellifer*, *Tilapia tholloni*, *Tilapia lateralis*, *Tylochromis sp*, *Bryconaethiops boulengeri*, *Raiamas buchholzi*, *Labeo lineatus*, *Schilbe grenfelli* et *Neolebias ansorgii*. L'analyse canonique de correspondance montre que plusieurs paramètres physico-chimiques influencent la distribution des poissons dans cette rivière. Les variables pH, vitesse, turbidité et température de l'eau influencent positivement la distribution des poissons *Neolebias ansorgii*, *Labeo lineatus*, *Schilbe grenfelli*, *Raiamas buchholzi*, *Tilapia lateralis* et *Bryconaethiops boulengeri* aux stations IV et V. La présence des poissons *Tilapia tholloni*, *Tylochromis sp*, *Hemichromis stellifer* et *Hemichromis fasciatus* est influencée par les nitrites phosphates, la profondeur de la colonne d'eau et la conductivité aux stations I, II et III. *Hemichromis fasciatus* et *Neolebias ansorgii* ont été échantillonnés dans toutes les stations de pêche. L'indice d'équité de Pielou appliqué aux données relatives à la faune ichthyologique de cette rivière a indiqué un équilibre entre les effectifs des différentes espèces de poissons échantillonnées. Ces résultats montrent à suffisance la nécessité de gérer de manière efficace et rationnelle la biodiversité de la rivière Mpieme afin de maintenir sa santé écologique et sa résilience face aux pressions anthropiques.

Mots-clés: Rivière Mpieme, Faune ichthyologique, Distribution, Variables environnementales, Kinshasa

Influence of environmental factors on the ichthyofauna of the Mpieme River (Kinshasa, Democratic Republic of Congo)

Clément Munganga Kilingwa

Santos Kavumbu Mutanda

Limnology, Hydrobiology and Aquaculture Laboratory, Life Sciences
Department, Faculty of Science and Technology, University of Kinshasa
(UNIKIN), Kinshasa, D.R. Congo

Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Centre of Excellence
(CoE-CBRN), Ministry of Scientific Research and Technological
Innovation, Kinshasa, D.R. Congo

Willy Lusasi Swana

Limnology, Hydrobiology and Aquaculture Laboratory, Life Sciences
Department, Faculty of Science and Technology, University of Kinshasa
(UNIKIN), Kinshasa, D.R. Congo

Thierry Tangou Tabou

Environmental Sciences, Faculty of Science and Technology,
University of Kinshasa (UNIKIN), Kinshasa, D.R. Congo
Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Centre of Excellence
(CoE-CBRN), Ministry of Scientific Research and Technological
Innovation, Kinshasa, D.R. Congo

Bekeli Mbomba Nseu

Victor Pwema Kiamfu

Limnology, Hydrobiology and Aquaculture Laboratory, Life Sciences
Department, Faculty of Science and Technology, University of Kinshasa
(UNIKIN), Kinshasa, D.R. Congo

Abstract

The aim of this work is to examine the influence of environmental variables on the distribution of fish fauna in the Mpieme River in Kinshasa. Data sampling took place between March 2019 and February 2020 at five stations determined along a 9 km stretch of the Mpieme River, from downstream to upstream. The systematic inventory identified four orders, six families, eight genera and ten fish species, including *Hemichromis fasciatus*, *Hemichromis stellifer*, *Tilapia tholloni*, *Tilapia lateralis*, *Tylochromis sp*, *Bryconaethiops boulengeri*, *Raiamas buchholzi*, *Labeo lineatus*, *Schilbe grenfelli* and *Neolebias ansorgii*. Canonical correspondence analysis shows that several physico-chemical parameters influence fish distribution in this river. The variables pH, water velocity, turbidity and temperature positively influence the distribution of *Neolebias ansorgii*, *Labeo lineatus*, *Schilbe grenfelli*, *Raiamas buchholzi*, *Tilapia lateralis* and *Bryconaethiops boulengeri*

at stations IV and V. The presence of *Tilapia tholloni*, *Tylochromis sp*, *Hemichromis stellifer* and *Hemichromis fasciatus* is influenced by nitrite phosphate, water column depth and conductivity at stations I, II and III. *Hemichromis fasciatus* and *Neolebias ansorgii* were sampled at all fishing stations. Piélou's equity index applied to the fish fauna data for this river indicated a balance between the numbers of the different fish species sampled. These results sufficiently demonstrate the need for effective and rational management of the Mpieme River's biodiversity in order to maintain its ecological health and resilience in the face of anthropogenic pressures.

Keywords: Mpieme River, Fish fauna, Distribution, Environmental variables, Kinshasa

Introduction

Les écosystèmes aquatiques fournissent beaucoup de biens et de services qui ne sont pas souvent appréciés à leur juste valeur (Brummett *et al.*, 2008), notamment à travers l'ichtyofaune, qui constitue une source de protéines et de revenus pour les communautés riveraines (Yao, 2006). Cependant, les activités humaines, telles que la surpêche et la pollution, dégradent la qualité de l'eau et menacent la biodiversité de ces écosystèmes. Les écosystèmes d'eau douce, notamment, subissent des déclin de biodiversité plus importants que ceux des écosystèmes terrestres (Kamelan *et al.*, 2013).

Les impacts négatifs des activités anthropiques sur les grands fleuves peuvent être classés en trois catégories : l'altération physique des habitats, la dégradation chimique de l'eau, et les modifications des assemblages d'espèces (Yoder et Rankin, 1995). La pollution provient principalement des rejets industriels et domestiques, ainsi que de l'utilisation d'intrants agricoles (Kamb, 2018). Ces menaces mettent en péril la capacité des écosystèmes aquatiques à s'adapter aux changements environnementaux, notamment le changement climatique (Suski et Cooke, 2007).

Les cours d'eau en République Démocratique du Congo (RDC) subissent une pression croissante due à diverses activités anthropiques. En effet, l'ensemble du couvert forestier des bassins versants a été largement converti en zones agricoles, entraînant des rejets de déchets domestiques, tels que les eaux usées provenant des toilettes et des lessives, par les riverains (Munganga *et al.*, 2020). Si ces pratiques persistent, elles risquent de perturber gravement l'environnement aquatique et d'affecter l'ichtyofaune locale à long terme.

Dans le contexte spécifique de la RDC, cette transformation des bassins versants et les rejets domestiques créent une pression accrue sur les cours d'eau. La région de Kinshasa, en particulier, abrite une diversité

ichthyologique encore mal documentée. Il est donc essentiel d'évaluer les espèces de poissons présentes dans la rivière Mpieme, ainsi que les facteurs environnementaux qui influencent leur distribution. Cette évaluation est cruciale pour développer des politiques de conservation efficaces, adaptées à la réalité locale. Pour faire face à ces défis, des mesures rigoureuses de restauration et de conservation doivent être mises en œuvre par les autorités compétentes, afin de protéger les ressources aquatiques et de garantir la durabilité de l'écosystème.

Cette étude vise à identifier les principaux paramètres environnementaux affectant la distribution spatiale des poissons de la rivière Mpieme à Kinshasa, à travers un inventaire systématique de sa faune ichthyologique. L'objectif est de contribuer à une meilleure compréhension de la biodiversité ichthyologique dans cette région, afin d'orienter les efforts de conservation.

Matériel et Méthodes

Milieu d'étude

La structure des peuplements de poissons a été étudiée dans cinq stations déterminées dans la rivière Mpieme (figure 1), située dans la commune de la N'sele à Kinshasa (R.D. Congo). Ces stations ont été déterminées en aval et en amont après un parcours d'environ 9 km, en tenant compte de l'accessibilité, de la sécurité et de la facilité d'échantillonnage. Cette rivière prend sa source dans les vallées de la montagne de Mangengenge et coule du Sud vers le Nord sur une distance de plus de 12 km avant de se déverser dans la rivière N'sele, qui, à son tour, se déverse également dans le fleuve Congo au niveau du Pool Malebo.

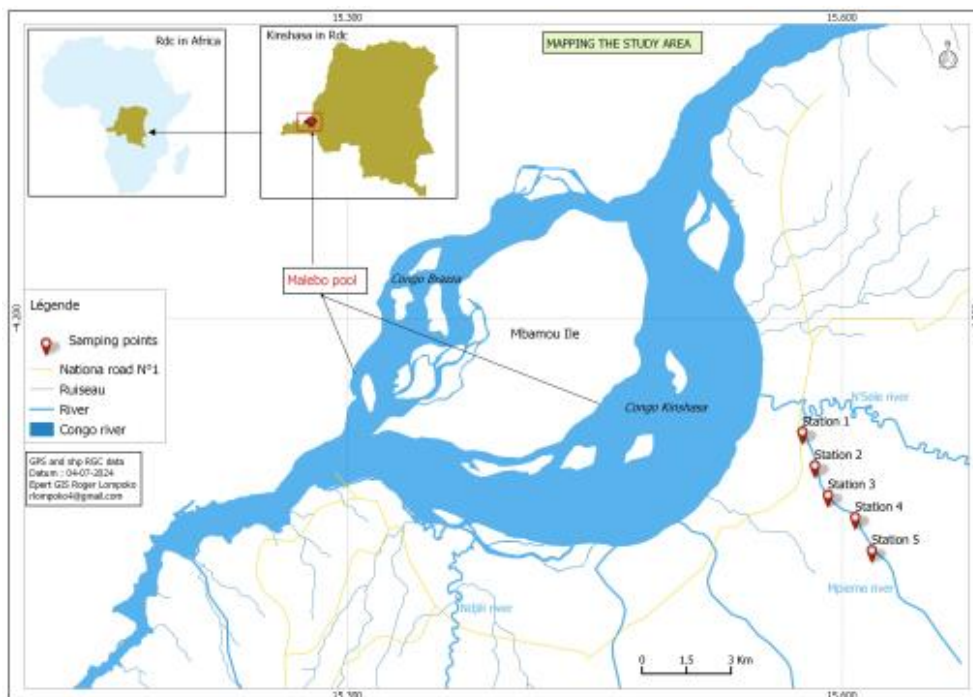


Figure 1 : Cartographie de la ville de Kinshasa reprenant la rivière Mpieme montrant les cinq stations d'étude

Le bassin de la rivière Mpieme, comme la ville de Kinshasa, appartient au climat de type AW4 selon la classification de Köppen (Burgis et Symoens, 1987). Ce climat est caractérisé par deux grandes saisons entrecoupées de deux petites saisons, dont : une grande saison sèche qui s'étend de mi-mai à mi-septembre ; une grande saison de pluies située entre mi-septembre et décembre ; une petite saison sèche qui s'intercale entre la seconde moitié de janvier et la première quinzaine du mois de février ; et une petite saison de pluies qui va de mars à mi-mai.

Le sol de la ville-province de Kinshasa est essentiellement sablonneux avec quelques éléments particuliers. Il a une faible capacité de rétention d'eau et présente par conséquent une utilité marginale pour les activités agricoles (Pwema, 2014). La flore de la commune de N'sele est dominée par la savane et les forêts déchirées en lambeaux suite à l'action nocive de l'homme sur l'environnement, notamment par la fabrication non réglementée de charbon de bois (braise) le long des ravins et des cours d'eau.

D'après Kalanda (1991), le terrain de la commune de N'sele, où se situe la rivière Mpieme, est principalement alimenté par le fleuve Congo. Cette région abrite également d'autres cours d'eau, dont la rivière N'sele, qui est la plus significative, mesurant en moyenne 36 mètres de large et présentant plusieurs méandres au fil de son parcours. Elle est également caractérisée par

d'importantes bandes de sable. En plus de la rivière N'sele, plusieurs autres rivières, telles que Bilala, Bingi-bingi, Lingundu, Bibwa, Mango-mango, Ntsuenge, Mikondo, Nkoni, Mfusu et Mpieme, se déversent majoritairement dans le Fleuve Congo.

Matériel

Le matériel biologique de cette étude est constitué de 290 spécimens de poissons pêchés dans la rivière Mpieme à Kinshasa.

Méthodes

Caractéristiques hydrauliques de la rivière Mpieme

Dans chaque station, l'échantillonnage a eu lieu dans plusieurs types d'habitats, étant donné que les perturbations ne se font pas sentir partout de la même façon. Ainsi, l'hydrologie a été caractérisée en déterminant : la largeur moyenne du lit et la profondeur moyenne de la colonne d'eau à l'aide d'un mètre ruban de 50 m (précision 0,1 cm) et d'une règle plate graduée (précision 0,1 cm). Suivant le degré de précision souhaité, le prélèvement de la profondeur a été fait à trois endroits du lit : berge gauche, milieu et berge droite puis, la moyenne des mesures à chaque station a été notée. La vitesse d'écoulement d'eau a été estimée en laissant couler des flotteurs en liège à la surface de l'eau et en estimant le temps et la distance parcourue par ce flotteur. La nature du substrat, l'inclinaison des berges ainsi que la qualité de la végétation ont été notées pour chaque station prospectée. Les coordonnées géographiques (altitude, longitude et latitude) des stations d'échantillonnages choisies ont été prélevées à l'aide d'un GPS de marque Etrex GARMIN.

Paramètres physico-chimiques

Quatre paramètres physico-chimiques ont été mesurés sur chaque site d'étude : la température (°C), la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la turbidité (NTU) et le pH. Ces mesures ont été effectuées à l'aide d'une sonde multiparamétrique Combo pH de marque HANNA. Un temps d'immersion d'environ cinq minutes a été respecté pour chaque mesure, permettant ainsi la stabilisation des valeurs des paramètres sur l'écran de la sonde avant leur enregistrement.

Paramètres chimiques

Des échantillons d'eau ont été prélevés avant la pêche et conservés dans des galons stérilisés, maintenus au frais pour garantir leur intégrité. Ces échantillons ont ensuite été analysés pour le dosage des nitrites (NO_2^-) et des phosphates (PO_4^{3-}) à l'aide d'un spectrophotomètre DR/2010. De plus, un spectromètre à fluorescence X a été utilisé pour mesurer les concentrations de nitrites et de phosphates dans les échantillons.

Echantillonnage biologique et conservation des spécimens

Les poissons ont été échantillonnés entre les mois de mars 2019 et février 2020 à l'aide du filet épervier d'un 1 cm de mailles. Les poissons capturés ont été fixés dans une solution de formol à 10% puis conservés dans l'alcool à 97% dans de bocaux en plastiques étiquetés (nom de la station de récolte et date) avant leurs identifications au laboratoire.

Identification systématique des poissons

Au laboratoire, les poissons ont été séparément traités suivant les sites d'échantillonnage. L'identification systématique a été rendu possible à l'aide des clés de détermination proposées par Poll (1993a et b, 1959a et b) ; Lévêque *et al.* (1992) ; Poll et Gosse (1995) ; Mbega et Teugels (2003) ; Stianssny *et al.* (2007) disponibles au Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture du Département de Biologie de la Faculté des Sciences, Université de Kinshasa.

Analyse et traitement statistique des données

Les indices de diversité suivants ont été utilisés pour l'analyse qualitative et quantitative de différents taxons des poissons :

- **Abondance relative (N)** : Est le rapport du nombre d'individus (n) d'un groupe taxinomique (espèce, genre, famille ou ordre) sur le nombre total d'individus (Nt). Elle est exprimée par la formule mathématique ci-après : $N = \frac{n}{Nt} \times 100$ et, est exprimée en pourcentage.
- **Indice de Shannon (H')** : Est utilisé en écologie comme la mesure de la diversité spécifique. Il s'exprime par la formule suivante : $H' = -\sum ((N_i/N) \times \log_2 (N_i/N))$ où, i varie de 1 à S (est le nombre total d'espèces présente), N_i est l'effectif du taxon i ; N est l'effectif total et H' est l'indice de diversité de Shannon et Weaver. Dans la nature, la valeur de H' se situe entre 0,5 (très faible diversité) et 4,5 (dans le cas d'échantillons de grande taille de communautés complexes) (Munganga *et al.*, 2020).
- **Indice d'Equitabilité (J)** : Permet de mesurer l'équilibre ou la régularité ou encore l'équipartition des espèces du peuplement par rapport à une répartition théorique égale pour l'ensemble des espèces : $J = H'/H_{max}$ dont, J varie entre 0 (une seule espèce domine) et 1 (toutes les espèces ont la même abondance). Les différents indices ont été calculés de manière globale en considérant toutes les données prises ensemble (Legendre et Legendre, 1984 ; Paugy, 1994).
- **Classification hiérarchique ascendante (CAH)** : La classification hiérarchique permet d'agréger progressivement les individus selon leur ressemblance, mesurée à l'aide d'un indice de similarité ou de

dissimilitude (Kouamélan, 1999). Cette méthode de classification est destinée à produire des groupements décrits par un certain nombre de variables ou caractères. Elle procède en fait à la construction des classes (paquets) par agglomération successive des objets deux à deux, qui fournissent une hiérarchie de partition des objets. Il existe plusieurs méthodes de CAH et plusieurs choix de calcul de la distance entre deux objets, deux classes ou un objet et une classe (Mondo *et al.*, 2020).

- **Analyse Canonique de Correspondance** : Les principales variables environnementales qui influencent la distribution des poissons ont été mises en évidence par une analyse canonique qui permettent de sélectionner les variables environnementales qui expliquent le mieux la distribution des espèces de poissons (Hammer *et al.*, 2001). Les tableaux de données ont été analysés à l'aide du logiciel Past version 2.16.

Résultats

Paramètres abiotiques de l'eau de la rivière Mpieme

Paramètres physico-chimiques

Les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et hydrauliques de l'eau de la rivière Mpieme sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques et hydrauliques de la rivière Mpieme
(St = Station)

Paramètres	Stations				
	St I	St II	St III	St IV	St V
Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	5,5 $\pm$ 0,5	9 $\pm$ 1	8 $\pm$ 1	8 $\pm$ 0	5,5 $\pm$ 0,5
pH	5,11 $\pm$ 0,11	6,06 $\pm$ 0,06	5,725 $\pm$ 0,395	5,465 $\pm$ 0,335	5,605 $\pm$ 0,395
Température ($^{\circ}\text{C}$)	27,75 $\pm$ 0,25	27,65 $\pm$ 1,85	28,65 $\pm$ 0,25	32,2 $\pm$ 0,2	31,25 $\pm$ 0,25
Turbidité (UNT)	2,5 $\pm$ 0,5	3,5 $\pm$ 0,5	2,5 $\pm$ 0,5	3 $\pm$ 0	4 $\pm$ 0
Vitesse (m/sec)	18,05 $\pm$ 0,15	25,3 $\pm$ 1,1	39,75 $\pm$ 0,55	58,55 $\pm$ 0,45	66,8 $\pm$ 1,2
Largeur (m)	14,5 $\pm$ 1,5	12,3 $\pm$ 1,3	9,5 $\pm$ 0,5	4,8 $\pm$ 0,2	5,5 $\pm$ 0,5
Profondeur (cm)	58,65 $\pm$ 10,65	43,65 $\pm$ 2,65	59,65 $\pm$ 1,65	75,35 $\pm$ 3,95	29,3 $\pm$ 2,2

Le tableau I montre que la conductivité moyenne de l'eau de la rivière Mpieme est faible. La valeur la plus élevée est observée à la station II (9 $\mu\text{S/cm}$). Les stations III et IV ont présenté la même valeur (8 $\mu\text{S/cm}$) de conductivité tandis que les stations I et V ont présentées des valeurs très faibles. Ces eaux ont un pH acide. Les valeurs de pH observées varient entre 5,11 (St I) et 6,06 (St II) dans les stations d'étude. Les valeurs de la température de l'eau sont situées entre 27,75 $^{\circ}\text{C}$ (St I) et 32,2 $^{\circ}\text{C}$ (St IV). Les valeurs de turbidité varient entre 2,5 et 4 NTU, les plus élevées sont observées aux stations II et V et les plus basses aux stations I, III et IV. La vitesse moyenne d'écoulement de l'eau de la rivière Mpieme varie entre 18,05 et 66,8 m/sec. Les plus élevées sont observées aux stations V (66,8 m/sec) et IV

(58,55 m/sec) et la plus faible à la station I (18,05 m/sec). La largeur moyenne du lit de la rivière Mpieme augmente relativement d'amont en aval, à l'exception de la station I où, l'on remarque un rétrécissement (14,5 m). Ce cours d'eau n'est pas profond, les valeurs moyennes de la profondeur varient entre 29,3 et 75,35 cm ; les valeurs les plus élevées sont observées aux stations III et IV.

Paramètres chimiques

Les valeurs des ions phosphates (PO_4^{3-}) (mg/L) et nitrites (NO_2^-) (mg/L) de l'eau de la rivière Mpieme évaluées aux stations étudiées sont consignés au tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 : Variation des paramètres chimiques de l'eau des différentes stations d'étude sur la rivière Mpieme

Variables	Stations				
	I	II	III	IV	V
Phosphate (PO_4^{3-}) (mg/L)	15,61	13,10	12,46	11,83	10,33
Nitrite (NO_2^-) (mg/L)	0,003	0,005	0,002	0,004	0,001

Le tableau II indique que les valeurs des ions phosphates sont situées entre 10,33 mg/L (station V) et 15,61 mg/L (station I). Les ions nitrites sont faibles dans l'eau de la rivière Mpieme. La concentration la plus élevée était observée à la station II (0,005 mg/L) et la plus faible à la station V (0,001 mg/L).

Faune ichthyologique de la rivière Mpieme

La liste des poissons recensés dans cinq stations étudiées dans la rivière Mpieme est consignée au tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Liste des poissons pêchés dans cinq stations étudiées dans la rivière Mpieme

Ordre	Famille	Genre	Espèce
<i>Cichliiformes</i>		<i>Hemichromis</i>	<i>H. fasciatus</i>
			<i>H. stellifer</i>
		<i>Tilapia</i>	<i>T. tholloni</i>
			<i>T. lateralis</i>
	<i>Cichlidae</i>	<i>Tylochromis</i>	<i>T. sp</i>
<i>Characiformes</i>	<i>Alestidae</i>	<i>Bryconaethiops</i>	<i>B. boulengeri</i>
<i>Cypriniformes</i>	<i>Danionidae</i>	<i>Raiamas</i>	<i>R. buchholzi</i>
	<i>Cyprinidae</i>	<i>Labeo</i>	<i>L. lineatus</i>
	<i>Distichodontidae</i>	<i>Neolebias</i>	<i>N. ansorgii</i>
<i>Siluriformes</i>	<i>Schilbeidae</i>	<i>Schilbe</i>	<i>S. grenfelli</i>
4	6	8	10

Les résultats présentés dans le tableau 3 indiquent la présence de dix espèces de poissons dans la rivière Mpieme, réparties entre quatre ordres : *Cichliiformes*, *Characiformes*, *Cypriniformes* et *Siluriformes*. Ces espèces

appartiennent à cinq familles, à savoir *Cichlidae*, *Alestidae*, *Danionidae*, *Cyprinidae*, *Distichodontidae* et *Schilbeidae*, ainsi qu'à huit genres, dont *Hemichromis*, *Tilapia*, *Tylochromis*, *Bryconaethiops*, *Raiamas*, *Labeo*, *Neolebias* et *Schilbe*.

Richesse relative des ordres des poissons recensés

Les résultats visualisés sur la figure 2 ci-dessous montrent que l'ordre des poissons *Cypriniformes* est le plus abondant avec 3 familles soit 50% suivis des ordres des poissons *Cichliformes*, *Characiformes* et *Siluriformes* avec une famille chacun soit 16,7%.

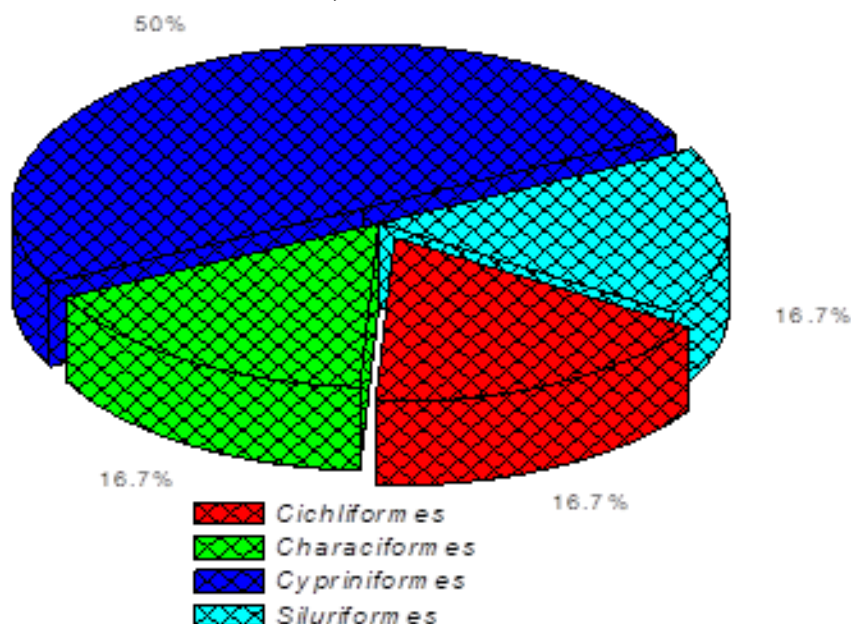


Figure 2 : Richesse relative (%) des ordres de poissons échantillonnés dans la rivière Mpieme

Abondance relative des familles des poissons identifiés

Les résultats présentés dans la figure 3 ci-dessous montrent que la famille des poissons *Cichlidae* est la plus abondante, représentant 37,5%. Les familles *Cyprinidae*, *Distichodontidae*, *Alestidae* et *Schilbeidae* suivent, chacune avec 12,5%.

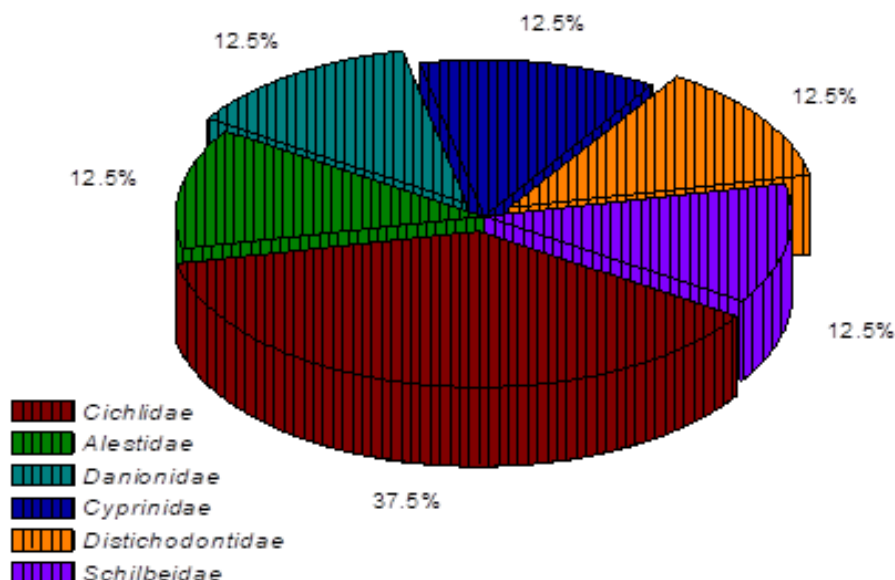


Figure 3 : Abondance relative (%) des familles de poissons échantillonnés dans la rivière Mpieme

Abondance relative des genres des poissons identifiés

Les résultats de cette étude montrent que les genres de poissons *Hemichromis* et *Tilapia* sont les plus représentés, avec chacun deux espèces, soit 20%. En revanche, les autres genres ne comptent qu'une seule espèce, soit 10% (voir figure 4).

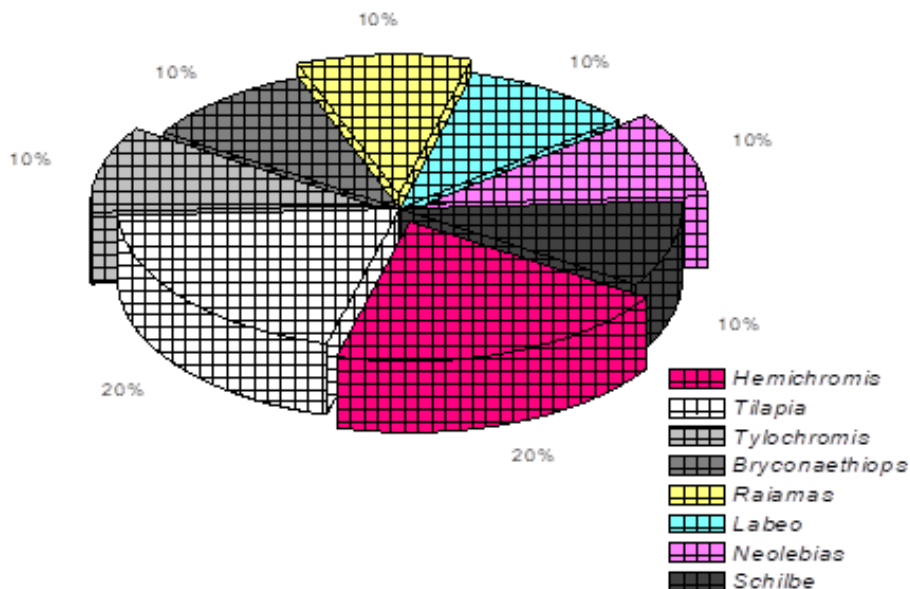


Figure 4 : Abondance relative (%) des genres de poissons échantillonnés dans la rivière Mpieme

Abondance des espèces de poissons inventoriés

Les résultats présentés dans la figure 5 ci-dessous montrent que les espèces les plus représentées sont : *Tilapia lateralis* avec 61 individus, *Raiamas buchholzi* avec 47 individus, *Tylochromis sp* avec 46 individus, *Neolebias ansorgii* avec 31 individus, *Hemichromis fasciatus* avec 30 individus, et *Hemichromis stellifer* avec 25 spécimens.

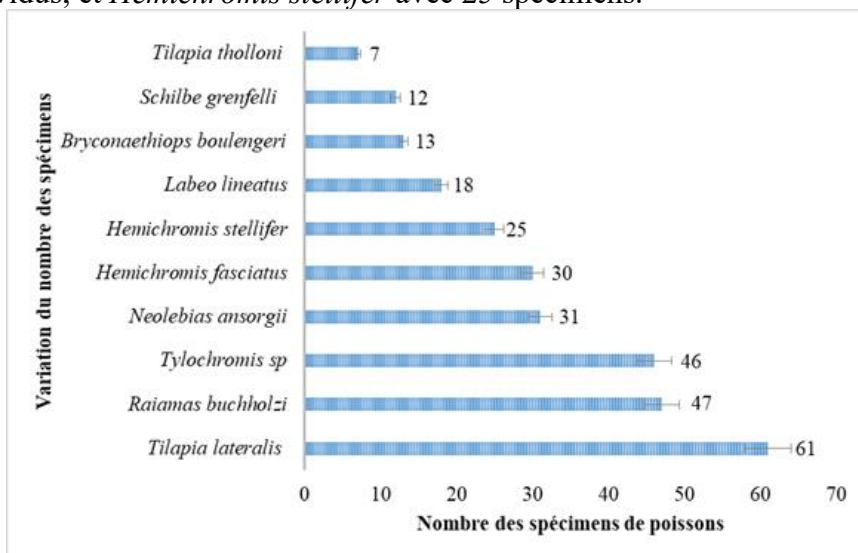


Figure 5 : Abondance des espèces de poissons inventoriés dans la rivière Mpieme

Distribution spatiale des espèces de poissons

Le tableau 4 reprend la distribution spatiale des espèces de poissons identifiés en fonction des stations d'études.

Tableau 4 : Distribution spatiale de poissons sur la rivière Mpieme

Espèces	Stations					Total
	I	II	III	IV	V	
<i>Hemichromis fasciatus</i>	8	12	6	1	3	30
<i>H. stellifer</i>	13	9	3	0	0	25
<i>Tilapia tholloni</i>	2	1	4	0	0	7
<i>T. lateralis</i>	27	18	11	5	0	61
<i>Tylochromis sp</i>	15	14	14	3	0	46
<i>Bryconaethiops boulengeri</i>	5	6	2	0	0	13
<i>Raiamas buchholzi</i>	20	17	9	1	0	47
<i>Labeo lineatus</i>	0	0	1	6	11	18
<i>Schilbe grenfelli</i>	0	0	7	0	5	12
<i>Neolebias ansorgii</i>	12	5	1	4	9	31
Total	102	82	58	20	28	290

Au total 290 spécimens de poissons ont été pêchés pendant les campagnes d'échantillonnage dans cinq stations d'étude retenues sur la rivière

Mpieme. En termes de proportion numérique, la station (I) présente un plus grand nombre de spécimens (102 individus) suivie de la station (II) (82 poissons) et la station (III) présente 58 individus. Le nombre le plus faible d'individus ont été échantillonnés aux stations (IV) (20 spécimens) et (V) (28 spécimens). Les poissons *Hemichromis fasciatus* et *Neolebias ansorgii* sont ubiquistes et, sont présents dans toutes les stations.

Indices de diversité

Les valeurs sur la variation de différents indices de diversité écologique évalués sur la faune ichthyologique dans le cadre de cette étude sont reprises au tableau 5.

Tableau 5 : Indice de diversité écologique

Indices	Stations				
	I	II	III	IV	V
Taxa S	8	8	10	6	4
Shannon H	1,892	1,9	2,031	1,614	1,279
Equitability J	0,9099	0,9138	0,8821	0,9007	0,9225

La station III (dix espèces) présente une grande richesse taxonomique suivie respectivement des stations II et I (huit espèces). L'analyse de l'indice de Shannon et Weaver montrent que les stations III ($H' = 2,03$), II ($H' = 1,9$) et I ($H' = 1,89$) sont les plus diversifiées. L'indice d'Equitabilité de Pielou varie entre 88% et 92% à travers toutes les stations. Les plus grandes valeurs sont enregistrées aux stations V (0,92), II (0,91), I (0,90) et IV (0,90) et indiquent un certain équilibre entre les effectifs des différentes espèces de poissons échantillonnées. Par contre, la station III avec 0,88 soit 88% montre que l'équilibre entre les différents effectifs commence à être modifié par les différentes activités humaines.

Analyses multivariées

Classification hiérarchique ascendante

L'analyse du dendrogramme résultant de la Classification Ascendante Hiérarchique des stations de pêche met en évidence deux grands groupes de stations (Figure 6). Le dendrogramme résultant de la Classification Ascendante Hiérarchique des stations de pêche retenue sur la rivière Mpieme en fonction de leur richesse ichthyologique met en évidence deux grands groupes de stations avec une différence significative ($r = 0,77$). Le premier groupe ($d = 11$) est formé par les stations IV et V. Tandis que le deuxième groupe ($d = 21$) est formé des stations I, II et III. Dans le deuxième groupe, toutes les stations n'ont pas la même position, les stations I et II forment un sous-groupe ($d = 15$) par rapport à la station III qui forme à elle seule un autre sous-groupe ($d = 21$) dans le deuxième groupe.

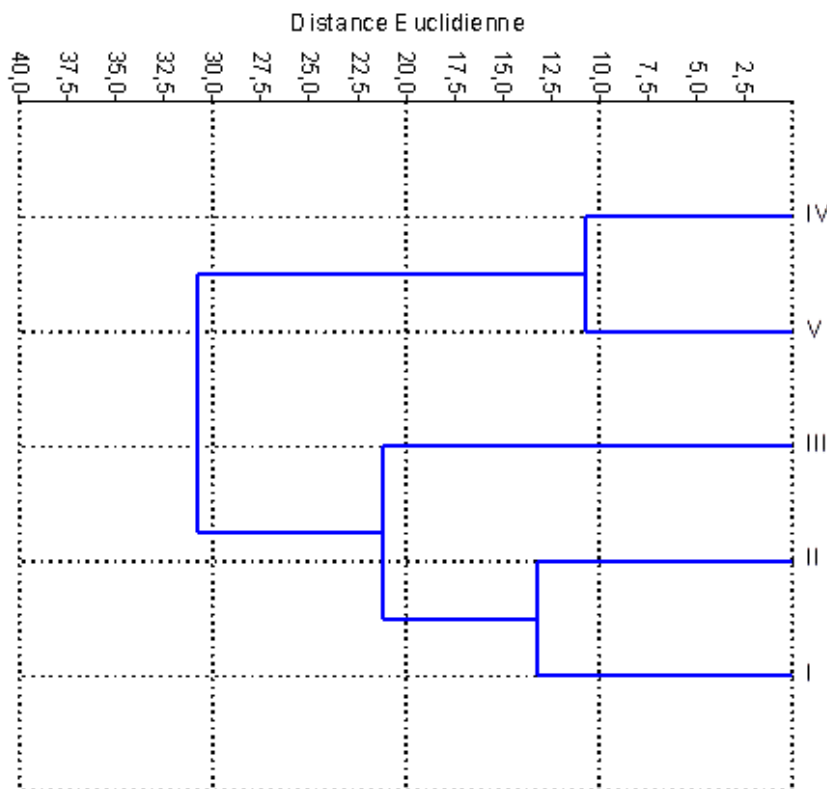


Figure 6 : Regroupement des stations d'étude sur base de la richesse ichthyologique de la rivière Mpieme

Influence des variables environnementales sur la distribution spatiale de poissons

Les résultats d'analyse canonique de correspondance (ACC) appliquée aux variables environnementales et aux espèces de poissons capturées dans la rivière Mpieme sont repris dans les figures 7. L'analyse canonique de correspondance a permis de sélectionner 8 variables qui expriment la corrélation entre les espèces des poissons et les variables observées. Ces variables sont : conductivité, température, pH, profondeur, vitesse, turbidité, phosphate et nitrite. L'influence de ces variables sur la distribution des poissons est significative. Les axes 1 et 2 permettent de dégager deux groupes d'espèces : le premier groupe (A) ou axe 1 regroupe les stations IV et V, composé des espèces : *Neolebias ansorgii*, *Labeo lineatus*, *Schilbe grenfelli*, *Raiamas buchholzi*, *Tilapia lateralis* et *Bryconaethiops boulengeri*. Ce groupe est corrélé positivement aux variables pH, vitesse, turbidité et température de l'eau. Le deuxième groupe (B) ou axe 2 est constitué par 3 stations dont les stations I, II et III qui, comprend les espèces : *Tilapia tholloni*, *Tylochromis sp*, *Hemichromis stellifer* et *Hemichromis fasciatus*. Ces espèces sont

Biplot of the first two principal components (Axe 1 and Axe 2) for the 1996-1997 season. The x-axis (Axe 1) represents 74.48% of the variance, and the y-axis (Axe 2) represents 18.48%. Variables are plotted as vectors from the origin. A red ellipse encloses variables like Na, Hs_, and Prof. A yellow ellipse encloses variables like Si, Hf, and Ti. Green lines connect the origin to variables like Phd, IV, V, and pH.

Discussion

Le pH de l'eau est un indicateur crucial de son acidité ou de son alcalinité, déterminé par l'activité des ions hydrogène présents. Dans le cas de

la rivière Mpieme, les valeurs moyennes de pH observées se situent entre 5,11 et 6,06. Ces valeurs sont en dessous de la plage recommandée par les normes, qui stipulent que le pH doit être compris entre 6,5 et 8 pour favoriser la survie et la croissance des espèces aquatiques. En dehors de cette plage, la vie aquatique peut être considérablement affectée. Ces résultats sont cohérents avec les études menées par Bipendu *et al.* (2017) ; Sisa *et al.* (2018) ; Munganga *et al.* (2020, 2024), qui montrent que de nombreux cours d'eau à Kinshasa présentent un pH généralement acide, souvent inférieur à 7. Cette acidité pourrait être attribuée aux caractéristiques géologiques du bassin versant, notamment le fait que ces eaux s'écoulent sur un fond sablonneux. Les températures de l'eau mesurées dans les sites d'échantillonnage de la rivière Mpieme ont varié entre 27,65 °C et 32,2 °C. Ces résultats sont en accord avec les observations de Pwema (2014) et Munganga *et al.* (2020, 2024), qui suggèrent que l'absence de couvert végétal dans la région contribue à l'exposition directe des eaux aux rayonnements solaires, entraînant ainsi une élévation des températures.

Le couvert végétal joue un rôle crucial dans la régulation de la température de l'eau. En plus de fournir de l'ombre, la canopée influence la température atmosphérique, la qualité et la quantité de lumière pénétrant dans l'eau, ainsi que des facteurs tels que l'ensoleillement et la production primaire. L'absence de végétation peut donc avoir des répercussions significatives sur l'écosystème aquatique, affectant non seulement la température de l'eau, mais aussi la dynamique des réseaux trophiques. De plus, les débris végétaux présents dans l'eau favorisent la prolifération de larves d'invertébrés et constituent une source de nourriture pour divers organismes aquatiques, y compris les poissons. Ces débris peuvent également servir d'habitats ou de refuges pour des espèces vulnérables, contribuant ainsi à la biodiversité de l'écosystème (Munganga *et al.*, 2024). Il est donc essentiel de prendre en compte l'importance du couvert végétal et des débris dans la gestion des ressources aquatiques. La préservation de ces éléments naturels pourrait aider à maintenir des températures d'eau optimales et à soutenir la diversité biologique dans la rivière Mpieme.

Les valeurs moyennes de la turbidité mesurées dans la rivière Mpieme ont oscillé entre 2,5 et 4 ppm et sont inférieures à la valeur guide fixée à 30 NTU pour une eau de turbidité claire (Sisa *et al.*, 2018). Ce paramètre mesure l'aspect plus ou moins trouble de l'eau, causé par diverses matières particulaires ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques, ainsi que de plancton et d'autres micro-organismes (Dussart, 1992). Les sources de matières particulaires peuvent être d'origine naturelle (acides humiques, particules provenant de la dégradation des végétaux ou de l'érosion du sol) ou anthropique (rejets industriels, agricoles et urbains). Plus la turbidité est élevée, plus la pénétration de la

lumière dans l'eau est limitée, et moins la photosynthèse pourra avoir lieu, influençant alors directement la production primaire de l'écosystème (MDDELCC, 2017).

Le phosphore est le facteur limitant le plus fréquent dans les eaux douces et dans divers lacs eutrophes des régions tropicales. Les orthophosphates (PO_4^{3-}), forme minérale soluble, constituent la source majeure du phosphore utilisé par le phytoplancton, à des concentrations parfois très faibles (Grogan, 2012 ; Sisa *et al.*, 2018). Dans les milieux aquatiques, les orthophosphates sont rapidement assimilés par les végétaux, mais aussi rapidement recyclés (Pourriot et Meybeck, 1995). Dans cette étude, le dosage des orthophosphates a indiqué des valeurs moyennes élevées dans quelques stations étudiées, variant entre 10,33 mg/L (station V) et 15,61 mg/L (station I). Ces valeurs indiquent que les eaux de cette rivière favoriseraient une production primaire capable de maintenir la vie aquatique (Munganga *et al.*, 2020). Les nitrites (NO_2^-) représentent une forme intermédiaire de l'azote entre l'ammonium et les nitrates. Ils apparaissent lors de la dégradation des substances azotées par les bactéries. La nature des zones de drainage joue aussi un rôle essentiel dans leur présence, et l'activité anthropique accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates. Ils peuvent être très toxiques pour les organismes vivants. Dans l'environnement, les concentrations de cette forme transitoire sont rarement élevées (Helliott, 2014). Le taux de nitrites est resté inférieur et compris entre 0,001 et 0,005 mg/L.

À l'issue de cette recherche, dix espèces de poissons ont été inventoriées dans la rivière Mpieme (*Hemichromis fasciatus*, *Hemichromis stellifer*, *Tilapia tholloni*, *Tilapia lateralis*, *Tylochromis sp.*, *Bryconathrops boulengeri*, *Raiamas buccholzii*, *Labeo lineatus*, *Schilbe grenfelli* et *Neolebias ansorgii*). Les méthodes de pêches utilisées (inefficacité de la pêche dans les stations profondes et la trop grande passivité des pêches à la nasse), les types d'habitats échantillonnés et les périodes d'échantillonnage pourraient être à la base de la différence entre les résultats obtenus par Mbaki (2017) ; Munganga *et al.* (2024) et ceux de cette étude. Les poissons inventoriés par Sisa *et al.* (2018), dans une étude consacrée à la structure et à la dynamique des peuplements ichthyologiques des cours d'eau de la rivière Lukunga dans la ville de Kinshasa en R.D. Congo, appartenaient à quatre familles (dont celles des *Cichlidae* et *Alestidae*), sept genres (dont ceux de *Hemichromis*, *Tilapia* et *Raiamas*) et onze espèces (dont *Hemichromis stellifer* et *Tilapia tholloni*). Liyandja *et al.* (2019) ont inventorié la faune ichthyologique de la rivière Musolo à Kinshasa et ont recensé 53 espèces, 36 genres et 9 familles. La différence des résultats obtenus avec ceux de ces derniers s'explique par un grand nombre de stations (12) exploitées et la taille importante de la rivière Musolo par rapport à la rivière Mpieme.

La faune ichthyologique de la rivière Mpieme est riche et diversifiée. Les stations III (dix espèces), II et I (huit espèces respectivement) ont présenté une richesse taxonomique élevée. L'analyse de l'indice de Shannon et Weaver a montré que les stations III ($H' = 2,03$), II ($H' = 1,9$) et I ($H' = 1,89$) sont plus diversifiées, tandis que l'indice d'Équitabilité de Piélou a montré que les plus grandes valeurs ont été enregistrées aux stations V (0,92), II (0,91), I (0,90) et IV (0,90), ce qui indique un certain équilibre entre ces stations. La variation de la richesse spécifique des poissons et leur répartition à travers les cinq stations retenues serait due à la nature du milieu (habitats physiques) qui n'est pas diversifiée en habitats.

Concernant la distribution spatiale des poissons dans la rivière Mpieme, une proportion numérique élevée des poissons a été récoltée à la station I (102 individus), à la station II (82 poissons) et à la station III (58 individus). Deux espèces de poissons : *Hemichromis fasciatus* et *Neolebias ansorgii* ont été échantillonnées dans toutes les stations de pêche, ce qui pourrait s'expliquer par une diversité d'habitats au niveau des stations (I, II et III), qui occasionnent une richesse spécifique élevée, mais aussi une abondante faune ichthyologique (Sisa et al., 2018 ; Munganga et al. 2024). Deux grands groupes et un sous-groupe des stations d'échantillonnage significativement différents ($r = 0,77$) ont été mis en évidence après l'analyse du dendrogramme résultant de la Classification Ascendante Hiérarchique des stations de pêche sur la rivière Mpieme. Le premier groupe ($d = 11$) a été formé par les stations IV et V, et le deuxième groupe ($d = 21$) est formé des stations I, II et III. Un sous-groupe ($d = 15$) est également formé par les stations I et II. En ce qui concerne l'influence des variables environnementales évaluées dans la rivière Mpieme sur son peuplement ichthyologique, deux groupes (groupe 1 : stations IV et V et groupe 2 : stations I, II et III) ont été mis en évidence avec une corrélation significative par rapport aux paramètres suivants : le pH, la vitesse d'écoulement de l'eau, la turbidité et la température ont joué un rôle significatif sur la distribution de l'ichtyofaune de la rivière Mpieme.

Conclusion

L'objectif de cette étude est d'identifier les principaux paramètres environnementaux qui influencent la distribution spatiale des poissons dans la rivière Mpieme à Kinshasa. Les résultats obtenus ont montré que la faune ichthyologique de cette rivière est diversifiée. Au total dix espèces de poissons appartenant à huit genres, six familles et quatre ordres ont été identifiées dans cinq stations d'étude retenues dans cette rivière. La Classification Hiérarchique Ascendante a permis de mettre en évidence deux groupes de stations (IV et V d'un côté et I, II et III de l'autre). Le pH, la vitesse du courant d'eau, la turbidité et la température influencent la distribution des espèces dans cette rivière. Les résultats de cette étude sont d'une grande importance dans le

suivi de la qualité écologique et l'exploitation durable des ressources biologiques de cette rivière.

L'étude de la faune ichthyologique de la rivière Mpieme révèle des implications pratiques essentielles pour la conservation de la biodiversité et la gestion durable de cet écosystème. Il est important de surveiller les variables environnementales, de protéger les habitats, d'éduquer les communautés locales, de gérer les activités anthropiques, de poursuivre la recherche et de collaborer avec les autorités locales. Ces actions combinées contribueront à préserver la richesse écologique de la rivière Mpieme.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement Messieurs Héritier LOFONGOLA et NDELI WANSOME pour leur contribution tout au long de l'échantillonnage biologique et Judier KAKONDALEMBA pour son apport lors de la révision de ce document.

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. Bipendu, M. N., Mwamba, L. V., Musibono, E. A. D., Pwema, V. K. & Ngbolua, K. N. (2017). Effets de rejets industriels de l'usine de traitement d'eau de Kinshasa (REGIDESO) sur la qualité physico-chimique et biologique des eaux des rivières Matete et N'djili, R.D Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 29(2): 96-109.
2. Brummett, R. E., Lazard, J., & Moehl, J. (2008). African aquaculture: Realizing the potential. *Food Policy*, 33: 371-385.
3. Burgis, J. M. & Symoens, J. J. (1987). Zones humides et lacs peu profondes, d'Afrique. *Vol. 1, Paris*, 560 p.
4. Dussart, B. (1992). Limnologie : l'étude des eaux continentales. *Collection Faunes et flores actuelles, 2^{ème} Édition*, 680 p.
5. Grogas, N. (2012). Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Cote d'Ivoire). *Thèse de doctorat, Université de Toulouse (INP Toulouse)*, 224 p.

6. Hammer, D. A. T., Harper, P. D. & Ryan, P. (2001). Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1): 9.
7. Heliott, T. (2014). Biodiversité des communautés d'invertébrés benthiques des rivières de la Guadeloupe et réponses aux perturbations anthropiques. *Thèse de doctorat, délivré par l'université Paul Sabatier – Toulouse III. Spécialité : Ecologie des systèmes aquatiques*, 256 p.
8. Kalanda, L. (1991). Aménagement et gestion du parc de la N'sele et sa périphérie. Mémoire de fin d'étude. Kinshasa, ICCN, inédit. 56 p.
9. Kamb, T. J-C. (2018). Structure des peuplements des macroinvertébrés benthiques et évaluation de la qualité biologique et écologique des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge à Kinshasa/ RD Congo. *Thèse de Doctorat, Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, R.D Congo*, 230 p.
10. Kamelan T.M., Stanislas S.Y, Kouakou A.K., Konan G.N et Essetchi P.K., (2013). Ichtyofaune de la rivière Dodo, Côte d'Ivoire : mise à jour et influence des variables environnementales sur la distribution des espèces. *Journal of Applied Biosciences* 71:5773– 5785 ISSN 1997–5902
11. Kouamélan, E. P. (1999). L'effet du lac de barrage Ayamé (Côte d'Ivoire) sur la distribution et l'écologie alimentaire des poissons *Mormyridae (Teleostei, Ostéoglossiformes)*. *Thèse de doctorat, Katholieke Universiteit Leuven, Belgique*, 221 p.
12. Legendre, L. & Legendre P. (1984). Ecologie numérique : le traitement multiple des données écologiques. *Édition, Masson et Presses de l'Université du Québec, Tome 1, 2^{ème}, Paris*, 260 p.
13. Lévêque, C., Paugy, D. & Teugels, G. G. (1992). Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. *Paris, Orstom/MRAC, Faune tropicale*, 28, Vol. II, 526 p.
14. Liyandja, L. D. T., Ibala, Z. A., Sefu, A. C., Dianzuangani, L. D., Konda, K. R., Raoul, J. C., Monsembula, I. R. J.-C., & Mbimbi, M. N. J.-J. (2019). Environmental Influences on Fish Species Distribution in the Musolo River System, Congo River Basin (Democratic Republic of the Congo, Central Africa). *European Scientific Journal*, 15(33) : 192-209. [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n33p192](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n33p192).
15. Mbaki, L. G. (2017). Inventoirier de la faune ichtyologique de la rivière Mpieme dans commune de la N'sele. Travail de fin de cycle en Sciences Biologiques, Université de Kinshasa, R.D Congo, 36 p.
16. Mbega J. D. & Teugels G. G. (2003). Guide de détermination des poissons du Bassin inférieur de l'Ogooué. *Presse Universitaire de Namur*, 165 p.

17. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques/Canada (MDDELCC). (2017). Guide de caractérisation physicochimique de l'état initial du milieu aquatique avant l'implantation d'un projet industriel, Québec. *Direction générale du suivi de l'état de l'environnement*, ISBN 978-2-550-79556-8, 12 p + annexes.
18. Mondo, M. T., Pwema, K. V., Lusasi, S. W., Gizanga, V. R., Nsimanda, I. C., Wafula, M. & Musibono E.A.D. (2020). Evaluation du profil métallique et biologique de la pollution de l'air atmosphérique dans la ville province de Kinshasa, République Démocratique du Congo. *International Journal of Applied Research*, 6(8): 115-123.
19. Munganga, K. C., Lusasi, S. W. & Pwema, K. V. (2020). Evaluation de la qualité écologique de la rivière Musolo à Kinshasa: Basée sur les macroinvertébrés benthiques en République Démocratique du Congo. *Editions Universitaires Européennes, Riga: Latvia*, ISBN: 978-613-8-9503-1, 96 p.
20. Munganga, K. C., Tandundu, M. M., Lusasi, S. W., Nakweti, K. J., Zamana, M. T., Kavumbu, M. S., Pwema, K. V. & Mbomba Nseu B. (2024). Contribution à la connaissance de l'ichtyofaune de la rivière Mayi ya Pembe à Kinshasa. *Rev., Cong., Sci., Technol.*, 3(4) : 478-487. DOI: <https://doi.org/10.59228/rcst.024.v3.i4.114>.
21. Paugy, D. (1994). Ecologie des poissons tropicaux d'un cours d'eau temporaire (Baoule, haut du bassin du Sénégal au Mali) : adaptation au milieu et plasticité du régime alimentaire. *Revue d'hydrobiologie tropicale*, 27 : 157-172.
22. Poll, M. (1959b). Recherches écologiques sur la faune ichthyologique du Stanley-Pool. pp. 183-201. In Symp. Franco-belge sur des Problèmes ecol. et éthol. (Bruxelles, 15-18 Mai 1958). *Ann. Soc. roy. Zool. Belg.* 89(1).
23. Poll, M. & Gosse, J.P. (1995). Genera des poissons d'eau douce de l'Afrique. *Classe des Sciences. Académie Royale de Belgique*, 324 p.
24. Poll, M. (1959a). Recherches sur la faune ichthyologique de la région du Stanley Pool. In Résultats scientifiques des missions zoologiques au Stanley Pool subsidiées par le CEMUBAC (Université Libre de Bruxelles) et le Musée royal du Congo (1957-1958). *Ann. Mus. roy. Congo belge*, sér. In-8°, *Sci. Zool.* 71:75-174.
25. Pourriot, R. & Meybeck, M. (1995). Limnologie générale. *Masson, Paris, Collection Press, Belle W. Baruch libr. Mar. Sci.*, 2 : 1-24.
26. Pwema, K. V. (2014). Ecologie alimentaire, reproduction et modes d'adaptation de cinq espèces de *Labeo* cuvier, 1817 dans les milieux lentiques et des rapides au pool Malebo dans le fleuve Congo. *Thèse*

- de doctorat en Sciences Biologiques, Université de Kinshasa, R.D Congo*, 163 p.
27. Rodier, J. (1978). L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 6^{ème} Ed. Dunod, Bordeaux, Paris, 1135 p.
 28. Sisa, M. E., Mukwita, N. J., Mutambe, H. & Pwema, K. V. (2018). Contribution à l'étude de la structure et de la dynamique des peuplements ichthyologiques des cours d'eau de la ville de Kinshasa : Cas de la rivière Lukunga. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 24(3) : 1357-1371.
 29. Stiassny, L. J., Teugles, G. G. & Hopkins, D. (2007). Poissons d'eau douce et saumâtre de basse Guinée, Ouest de l'Afrique Centrale. *IRD, Turvuren, Belgique, Vol 1*, 800 p.
 30. Suski, C. D. & Cooke, S. J. (2007). Conservation of aquatic resources through the use of freshwater protected areas: opportunities and challenges. *Biodiversity Conservation*, 16: 2015-2029.
 31. Yao, S. S. (2006). Etude de la diversité biologique et de l'écologie alimentaire de l'ichtyofaune d'un hydro système ouest africain : cas du bassin de la Comoé (Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat, Université Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire* 194 p.
 32. Yoder, C. O. & Rankin, E. T. (1995). Biological response signatures and the area degradation value: new tools for interpreting multimetric data. In: Biological assessment and criteria: tools for water resources planning and decision making (Chapter 17), Davis, W. S & Simon T. P. (eds), *Lewis Publisher, Florida*, 263-286.