

European Scientific Journal, *ESJ*

October 2025

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

October 2025 edition vol. 21, No. 30

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

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

Erik Erikson (1902-1994) was one of the great psychologists of the 20th century¹. He explored the nature of personal human identity. Originally named Erik Homberger after his adoptive father, Dr. Theodore Homberger, he re-imagined his identity and re-named himself Erik Erikson (literally Erik son of Erik). Ironically, he rejected his adoptive father's wish to become a physician, never obtained a college degree, pursued independent studies under Anna Freud, and then taught at Harvard Medical School after emigrating from Germany to the United States. Erickson visualized human psychosocial development as eight successive life-cycle challenges. Each challenge was framed as a struggle between two outcomes, one desirable and one undesirable. The first two early development challenges were 'trust' versus 'mistrust' followed by 'autonomy' versus 'shame.' Importantly, he held that we face the challenge of **generativity** versus **stagnation in middle life**. This challenge concerns the desire to give back to society and leave a mark on the world. It is about the transition from acquiring and accumulating to providing and mentoring.

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

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

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

Sincerely,

Daniel B. Hier, MD

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

Editor in Chief

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Robert Szucs,
University of Debrecen, Hungary

Dragica Vujadinovic,
University of Belgrade, Serbia

Pawel Rozga,
Technical University of Lodz, Poland

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

Rashmirekha Sahoo,
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Faranak Seyyedi,
Azad University of Arak, Iran

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

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Noor Alam,
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

Rashad A. Al-Jawfi,
Ibb University, Yemen

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

Hans W. Giessen,
Saarland University, Saarbrücken, Germany

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Łódź, Poland

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Anita Lidaka,
Liepāja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

Louis Valentin Mballa,
Autonomous University of San Luis Potosí, Mexico

Lydia Ferrara,
University of Naples, Italy

Byron A Brown,
Botswana Accountancy College, Botswana

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

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

Cinaria Tarik Albadri,
Trinity College Dublin University, Ireland

Mahammad A. Nurmamedov,
Shamakhy Astrophysical Observatory of the Ministry of Science and Education of the
Republic of Azerbaijan

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

Saltanat Meiramova,
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

Rajasekhar Kali Venkata,
University of Hyderabad, India

Ruzica Loncaric,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Stefan Vladutescu,
University of Craiova, Romania

Billy Adamsen,
University of Southern Denmark, Denmark

Marinella Lorinczi,
University of Cagliari, Italy

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

N. K. Rathee,
Delaware State University, USA

Michael Ba Banutu-Gomez,
Rowan University, USA

Adil Jamil,
Amman University, Jordan

Habib Kazzi,
Lebanese University, Lebanon

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Henry J. Grubb,
University of Dubuque, USA

Daniela Brevenikova,
University of Economics, Slovakia

Genute Gedviliene,
Vytautas Magnus University, Lithuania

Vasilika Kume,
University of Tirana, Albania

Mohammed Kerbouche,
University of Mascara, Algeria

Adriana Gherbon,
University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania

Pablo Alejandro 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 Yehuwalashet 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 Bekteshi,
"Barleti" University, Albania

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

Oudani Hassan,
University Ibn Zohr Agadir, Morocco

Merita Rumano,
University of Tirana, Albania

Mohamed Chiban,
Ibn Zohr University, Morocco

Tal Pavel,
The Institute for Cyber Policy Studies, Israel

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:

Assessing Biometric Predictors of Gestational Age Among Pregnant Women in the Upper East Region of Ghana: The Quadratic Classifier Approach.....	1
---	----------

Abukari Alhassan

Factors Associated with the Non-Use of Modern Contraception in the Djougou-Copargo-Ouaké Health Zone in 2024.....	13
--	-----------

M.K. Zinvokpodo

A. Noudamadjo

R.C.S. Zinvokpodo

C.N. Ignace Tokpanoude

J.G.N.K. Tchilamessi

F. Yeni Mpo

Desert Locust Decision Support for Improved Agriculture Production.....	25
--	-----------

Mansour Mahamane

Bako Mamane

Idrissa Maiga

Boubacar Toukal

Seydou Tinni

Issa Garba

Fatoumata Haidara

Metabolic Syndrome and Rheumatic Diseases in Chad: Prevalence, Associated Factors and Clinical Impact.....38

Garba Harine Abdel Aziz

Ramadhane Bouchrane

Adama Bah

Djikoldinguem Marschall Mouandilmadji

Hamid Harine Abdel Aziz

Moustapha Niasse

Saidou Diallo

The Seasonal Assessment of Heavy Metals Pollution in the Waters of the Mediterranean and Atlantic Seas of Morocco.....47

S. Karim

A. Aouniti

C. Belbachir

Feeding on Exudates and Leaves of Cassava Cultivars with Varying Cyanogenic Potentials: Implications for the Biology of Typhlodromalus aripo, a Key Biocontrol Agent of Cassava Green Mite in Africa.....65

Nazer Famah Sourassou

Komi Agboka

Koffi Negloh

Rachid Hanna

Atti Tchabi

**Facteurs associés à la mortalité des enfants dénutris aigus sévères au
Centre Hospitalier Universitaire Régional de Ouahigouya au Burkina
Faso.....81**

Alain Saga Ouermi

Yonaba Caroline

Ad Bafa Ibrahim Ouattara

Bintou Sanogo

Chantal Zoungrana

Hamidou Savadogo

Makoura Barro

Fla Koueta

**Analyse des aspects épidémiologiques, cliniques et évolutifs de la rougeole
au Niger.....93**

Sahada Moussa Saley

Zaratou Ali Labo

Hama Hamidou Issa

Malam Boulama Mamadou Boulama

Habibatou Ide Amadou

Gado Mahamadou Amadou

Mamahamadou Doutchi

Mamane Zaneidou

Tassiou Ibrahim

**Activité antiradicalaire et cytotoxique de l'extrait acétate d'éthyle des
feuilles de *Mezoneuron benthamianum*, Fabaceae, sur les lignées
cellulaires PC3 et MCF-7.....104**

Aya Honorine Tanoh

Kouassi Elisée Kporou

Anaïs Brion

Cendrine Seguin

Capucine Braillon

Catherine Vonthron-Senecheau

Sergio Ortiz

Antoine Kichler

Sylvie Fournel

Béatrice Heurtault

**Perception de l'évolution du climat et de la vulnérabilité aux épidémies
de paludisme et de choléra liées au changement climatique dans les
localités de Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména au
Tchad.....120**

Semingar Ngaryamngaye

Franklin Bouba Djourdebbé

Norbert Tanke Dongmo

Lebede Ngartera

Mbaiguedem Miambaye

Aspects cliniques et thérapeutiques du strabisme divergent intermittent de l'enfant à Abidjan.....143

A.J. Konan

O.A.S Ouattara

D.M. Sirima

G.B. Appia

M. Kassa

Estimation de la densité des ligneux avec des images drones dans les écosystèmes Sahéliens du Sénégal.....154

Ramata Talla

Diara Sylla

Ndiabou Faye

Moustapha Bassimbé Sagna

Aly Diallo

Oumar Sarr

Aliou Guisse

Diversité et activités des termites terrioles dans le jardin botanique Stanislas Lisowski de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani, République Démocratique du Congo.....175

Mongenzo Diaz Lionge

Fridolin Choula

Onésime Mubenga

Léon Kasaka

Serge Alebadwa

Cyril Roméo Heumou

Enquête ethnobotanique sur les variétés de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) commercialisées dans le district de Korhogo, au nord de la Côte d'Ivoire.....195

Michel Archange Libra

Mandoué Stéphanie Bamba

Kouassi Pascal Ettien

Typologie des exploitations rizicoles de Bunkeya Sud-Est de la RDC : approche par classification ascendante hiérarchique.....212

Lucien Nkulu Masengo

Chris Kamwanya Kipanga

Sabin Mulang Tshinish

John Tshomba Kalumbu

Jules Nkulu Mwine Fyama

Moïse Kalambaie Bimn Mukanya

Évaluation Comparative des Effets Anthropométriques de l'Huile de Palme, de l'Huile d'Olive Extra Vierge et de l'Huile d'Olive Contaminée par de l'Huile de Croton chez le Rat Wistar.....232

Augustin Nicolas Agnimel

Adama Kamagate

Assessing Biometric Predictors of Gestational Age Among Pregnant Women in the Upper East Region of Ghana: The Quadratic Classifier Approach

Abukari Alhassan, PhD

Department of Statistics, Faculty of Physical Sciences
University for Development Studies, Ghana

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p1](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p1)

Submitted: 12 September 2025

Accepted: 12 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Alhassan, A. (2025). *Assessing Biometric Predictors of Gestational Age Among Pregnant Women in the Upper East Region of Ghana: The Quadratic Classifier Approach*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p1>

Abstract

Aims/Objectives: Gestational outcomes are influenced by a variety of maternal factors, including diabetes, yet not all pregnant women with gestational diabetes experience abnormal variations. It is, therefore, essential to examine additional predictors of gestational variations amongst women. **Subject/Methods:** Data were obtained from the Biostatistics Department of the War Memorial Hospital in Navrongo, Ghana. Records of 1085 mothers and their children were collected between January 2014 and January 2017, and analysed using the quadratic discriminant analysis to evaluate the impact of maternal and neonatal characteristics on gestational variation. **Results:** Maternal parity, age, and the weight of the newborn were the principal discriminating variables. Of these, parity was the most significant factor in distinguishing between deliveries below the Estimated Date of Confinement (EDC) within EDC, and above EDC. **Conclusion:** Parity was identified as the leading factor influencing gestational variation. The study recommends further research into the biochemical and physiological mechanisms linking parity to gestational outcomes.

Keywords: Estimated Date of Confinement, Gestation, Discriminant Analysis, Quadratic Classification, Preterm Birth

Introduction

Gestation refers to the period between conception and birth. Clinically, gestational age is calculated from the last day of the mother's menstrual cycle, with a typical duration of 40 weeks (280 days). The due date is termed the estimated date of confinement (EDC), yet only about 4% of women deliver within the EDC (Ohuma E. *et al.*, 2023). Deviation from EDC results in preterm and post-term births, both of which are associated with elevated risks of maternal and neonatal morbidity and mortality. Because of the scale of these risks and their contribution to global health burdens, the World Health Organization (WHO) proposed some measures in 2010 to minimize mortality related to premature deliveries by 50% between 2010 and 2015.

Globally, preterm birth (PTB) affects over 13 million infants annually, representing more than 10% of all births (WHO, 2021). Sub-Saharan Africa and South Asia account for approximately 60% of these cases. In Ghana, preterm birth is a leading cause of neonatal mortality, contributing significantly to the estimated 29,000 newborn deaths each year (UNICEF-WHO, 2015). Post-term pregnancies increase risks of macrosomia, maternal injuries, and perinatal complications (Sam, 2021).

Previous research has associated PTB and post-term outcomes with factors such as maternal age, parity, birth weight, and maternal height (Bakhteyor *et al.*, 2012; Yamoah, 2014; Derraik *et al.*, 2016). However, limited studies have applied advanced classification methods to evaluate these predictors in Ghanaian populations. This study addresses this gap by employing quadratic discriminant analysis (QDA) to classify gestational outcomes among mothers in Navrongo, Ghana.

Methods

Sample

Data were sourced from the War Memorial Hospital, Navrongo, covering January 2014 to January 2017. The sample consisted of a total of 1085 mother-infant pairs. Variables included the maternal age, height, parity, complications, gestational period, and infant birth weight.

Study Area

The study was conducted in Kasena-Nankana Municipality, Upper East Region, Ghana. The municipality had a population of approximately 163,620 (Ghana Statistical Service, 2010) and relies primarily on agriculture. The War Memorial Hospital serves as the principal referral centre.

Analytical Approach

The Quadratic Discriminant Analysis (QDA) was employed to classify gestational outcomes into three categories: below EDC (≤ 37 weeks), within

EDC (38–40 weeks), and above EDC (≥ 41 weeks). QDA was selected following diagnostic tests confirming unequal covariance matrices across groups. Cross-validation was applied to estimate error rates.

Discriminant Analysis

Discriminant Analysis (DA) is a multivariate statistical technique used to determine which variables discriminate between two or more naturally occurring groups. Through DA, one may classify women into two or more mutually exclusive and exhaustive groups on the basis of a set of independent variables.

Linear Discriminant/Classification Model ($\Sigma_i = \Sigma_j = \Sigma$)

Assume that the two populations π_1 and π_2 have multivariate normal densities $X' = [x_1, x_2, \dots, x_p]$ and that their respective mean vectors and covariance matrices are, μ_1, Σ_1 and μ_2, Σ_2 correspondingly given by

$$f_i(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{p}{2}} |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} \exp \left[-\frac{1}{2} (x - \mu_i)' \Sigma^{-1} (x - \mu_i) \right] \text{ for } i = 1, 2 \quad (1)$$

The allocation rule that minimizes the expected cost of misclassification (ECM) is given by: Allocate x_0 to π_1 if:

$$(\mu_1 - \mu_2)' \Sigma^{-1} x_0 - \frac{1}{2} (\mu_1 - \mu_2)' \Sigma^{-1} (\mu_1 + \mu_2) \geq \ln \ln \left[\left(\frac{c \left(\frac{1}{2} \right)}{c \left(\frac{2}{1} \right)} \right) \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \right] \quad (2)$$

Allocate x_0 to π_2 otherwise (Johnson and Wichern 2007).

The population parameters in (2) can be replaced by its sample estimates; $\underline{x}_1, \underline{x}_2$ and S_{pooled} . Given a special case when there are equal prior probabilities and equal misclassification cost, then we assign x_0 to π_1 if:

$$(\underline{x}_1 - \underline{x}_2)' S_{pooled}^{-1} x - \frac{1}{2} (\underline{x}_1 - \underline{x}_2)' S_{pooled}^{-1} (\underline{x}_1 + \underline{x}_2)' \geq 0 \quad (3)$$

We can estimate additional discriminant functions, such as the one shown above, when there are more than two groups. When there are three groups, for instance, we could estimate two functions: one to distinguish between group 1 and the combination of groups 2 and 3, and another to distinguish between group 2 and group 3. We could, for instance, have a function that distinguishes

between high school graduates who attend college and those who do not (rather, go on to get a job or attend a professional school), and another function that distinguishes between graduates who attend professional schools and those who do not. The coefficients in those discriminant functions could then be interpreted as before.

The Quadratic Classification Model ($\Sigma_i \neq \Sigma_j$)

The density ratio serves as the decision boundary or the minimum estimated cost of misclassification $f_1(x)/f_2(x)$. Substituting multivariate normal densities with different covariance matrices into (1) after taking natural logarithms and simplifying, the resulting classification regions are:

$$\begin{aligned} R_1: & -\frac{1}{2}x'(\Sigma_1^{-1} - \Sigma_2^{-1})x + (\mu'_1\Sigma_1^{-1} - \mu'_2\Sigma_2^{-1})x - K \\ & \geq \ln \ln \left[\left(\frac{c(1/2)}{c(2/1)} \right) \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \right] \\ R_2: & -\frac{1}{2}x'(\Sigma_1^{-1} - \Sigma_2^{-1})x + (\mu'_1\Sigma_1^{-1} - \mu'_2\Sigma_2^{-1})x - K \\ & \geq \ln \ln \left[\left(\frac{c\left(\frac{1}{2}\right)}{c\left(\frac{2}{1}\right)} \right) \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

By substituting sample estimates for population parameters, the allocation function that reduces the expected cost of misclassification is obtained, and the minimal ECM is given as follows:

Allocate x_0 to π_1 if:

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{2}x'_0(S_1^{-1} - S_2^{-1})x_0 + (\underline{x}'_1S_1^{-1} - S_2^{-1}\underline{x}'_2)x_0 - K \\ & \geq \ln \ln \left[\left(\frac{c\left(\frac{1}{2}\right)}{c\left(\frac{2}{1}\right)} \right) \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Allocate x_0 to π_2 otherwise (Johnson and Wichern 2007).

Where,

$$K = \frac{1}{2} \ln \ln \left(\frac{|\Sigma_1|}{|\Sigma_2|} \right) + \frac{1}{2} (\underline{x}'_1S_1^{-1}\underline{x}_1 - \underline{x}'_2S_2^{-1}\underline{x}_2) \quad (6)$$

$\left(\frac{c(1/2)}{c(2/1)}\right)$ is the expected cost ratio and $\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$ is the prior probability ratio.

If we assume that there are equal prior probability and misclassification costs for each population, the allocation rule becomes,

$$-\frac{1}{2}x'_0(S_1^{-1} - S_2^{-1})x_0 + (\underline{x}'_1 S_1^{-1} - S_2^{-1} \underline{x}'_2)x_0 - K \geq 1 \quad (7)$$

Error Rate Estimation

The holdout or cross-validation approach was used to assess the performance of the classification function. This method usually holds one observation and classifies the hold-out observation. The process is repeated until all observations are classified, producing unbiased estimates of the misclassification probabilities (Lachenbruch and Mickey 1968).

Organization of Data

Three categories, below EDC, within EDC, and above EDC, were used to categorize the gestational differences of mothers. Conceptually, the various gestational categories were viewed as follows: Within EDC is defined as delivery between 38 to 40 weeks of gestation, above EDC is defined as delivery after 41 weeks of gestation or above, while below EDC is defined as delivery in exactly 37 weeks of gestation or less. Some characteristics of the mothers and their neonates were examined quantitatively as the study's independent variables. These factors were as follows: the weight of the infant, the mother's height, her parity, and her age.

Results and Discussion

Table 1 displays the general characteristics of mothers and their newborns. According to the findings, women who give birth below the EDC have a mean age of 25, with a standard deviation of 5.91; those who give birth within the EDC have a mean age of 26, with a standard deviation of 6.64 and those who give birth above the EDC have a mean age of 32, with a standard deviation of 6.63. The result did not show much variation in mean maternal height between the various categories of time differences of birth. As compared to the parity of 1 for the two categories of women who give birth below and within the EDC of gestational differences, the results demonstrated a higher parity of 2 for women who deliver above EDC. Additionally, the results showed that babies born below EDC had a mean weight of 2.76 kg, babies born within EDC had a mean weight of 2.98 kg, and babies born above EDC had a mean weight of 2.95 kg. This demonstrates that babies born within the EDC are generally heavier than those born above or below the EDC.

Table 1: The Descriptive Statistics for Selected Variables

Variables	Below EDC		Within EDC		Above EDC	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Maternal Age	25.370	5.9149	26.791	6.6394	31.634	6.6345
Maternal Height	160.120	3.0584	160.670	3.4716	160.656	3.3281
Parity	1.295	1.1457	1.597	1.2031	2.527	1.2648
Baby's Weight	2.763	0.4251	2.980	0.3943	2.951	0.4252

Quadratic Discriminant Analysis

The Box M test of equality of population covariance matrices was initially ran in order to test the three groups under consideration for equal covariance matrices. The log determinant of the groups was as illustrated in Table 2. The Box M test was found to be significant at 1% level under the null hypothesis of equal covariance matrices, showing a violation of the assumption of equal covariance matrices.

Table 2: Test for Equality of Population Covariance Matrices.

Gestation	Rank	Log Determinant	Chi Square	df	P value
Below EDC	4	3.224	50.365523	20	0.0002*
Within EDC	4	3.508			
Above EDC	4	3.200			
Pooled	4	3.431			

*Significant at 1%

A diagnostic test for multicollinearity also revealed that there was no multicollinearity among the variables because the variance inflation (VIF) values of the independent variables ranged from 1 to 10, as shown in Table 3. Violations of the normality assumption are typically not "fatal" as long as it is caused by skewness and not outliers (Tabachnick and Fidell, 1996). The linearity assumption in discriminant analysis is frequently ignored, unless transformed variables are used as new predictor variables (Clelok, 2017).

Table 3: Test for Multicollinearity

Statistic	Baby's Weight	Maternal Height	Parity	Age
Tolerance	0.9255	0.9227	0.2942	0.2939
VIF	1.0806	1.0838	3.3985	3.4030

The data was then fitted with a quadratic classification function. The quadratic classifier's results demonstrated a significant performance at 1% significance level (Table 4).

Table 4: Test of Model Adequacy

Test Statistic	Value	F Value	Num DF	Den DF	P Value
Wilks' Lambda	0.87260139	19.02	8	2158	<.0001*
Pillai's Trace	0.13040666	18.83	8	2160	<.0001*
Hotelling-Lawley Trace	0.14255142	19.22	8	1539.1	<.0001*
Roy's Greatest Root	0.11168620	30.16	4	1080	<.0001*

* Significant at 1%

Table 5 presents the result of classification and misclassification rates. 32.98 % of the women were correctly classified as below EDC of gestation with a misclassification rate of 67.02%. However, 14.94% of women Within EDC of gestation were misclassified and 85.06% correct classification was achieved. The results further indicated that for women above EDC of gestation, 7.53% were correctly classified while 16.13% and 76.34% were misclassified into below EDC and within EDC, respectively. Consequently, an overall error rate of 0.3963 was achieved under the classification model. Further, the cross-validation option provides a better assessment of classification accuracy. For this data, 84.42% of women who gave birth Within EDC were classified correctly with a misclassification rate of 15.58% into the Below EDC category. From the result, it can be observed that approximately 60.37% (1-0.3963) correct classification of gestation was achieved under classification with QDF, as well as 60.00% (1-0.4000) correct classification rate under the cross-validated results.

Table 5: Quadratic Function Classification Results

	Classified			
	Below EDC	Within EDC	Above EDC	Total
<i>True/Original</i>				
Below EDC	124	252	0	376
Percent	32.98	67.02	0.00	100.00
Within EDC	92	524	0	616
Percent	14.94	85.06	0.00	100.00
Above EDC	15	71	7	93
Percent	16.13	76.34	7.53	100.00
Total	231	847	7	1085
Percent	21.29	78.06	0.65	100.00
Error Rate	0.6702	0.1494	0.9247	0.3963
Priors	0.3465	0.5677	0.0857	
<i>Cross Validation</i>				
Below EDC	124	252	0	376
Percent	32.98	67.02	0.00	100.00
Within EDC	96	520	0	616
Percent	15.58	84.42	0.00	100.00
Above EDC	15	71	7	93
Percent	16.13	76.34	7.53	100.00
Total	231	847	7	1085
Percent	21.29	78.06	0.65	100.00
Error Rate	0.6702	0.1558	0.9247	0.4000

The eigenvalue and canonical correlation coefficient were also used to examine the performance of the discriminant function. The canonical correlation's strength indicates how well the discriminant function can distinguish between different groups. According to Johnson and Wichern (2007), the total structure coefficient is deemed beneficial if it is equal to or higher than 0.30. The eigenvalue and canonical correlation coefficient in Table 6 demonstrate a well-defined model. The hypothesis that the canonical correlation in the current row and all that follows are zero indicated significance at 5 % level of significance, which showed that QDF was correctly specified.

Table 6: Test of Canonical Correlation

	Can. Corr.	Adj. Can. Corr.	Approx. SE	Square Can. Corr.	Eigenvalue
Function 1	0.316963	0.310859	0.027321	0.100466	0.1117
Function 2	0.173035	0.169916	0.029463	0.029941	0.0309
Test	Likelihood Ratio	F Value	Df 1	Df 2	P – Value
Function 1	0.87260139	19.02	8	2158	<.0001*
Function 2	0.97005892	11.11	3	1080	<.0001*

* Significant at 5%

The univariate test of class means (Table 7) reveals the minimum number of variables necessary for discrimination as well as the relevance of each variable in discrimination. The findings show that parity, age, and baby's weight were all significant at 1% ($P < 0.01$). While maternal height was significant at 5% ($P < 0.05$). The R-square and the adjusted R-square values show the amount of variation explained by each discriminating variable. Parity, Age and baby's weight explained large proportions of the variability (7.45%, 6.63% and 6.28%) among the classes and hence indicated their level of contribution to the group separation (Table 7). In contrast to a previous study on maternal height by Derraik et al. (2016), which found that globally, idiopathic preterm births are likely influenced by maternal small stature, partly because of anatomical limitations, the results of this study showed that maternal height was not a contributing variable to the group separation. However, the findings showed that a woman's age had an impact on the gestational differences, which supported a previous publication by UNICEF, WHO, UNESCO, UNFPA, UNDP, UNAIDS, WFP, World Bank (2010), on facts of life, which stated that women between the ages of 15 and 18 are more likely to give birth prematurely, while those over 35 are more likely to have post-term birth.

Table 7: Univariate Test of Class Means

Variable	Total SD	R- Square	Adjusted R- Square	F value	P value
Parity*	1.2313	0.0694	0.0745	40.32	<.0001
Age*	6.5996	0.0622	0.0663	35.86	<.0001
Maternal Height**	3.3289	0.0062	0.0062	3.35	0.0353
Baby's Weight*	0.4200	0.0591	0.0628	33.99	<.0001

* Significant at 1%; ** Significant at 5%

The Receiver Operating Characteristic (ROC) curve is shown in Figure 1. ROC curve is a useful way to interpret sensitivity and specificity levels and to determine related cut scores. The area under the curve (AUC) of a ROC curve represents the overall diagnostic accuracy. The findings of this investigation supported the model's correct specification with an Area Under the Curve (AUC) of 65.4% which was fairly high and a significant P value at 5% level.

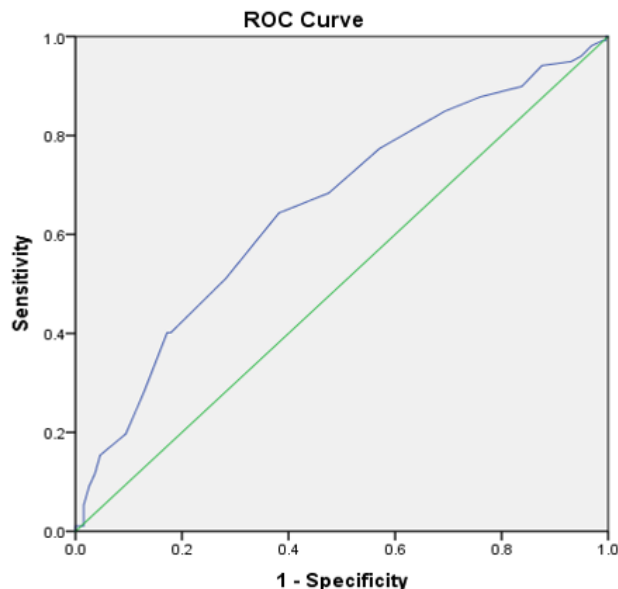


Figure 1: The Receiver Operating Characteristic (ROC)

The structural matrix in Table 8 was used to analyze the significance of each variable in the discriminant function. According to the findings, the first function's main discriminating variables were parity, age and baby's weight, while the second function's only most important discriminating variable is baby's weight. Therefore, these elements are what contribute to birth time discrepancies. However, because parity had the highest structural coefficient of the three factors, it was found to be the most important among the three variables.

Table 8: Structure Matrix

Variables	Function 1	Function 2
Parity	0.762873	-0.603169
Age	0.710869	-0.616739
Maternal Height	0.216592	0.220065
Baby's Weight	0.645211	0.760002

Table 9 displays the standardized and unstandardized canonical discriminant coefficients of the QDF for below EDC, within EDC, and above EDC of gestational differences in women, with first canonical class means of -0.40, 0.14, and 0.72 and second canonical class means of -0.11, 0.13, and -0.43, respectively. The score functions for the quadratic discriminant analysis are computed using the standardized canonical discriminant function coefficients in the table. From the results it was observed that for both functions (1 and 2), baby's weight had the greatest magnitude amongst the other variables. To classify future observations of pregnant women, the unstandardized canonical discriminant function coefficients of Table 9 can be used. For each function, women are classified as belonging to the class whose canonical coefficient is closest to the class mean.

Table 9: Unstandardized and Standardized Canonical Discriminant Coefficients

Variables	Unstandardized		Standardized	
	Canonical 1	Canonical 2	Canonical 1	Canonical 2
Parity	0.464871473	-0.252724515	0.5724168710	-0.3111909080
Age	0.039490654	-0.056991583	0.2606240095	-0.3761238007
Maternal Height	0.018835953	-0.001096003	0.0627038206	-0.0036485304
Baby's Weight	1.541879715	1.865502707	0.6476329653	0.7835637492

The results of this study supported earlier research on post-term and preterm births that found parity, age, and baby's weight to be significant variables influencing the time variations in birth (Marie, et al., 2018: UNICEF, WHO, UNESCO, UNFPA, UNDP, UNAIDS, WFP, World Bank, 2010). The findings also support the conclusions made by Marie D. *et al.*, (2018) that common risk factors underpin changes in the gestational age distribution among women.

Conclusions

Parity, maternal age, and infant birth weight are critical factors influencing gestational outcomes in Navrongo, Ghana. Parity emerged as the most influential predictor, underscoring its potential role in maternal health interventions. Further research should investigate the biological mechanisms underlying this relationship, with emphasis on parity-related physiological and biochemical processes. Monitoring these factors may enhance preterm birth prevention strategies and improve maternal and neonatal health outcomes.

Acknowledgments

We are grateful to the administrator at War Memorial Hospital for authorizing the release of the data used for the study.

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. Bakhteyar, K., Lorzadeh, N., Pouria, Y., Birjardi, M., Ebrahimzadeh, F., and Karman, A., (2012). Factors associated with preterm delivery in women admitted to hospitals in Khorramabad: A case control study. *International Journal of Health and Allied Sciences*, 1(3): 147-152.
2. Célok, T. (2017). *Testing the assumptions for discriminant analysis*. Retrieved from: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0049_08_quantitative_information_forming_meth Accessed 5 April 2017.
3. Derraik, J., Lundgren, M., Cutfield, W., & Ahlsson, F. (2016). Maternal height and preterm birth: A Study on 192,432 Swedish Women. *PLoS ONE*.
4. Ghana Statistical Service (2021). 2010 Population and Housing Census (PHC) Final Results. [Online] Available: www.statsghana.gov.gh/docfiles/2010phc/ (October 28, 2012)
5. Johnson, R.A. and Wichern, D.W. (2007) *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6th Edition, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River
6. Lachenbruch PA, Mickey MA (1968). Estimation of error rates in discriminant analysis. *Technometrics* 10(15):1–11
7. Marie D., Laust M., Ashna D. H., Beatrice B., Mika G., Michael R. K., Jennifer L. R., Paromita D., Jocelyn R., Naho M., Natasha N., Francisco B., Sylvie B., Anne-Marie N. A., and Michael S. K., Jennifer Z. (2018). International variations in the gestational age distribution of births: an ecological study in 34 high-income countries. *The European Journal of Public Health*, Vol. 28, No. 2, 303–309. doi:10.1093/eurpub/ckx131.
8. Ohuma E, Moller A-B, Bradley E (2023). National, regional, and worldwide estimates of preterm birth in 2020, with trends from 2010: a systematic analysis. *Lancet*. (In Press).
9. Sam, U. (2021). Post Term Pregnancy Causes and Risk. *Birth Injury Guide*. <https://www.birthinjuryguide.org/causes/post-term-pregnancy/>

10. Tabachnick, Barbara, G., & Fidell, L. S. (1996). *Using Multivariate Statistics*. New York, NY: HarperCollins College Publishers.
11. UNICEF, WHO, UNESCO, UNFPA, UNDP, UNAIDS, WFP, World Bank (2010) - The Mother and Child Health and Education Trust. <https://web.archive.org/web/20210909235356/https://factsforlife.org/00/foreword.html>
12. UNICEF-WHO. (2015). Low Birth Estimates: Levels and Trends. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-NMH-NHD-19.21>
13. WHO (2021). Born Too Soon: The Global Action Report on Preterm Birth. Eds CP Howson, MV Kinney, JE Lawn.
14. Yamoah, N. A. (2014). *Using Binary Logistic and Quantile Regressions for Determinants of Preterm*.

Factors Associated with the Non-Use of Modern Contraception in the Djougou-Copargo-Ouaké Health Zone in 2024

Zinvokpodo M.K.

Donga Departmental Health Directorate,
Djougou-Copargo-Ouaké Health Zone, Djougou, Benin

Noudamadjo A.

Faculty of Medicine, University of Parakou, Benin

Zinvokpodo R.C.S.

Ouémé Departmental Health Directorate,
Adjohoun-Bonou-Dangbo Health Zone, Adjohoun, Benin

Tokpanoude C.N. Ignace

Benin Community Doctors Association

Tchilamessi J.G.N.K.

University of Parakou, Collective for Research and Innovation in Statistics,
Work, and Software Applications (CRISTAL-ENSPD), Parakou, Benin

Yeni Mpo F.

Departmental Hospital Center of Atacora, Natitingou, Benin

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p13](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p13)

Submitted: 22 July 2025

Accepted: 30 September 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Zinvokpodo, M.K., Noudamadjo, A., Zinvokpodo R.C.S., Tokpanoude, C.N.I., Tchilamessi, J.G.N.K. & Yeni Mpo F. (2025). *Factors Associated with the Non-Use of Modern Contraception in the Djougou-Copargo-Ouaké Health Zone in 2024*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 13. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p13>

Abstract

Introduction: Family planning remains under-utilized in sub-Saharan Africa, despite its contribution to reducing maternal and infant mortality. This study aimed to identify the factors explaining the low use of modern contraceptive methods in the Djougou-Copargo-Ouaké health zone. **Materials and methods:** A descriptive and analytical cross-sectional study was conducted from June 17 to 21, 2024, in the Djougou-Copargo-Ouaké health zone. Data were collected prospectively from women aged 15–49 years who had been living in the area for at least six months. A proportional stratified

random sampling method was used to select participants, and a structured questionnaire was administered in face-to-face interviews by trained community health workers. Data were analyzed using descriptive statistics and multivariate logistic regression to identify factors associated with the non-use of modern contraceptive methods. **Results:** The prevalence of modern contraceptive use was 12.01%. Several factors were associated with low use of modern contraceptive methods: desire to have children (OR = 0.039; $p = 0.001$), low level of knowledge about contraceptive methods (OR = 1.88; $p = 0.048$), lack of awareness of their benefits (OR = 25.93; $p = 0.001$), and no experience of unwanted pregnancy (OR = 2.07; $p = 0.039$). **Conclusion:** These findings highlight the need to raise awareness of modern contraception and to promote the enrolment and retention of young girls in the education system, in order to improve their access to contraceptive methods and strengthen family planning outcomes.

Keywords: Modern contraception, associated factors, Benin

Introduction

High maternal and infant mortality rates are strongly linked to the precarious health of women of childbearing age and their low level of health literacy (SOSSA, 2019). Every year, around **290,000 women** die during pregnancy or childbirth, i.e., around **800 women per day** (INED, 2020). In Benin, the prevalence of modern contraception among women in union increased from 3% in 1996 to 12% in 2017-2018, according to the EDSB-V, a progress still insufficient to reach optimal coverage. This situation reflects deep-seated shortcomings in the healthcare system, exacerbated by low levels of education and limited access to health information for women (WHO, 2022). Family planning (FP) is recognized as a key strategy for reducing maternal and infant mortality (USAID, 2008). Contraception could help prevent around 104,000 maternal deaths each year, representing a 29% reduction (Christin-Maitre, 2022). In addition, making contraceptive methods accessible to all who need them could reduce child mortality by around 10% (Maina et al., 2024). Furthermore, FP contributes to the fight against poverty by enabling families to better manage their resources and plan their future with greater security and stability (UNFPA, 2023). Despite its permanent availability, FP, which is crucial to improving the health of mothers, newborns and children, remains under-utilized in this context. The fifth Demographic and Health Survey in Benin (EDSB-V, 2018) shows a gradual increase in modern contraceptive prevalence among women in union, from 3% in 1996 to 12% in 2017-2018 (INSAE, 2019). However, this progress is insufficient to achieve optimal contraceptive coverage. Moreover, in northern Benin, and more specifically in the Donga department, the prevalence of modern contraceptive

method use among women aged 15-49 in union was just 6% in 2018, a particularly worrying figure (INSAE, 2019).

The example of the Donga department, highlights the persistent challenges. This region, with its socio-cultural and economic particularities, illustrates the need for in-depth analysis of the factors influencing the use of modern contraceptive methods. The aim is to identify the factors associated with the low use of modern contraceptive methods, in order to better achieve national reproductive health and sustainable development goals.

Materials and Methods

The study was conducted in the Djougou-Copargo-Ouaké health zone, located in the Donga department in northwestern Benin. This zone includes three predominantly rural communes and several health facilities that provide family planning services. It was a descriptive and analytical cross-sectional study with prospective data collection, carried out from June 17 to 21, 2024.

The source population consisted of all women of reproductive age (15–49 years) residing in the health zone. Eligible participants were women aged 15 to 49 years who had been living in the area for at least six months and who provided verbal informed consent. Women who were unable to answer the questionnaire due to health reasons or who declined participation were excluded. The sample size was calculated using Schwartz's formula, taking into account the finite size of the target population estimated at 261,881 women (INStaD, 2024). With an expected prevalence of modern contraceptive use of 21.6% (DDS, 2022), a 5% margin of error, and a 95% confidence level, the minimum sample size required was 260 women. By adding a 10% allowance for non-responses, the final expected sample size was 286 women. Sampling was conducted using a proportional stratified random technique, based on the distribution of women of reproductive age in each commune.

Data were collected using a structured questionnaire administered in face-to-face interviews by trained community health workers. The tool was pre-tested in a neighboring zone to ensure clarity and validity. Information collected included sociodemographic characteristics, knowledge and perceptions of modern contraceptive methods, and their actual use or non-use. The dependent variable was the use of modern contraceptive methods, coded as binary (Yes = 1, No = 0). Independent variables included age, education level, marital status, occupation, monthly income, place of residence, religion, level of knowledge of modern contraceptive methods, and perception of family planning services.

Data were entered, cleaned, and analyzed using Epi Info version 7.1.3.3 and SPSS version 26. Qualitative variables were expressed as frequencies and proportions, while quantitative variables were presented as means with standard deviations. Comparisons were made using the Chi-square

test for categorical variables and the student's t-test for means. Binary logistic regression was performed to identify factors associated with the non-use of modern contraceptive methods. The significance level was set at $p < 0.05$.

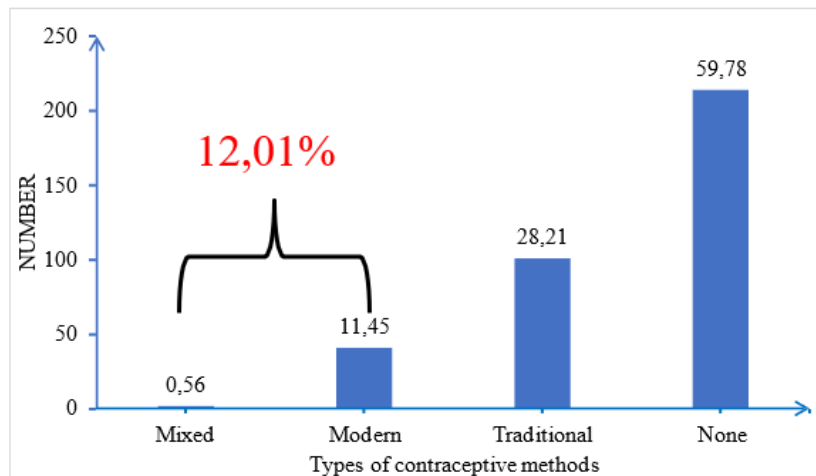
The study complied with ethical principles of confidentiality and anonymity. Authorization was obtained from the Donga Departmental Health Directorate, and verbal informed consent was obtained from each participant prior to questionnaire administration.

Results

Prevalence of modern contraceptive use by women of childbearing age in the DCO health zone

Of the 358 women surveyed, 41 (11.45%) used only modern contraception, 101 (28.21%) used only traditional contraceptive methods, 2 (0.56%) used both modern and traditional contraceptive methods, and 214 (59.78%) used no contraceptive method at all. Thus, a total of 43 women were using modern contraception at the time of the survey, representing a prevalence of 12.01%. Figure 1 shows the distribution of women of childbearing age according to the type of contraception used.

Figure 1: Distribution of women of childbearing age by type of contraception used in the DCO health zone in 2024.

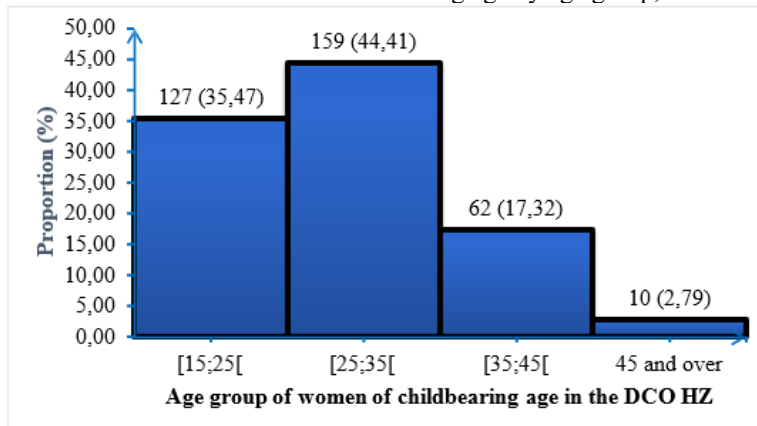


Source: Base from survey in DCO health zone, 2024

Age

The average age of the women surveyed was 27.78 ± 7.49 years, with extremes ranging from 15 to 48 years. The most frequent age bracket was [25; 35], representing 44.41% of respondents.

Figure 2: Distribution of women of childbearing age by age group, ZS DCO, 2024.



Source: Base from survey in ZS DCO, 2024

Religion, marital status, household type and profession

Muslim women accounted for 74.58% of respondents. Moreover, 70.95% of respondents were married women. Among married women, 53.54% were monogamous. Housewives (61.73%) and shopkeepers (14.53%) predominated in this study. Table I shows the distribution of women of childbearing age in the DCO health zone according to religion, marital status, household type and occupation.

Table I: Distribution of women of childbearing age in the DCO health zone, by religion, marital status, household type and occupation in 2024.

	Number	Percentage
Religion		
Muslim	267	74,58
Christian	82	22,91
Endogenous	2	0,56
None	7	1,96
Marital status		
Married	254	70,95
Single	93	25,98
Widowed	7	1,96
Divorced	4	1,12
Type of household (n=254)		
Monogamous	136	53,54
Polygamous	118	46,46
Profession		
Housewife	221	61,73
Tradeswoman	52	14,53
Learner/student	42	11,73
Civil servant/Employee	17	4,75
Craftswoman	17	4,75
Agricultural	9	2,51
Total	358	100,00

Source: DCO HZ survey base, 2024

Women with no Western education represented the majority at 36.03%, followed by those with primary education at 32.68%. The women surveyed came from households with an average socio- economic level (48.32%) and poor households (41.90%). The majority (79.89%) came from rural areas, with a monthly household income of less than 50,000 FCFA, representing 75.42% of those surveyed. Table II shows the distribution of women of childbearing age in the DCO health zone, by level of education, socio-economic level, monthly income and place of residence.

Table II: Distribution of women of childbearing age in the DCO health zone, by level of education, socio-economic level, monthly income and place of residence, in 2024.

	Number	Percentage
Level of education		
None	129	36,03
Primary	117	32,68
Secondary	100	27,93
Higher	12	3,35
Socioeconomic level		0
Very poor	28	7,82
Poor	150	41,9
Average	173	48,32
Rich	7	1,96
Place of residence		
Rural	286	79,89
Urban	55	15,36
Monthly household income		
None	17	4,75
Less than \$50,000	270	75,42
[50 000 ;100 000[	56	15,64
100,000 and over	15	4,19
Total	358	100,00

Source: Base from survey in ZS DCO, 2024

Assessment of knowledge of modern contraception among women of childbearing age in the DCO HZ

Heard about FP and sources of information

Respondents (93.30%) had heard of family planning. The main sources of information on family planning for these women were health centers (84.43%), community relays (45.81%), radio (36.83%) and NGOs (30.84%). Table III shows the distribution of women of childbearing age in the DCO health zone according to their sources of information on family planning.

Table III: Distribution of sources of information on family planning among women of childbearing age who have heard of FP, in the DCO health zone in 2024.

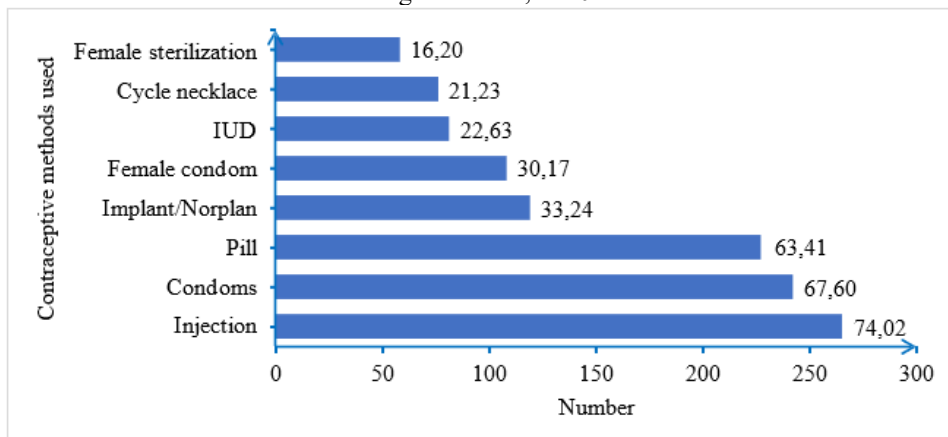
	Number	Percentage
Heard about FP (=Yes)	334	93,30
Sources of information (n=334)		
Health center	282	84,43
Community relay	153	45,81
Radio	123	36,83
NGO	103	30,84
TV	38	11,38
Magazine	17	5,09
Friends/relatives	17	5,09
Total	334	100,00

Source: Base from survey in ZS DCO, 2024

Knowledge of modern contraceptive methods

The modern contraceptive methods most familiar to women were: injections (74.02%), male condoms (67.60%) and pills (63.41%) (figure 3).

Figure 3: Distribution of women of childbearing age in the ZS-DCO according to their knowledge of MCM, in 2024.

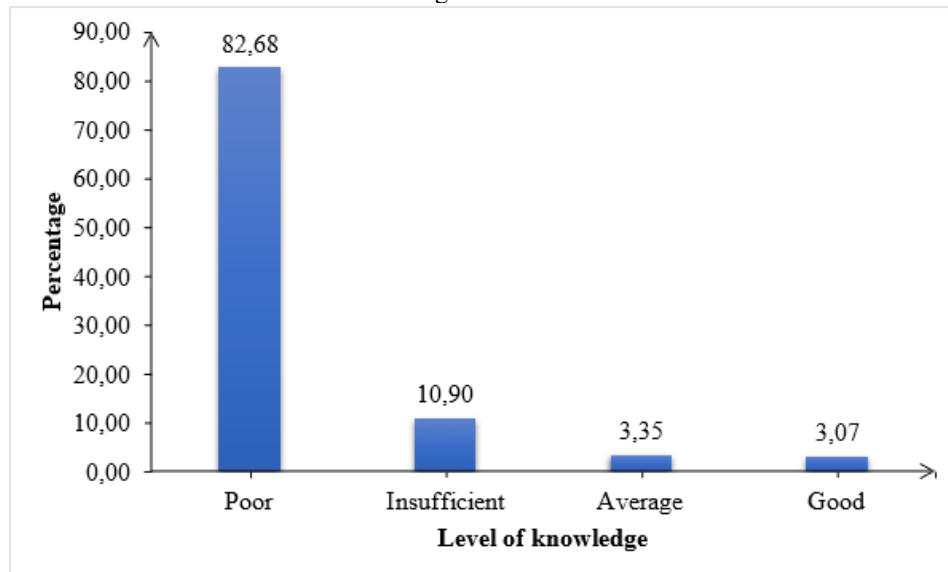


Source: Base from survey in DCO ZS, 2024

Women's overall knowledge of modern contraceptive methods

Some 82.68% of women had a low level of knowledge about contraceptive methods. Figure 4 shows the distribution of women of childbearing age according to their level of knowledge of c

Figure 4: Distribution of women of childbearing age in the DCO health zone, by level of knowledge of MC in 2024.



Source: Base from survey in DCO health zone, 2024

Women's perception of modern contraception

The majority of women have a positive perception of the benefits of modern contraceptive methods, particularly in terms of birth spacing and the prevention of unwanted pregnancies. However, certain constraints limit their use:

- Disruption of the menstrual cycle, perceived as an annoying side effect,
- Spouse's permission required,
- Distance between home and family planning facilities,
- Financial problems, despite fees deemed affordable overall.

Factors associated with non-use of modern contraception

Multivariate analysis revealed several factors negatively influencing the adoption of modern contraceptives:

- Desire to have children (OR = 33.33; $p = 0.001$),
- Low level of knowledge about contraceptive methods (OR = 1.88; $p = 0.048$),
- Lack of awareness of the benefits of contraception (OR = 25.93; $p = 0.001$),
- Negative appraisal of family planning costs (OR = 8.33; $p = 0.001$).

Table IV: Results of multivariate analysis of factors associated with non-use of modern contraceptive methods, ZS DCO, 2024.

Associated factors	OR	P
Desire to have children	33,33	0,001
Low level of knowledge of contraceptive methods	1,88	0,048
Lack of knowledge of the benefits of contraception	25,93	0,001
Negative appraisal of family planning costs	8.33	0,001
No experience of unwanted pregnancy	2.07	0,039

Discussion

Study quality and validity

This study of factors associated with the non-use of modern contraceptive methods in the Djougou- Copargo-Ouaké health zone (ZS-DCO) was based on a rigorous methodology designed to guarantee the validity of the results and their extrapolation to the entire target population. To limit selection bias and ensure a representative sample, proportional stratified probability sampling was used, taking into account the relative size of women of childbearing age in each arrondissement of the zone. This methodological choice ensured balanced coverage and reflected the geographical and socio-demographic diversity of women in the health zone.

In addition, data collection was carried out using a structured, digitized questionnaire, administered by community relays trained in conducting surveys. This arrangement reduced information bias, particularly reporting bias, by promoting better understanding of the questions and ensuring a climate of trust with the respondents. The use of a questionnaire pre-test also made it possible to adjust wording for greater clarity and to ensure the content validity of the collection tool.

Taken together, these methodological measures helped to strengthen the internal and external validity of the study, enabling results to be extrapolated prudently to the female population of childbearing age in the ZS-DCO.

Comments

The study revealed a 12.01% prevalence of modern contraceptive method use among women of childbearing age in the Djougou-Copargo-Ouaké health zone, a low rate although similar to the national average according to the fifth Demographic and Health Survey in Benin (EDS-V, INSAE, 2019), which reports a rate of 12% among women in union. This low uptake can be explained by several factors well documented in the literature, including cultural and religious barriers, limited access to family planning services and persistent misinformation (WHO, 2023; Boadu, 2022;

Guttmacher Institute, 2016).

Furthermore, 82.68% of women surveyed had a low level of knowledge of modern contraceptive methods, although 93.30% had heard of them. This paradox illustrates a significant gap between exposure to information and actual understanding, already observed in other similar contexts (DRAME et al., 2023; Matungulu et al., 2015). This situation suggests that available sources of information are inadequate or unreliable, and highlights the urgent need to strengthen educational campaigns, particularly in local languages and via culturally relevant channels. More generally, we need to improve the level of education or instruction of girls. In our context of low school enrolment rates for girls, studies aimed at identifying factors that could favorably influence the use of MMCs, despite the level of education, would be more relevant.

As far as women's perceptions are concerned, family planning costs are generally considered affordable, and the advantages of modern methods - notably birth spacing and the prevention of unwanted pregnancies - are well understood. However, disadvantages, such as disruption of the menstrual cycle, and social constraints, such as the need for spousal authorization or geographical distance from health facilities, continue to hinder their use (Mbacké Leye et al., 2015; DRAME et al., 2023).

Finally, multivariate analysis identified five factors significantly associated with non-use of modern contraceptive methods: the desire to have children, a low level of knowledge, lack of awareness of the benefits of using MC, a negative assessment of the cost of FP services and never having had an unwanted pregnancy.

These findings concur with those of other work carried out in West Africa, notably in Benin and Guinea (Mbacké Leye et al., 2015; DRAME et al., 2023), and call for targeted awareness-raising and education strategies, mobilizing the media, community leaders, religious figures, as well as digital platforms and social networks, to remove barriers to the adoption of modern contraceptive methods.

Conclusion

This study revealed that only twelve out of one hundred women of reproductive age were using modern contraceptive methods in the Djougou-Copargo-Ouaké health zone in 2024. The main factors associated with non-use included the desire to have children, a low level of knowledge, lack of awareness of the benefits of contraception, and no prior experience of unwanted pregnancy. These findings highlight the importance of improving women's general education and awareness of family planning, as well as considering reproductive desires and past experiences when designing appropriate strategies. However, limitations related to the sample size and the

specific study setting call for caution in generalizing these results to the entire country.

In light of these findings, it is recommended to:

1. Strengthen community awareness campaigns, with a focus on local languages and culturally appropriate communication channels.
2. Improve girls' access to education in order to increase their knowledge and autonomy in reproductive health.
3. Further engage community and religious leaders in the promotion of modern contraception to help overcome persistent socio-cultural barriers.
4. Ensure the continuous availability and financial accessibility of modern contraceptive methods in health facilities across the zone.
5. Promote complementary large-scale studies to confirm and expand these findings, particularly in other regions of Benin.

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 Regarding Human Participants: This study was approved by the Public Health Unit of the Faculty of Health Sciences in Cotonou. Data collection authorizations were obtained from the said unit and from the health authorities of the Borgou Department. The anonymity and confidentiality of the collected data were ensured in accordance with the ethical principles for medical research involving human subjects contained in the Declaration of Helsinki of the World Medical Association.

References:

1. Ahmed, S., Li, Q., Liu, L., & Tsui, A. O. (2012). Maternal deaths averted by contraceptive use: An analysis of 172 countries. *The Lancet*, 380(9837), 111–125. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60478-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60478-4)
2. Boadu, I. (2022). Modern contraceptive use among women in West Africa: A systematic review. *BMC Public Health*, 22(1), 225. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-12503-1>
3. Christin-Maitre, S. (2022). La contraception à travers le monde. *Médecine/Sciences*, 38(5), 457–463. <https://doi.org/10.1051/medsci/2022058>
4. Dramé, L., Kolié, D., Sidibé, S., Yombouno, J. F., & Delamou, A. (2023). Factors associated with contraceptive method use among

- young female students in rural Guinea. *Santé Publique*, 35(6), 129–140. <https://doi.org/10.3917/spub.236.0129>
5. Guttmacher Institute. (2016). *Adding it up: Costs and benefits of contraceptive services—Estimates for 2016*. Guttmacher Institute. <https://www.guttmacher.org/fact-sheet/adding-it-up-contraceptive-services-2016>
6. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique (INSAE). (2019). *Fifth demographic and health survey in Benin (EDSB-V) 2017–2018*. INSAE. https://instad.bj/images/docs/insae-statistiques/enquetes-recensements/EDS/2017-2018/1.Benin_EDSBV_Rapport_final.pdf
7. Institut National d'Études Démographiques (INED). (2020). *Maternal mortality in the world*. https://www.ined.fr/fichier/s_rubrique/263/fichier.fiche.peda.mortalite.maternelle.monde.fr.pdf
8. Maina, B. W., Mutua, M. K., & Kimani, M. (2024). Trends and determinants of contraceptive use in sub-Saharan Africa: Evidence from demographic health surveys. *Reproductive Health*, 21(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s12978-024-01756-1>
9. Maina, O., Souleymane, O. G., Oumarou, S. D., Hamidou, S. D., & Madi, N. (2024). La contraception de longue durée d'action réversible : Une étude prospective dans une maternité universitaire du Niger. *Health Sciences and Disease*, 25(9). <http://www.hsd-fmsb.org/index.php/hsd/article/view/6036>
10. Mbacké Leye, M. M., Faye, A., Diongue, M., Wone, I., Seck, I., Ndiaye, P., & Tal Dia, A. (2015). Determinants of modern contraceptive use in the health district of Mbacké (Senegal). *Santé Publique*, 27(1), 107–116. <https://doi.org/10.3917/spub.151.0107>
11. Sossa, F. (2019). *Relationship between parental education and child mortality in Benin* (Master's thesis, Université de Montréal). Papyrus Institutional Repository. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/23412>
12. United Nations Population Fund (UNFPA). (2023). *Planification familiale*. UNFPA. <https://www.unfpa.org/fr/node/28592>
13. United Nations Population Fund (UNFPA). (2023). *World population report 2023: 8 billion lives, infinite possibilities*. UNFPA. <https://www.unfpa.org/resources/state-world-population-2023>
14. World Health Organization (WHO). (2022). *Contraception*. WHO. <https://www.who.int/health-topics/contraception>
15. World Health Organization (WHO). (2023). *Family planning and contraception*. WHO. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/family-planning-contraception>

Desert Locust Decision Support for Improved Agriculture Production

Mansour Mahamane, PhD

Bako Mamane, MA

Idrissa Maiga, PhD

Boubacar Toukal, PhD

Seydou Tinni, PhD

Issa Garba, PhD

Fatoumata Haidara, MA

AGRHYMET CCR-AOS, Niamey, Niger

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p25](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p25)

Submitted: 15 July 2025

Accepted: 08 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Mahamane, M., Mamane, B., Maiga, I., Toukal, B., Tinni, S., Garba, I. & Haidara, F. (2025). *Desert Locust Decision Support for Improved Agriculture Production*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 25. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p25>

Abstract

The desert locust (*Schistocerca gregaria*) is widely considered to be the most dangerous migratory pest species due to its rapid reproductive capacity, long-distance migration potential, and devastating impact on agriculture and ecosystems. In addition, desert locust populations have increased rapidly, and swarms have invaded eleven countries in West Africa, severely disrupting agricultural production in vulnerable areas already facing security challenges. Timely and accurate information on the desert locust through remote sensing is critical for effectively managing and improving agricultural production, especially in West Africa, where such information is scarce. The objective of this work is to enhance the monitoring and prevention efforts against desert locust outbreaks by integrating remote sensing and decision-support tools. The tool identifies locust development and gregarization zones in order to assess the risk of outbreaks and support decision-making processes. It combines a model on the presence or absence of transient phases of the species, biotope ecological conditions, and gregarization thresholds for both juveniles and flying adults. In this paper, the Google Earth Engine platform is used to monitor eco-meteorological

conditions in key desert locust survival and breeding areas using high-resolution geospatial data. The improvement initiative covers certain aspects of the user interface, real-time data updates, and a fully operational set of eco-climatic indices impacting locust multiplication. These advancements contribute to a more robust decision-support system for locust early warning and control in West Africa.

Keywords: Desert Locust, geospatial data, frontline countries, West Africa

Introduction

The desert locust (*Schistocerca gregaria*) is a species of locust - a periodically swarming, short-horned grasshopper in the family Acrididae. It is primarily found in arid and semi-arid deserts of northern and eastern Africa, Arabia, and southwest Asia, as well as Africa in general, and West Africa in particular (Yeneneh, 2005). Ceccato et al. (2007) reported that desert locust population increased rapidly, and swarms invaded eleven countries in West Africa, severely disrupting agricultural production in areas already facing security challenges.

According to the FAO (2020), the desert locust is the most destructive migratory pest in the world. They are ravenous eaters that consume their own weight per day, targeting food crops and forage. This voracious feeding behavior poses a significant threat to food crops and pasturelands, exacerbating food security concerns in affected regions.

The desert locust is often considered one of the most important and dangerous of all migratory pests in the world (Kietzka et al., 2021). The desert locust, one of about a dozen species of locusts, is a swarming short-horned grasshopper that can migrate great distances during its gregarious phase (Simpson and Sword, 2008). In general, the desert locust breeds extensively in semi-arid zones extending from West Africa through the Middle East to Southwest Asia, threatening the livelihood of over 65 countries (Kimathi et al., 2020).

According to Cressman (2016), the systematic collection and mapping of data showed that desert locust breeding coincided with rainfall, both seasonal and sporadic, and migration was associated with downwind movements. Barrientos-Lozano et al. (2021) reported that the external appearance of the locust also changes: solitary adults are brown or tan in color, whereas gregarious adults are pink (immature) and yellow (mature) with intense black patterns. During invasion periods, gregarious adults form swarms that can be carried by the wind over great distances and threaten crops and pastures in about 50 countries (Ceccato et al., 2007). This particularity of the Sahelian zone requires greater attention to the harmful factors that can negatively impact harvests and threaten food security in these areas.

In 1994, FAO established the “Emergency Prevention System for Transboundary Animal and Plant Pests and Diseases” (EMPRES Desert Locust Component) to strengthen national control teams and improve early warning systems (Ceccato et al., 2007). Based on consultations and user needs assessments, the approach focused on the development of a regional service for monitoring desert locusts - one of the region’s major locust pests that have caused several food crises and famines. The objective of this study is to enhance monitoring and prevention efforts against desert locust population growth. The models determine locust development and gregarization zones to calculate the risk of outbreaks and assist decision-makers.

Materials and methods

Study area and overall framework

This study uses both satellite imagery and field-collected data. The field data are collected by information officers in the frontline countries of Mauritania, Mali, Niger, and Chad. The data collection from the field and process focuses on the level of gregarious areas or biotopes and combine with west Africa countries limited boundary, as illustrated in Figure 1. During each agricultural season, information officers systematically collect data from the gregarious zones, which are centralized within the FAO Reconnaissance and Management System of the Environment of *Schistocerca* (RAMSES) database. The dataset includes site coordinates, site name, surface area, habitat type, rainy season start date, locust presence/absence (Y/N), vegetation type and density, soil moisture, dry spell, wet spell, infestation status, locust type, confirmation, and reliability of presence.

Limited financial and material resources, along with insecurity in most monitored areas, necessitate military escorts for field activities, thereby constraining the technicians' operational flexibility. Consequently, the integration of Earth observation data, particularly P-Locust, offers a potential solution by prioritizing areas for field visits based on predefined parameters. By integrating ground-based observations with remote sensing data, this approach enables a comprehensive analysis of locust population dynamics, facilitating the development of early warning systems and effective management strategies.

To achieve the stated, high-resolution satellite data are required for improvement initiatives to cover certain aspects of the user interface, data updates, and a fully operational eco-climatic index that impacts locust multiplication. For the visualization of soil moisture characteristics, SMAP Level-4 (L4) Soil Moisture top layer (0–10 cm) data are used, with a resolution of 11 km, providing uninterrupted soil moisture data. Landsat 9 Collection 2 Tier 1 is used for calculating the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Aggregated Daily ERA5-Land level (0–7 cm) is used for computing

soil moisture. The precipitation curves are derived from Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS) data, which provide precipitation estimates based on rain gauges and satellite observations.

The Land Surface Temperature data, sourced from the MOD21A1D dataset, are generated on a daily basis using Level 2 gridded intermediate products. The ERA5-Land Reanalysis dataset provides horizontal and vertical wind components (u and v), which are used to compute the mean wind speed within a designated geographical area.

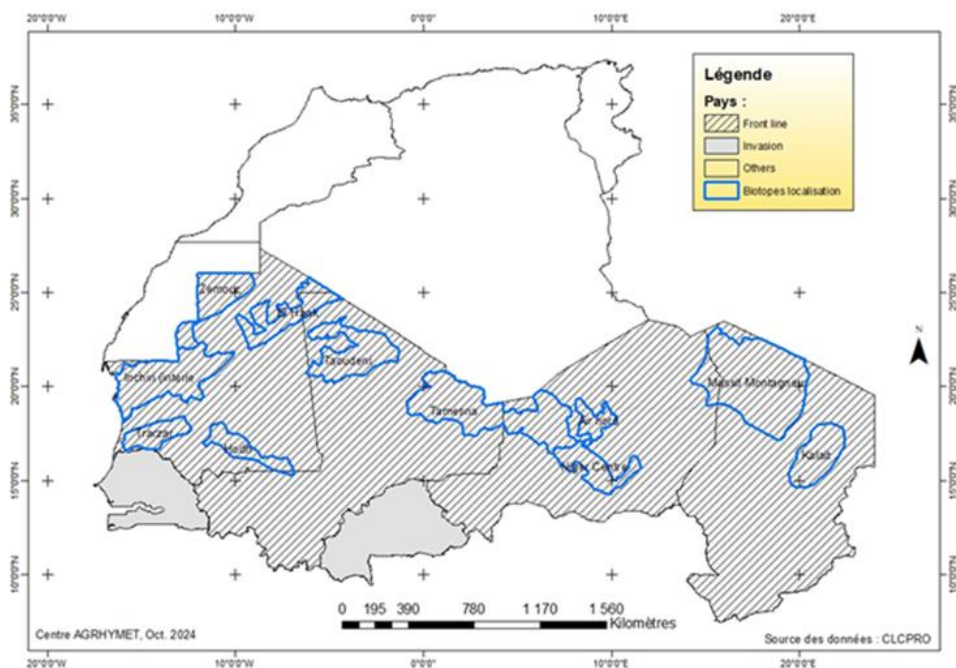


Figure 1: Localization of biotopes as areas of interest for Locust in the desert-frontline countries

The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) digital elevation data was utilized to incorporate geomorphological information into the platform. This dataset represents an international research initiative that acquired digital elevation models on a nearly global scale.

The forecast component for the sub-seasonal forecasts is a climate prediction model developed using a participatory approach. This model is a coupled system consisting of multiple components, including an atmospheric model, an ocean model, a land/soil model, and a sea ice model. These components were integrated to provide a precise representation of current and future climate conditions.

Methods

The study enhances locust population monitoring and preventive measures via a real-time ecological monitoring platform and a predictive model utilizing Google Earth Engine (GEE). This work seeks to enhance the operational capacity for Desert Locust risk, improving information accessibility for decision-makers. This will involve developing a robust workflow and a user-friendly graphical interface to streamline analysis for information officers, focusing on prioritizing data collection sites. Figure 2 presents a Unified Modeling Language (UML) diagram outlining the locust platform analysis process and summarized the method applied for development of the platform.

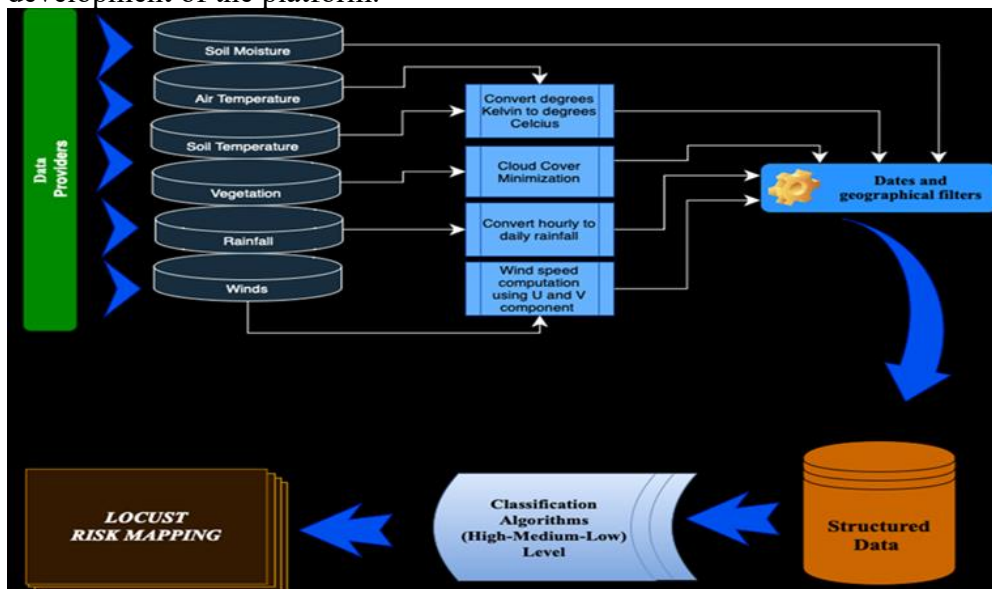


Figure 2: Unified Modeling Language (UML) diagram developed for this study

Processing and classification

The platform's analysis focuses on pixel categorization into three classes of risk: low, medium, and high. Accurate classification is a critical component, with algorithm selection determined by the nature of the classification problem (e.g., class count and type), data statistical properties, input feature quantity, and computational efficiency. Decision trees (DTs) were selected as the classification algorithm due to their intuitive nature, which provides an effective foundation for classification tasks. The labeling process is framed as a series of sequential decisions rather than a single complex choice. Decision sequences constitute the branches of the decision algorithm (DA), with tests conducted at the nodes, while the leaves represent the labels (see Figure 3).

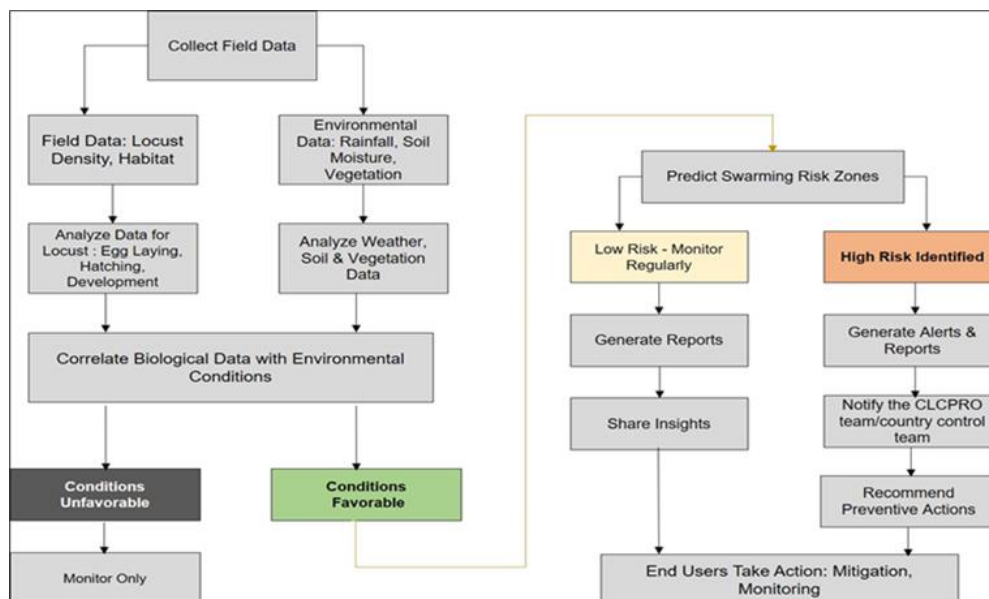


Figure 3: Decision tree

Results

Suitable breeding map for different Desert Locust species based of Field data

Peterson (2006) reported that the environmental niche of a species is considered to consist of three components: abiotic conditions (e.g., temperature, humidity, and soil type), biotic conditions (e.g., species interactions, predation, and invasion), and accessibility, which describes non-biotic conditions.

In this study, suitable breeding habitat was analyzed based on abiotic conditions such as soil moisture and vegetation condition. We considered only the locations of detected areas called biotope locations or breeding locations.

Based on the overlaying of desert locust suitability areas with the vegetation layers (Figure 4) of the affected countries, it was observed that there was a high probability of desert locust breeding in the central regions of Niger and Mauritania in 2021. However, in other countries, such as Mali and Chad, most of the breeding population occurred in regions with low or absent vegetation.

Field data collection is carried out by information officers in the frontline countries of Mauritania, Mali, Niger, and Chad. Data are collected at the level of gregarious areas or biotopes, as illustrated in Figure 4a, b, and c. These figures reflect the type of field data collected, which can be combined with Earth Observation data to achieve effective monitoring. Figure 4a and b show the updated gregarization areas and vegetation conditions in frontline

areas, and Figure 4c shows the updated gregarization areas and the spatial distribution of soil moisture.

When conditions are favorable for reproduction (i.e., moist sandy/clay soils for oviposition and green vegetation for hopper development), desert locusts increase in number and change their behavior from solitary to gregarious, as reported by Usman et al. (2022). Under optimal temperature and habitat conditions, a single female can produce 16 to 20 viable offspring in a single generation (WMO, 2016).

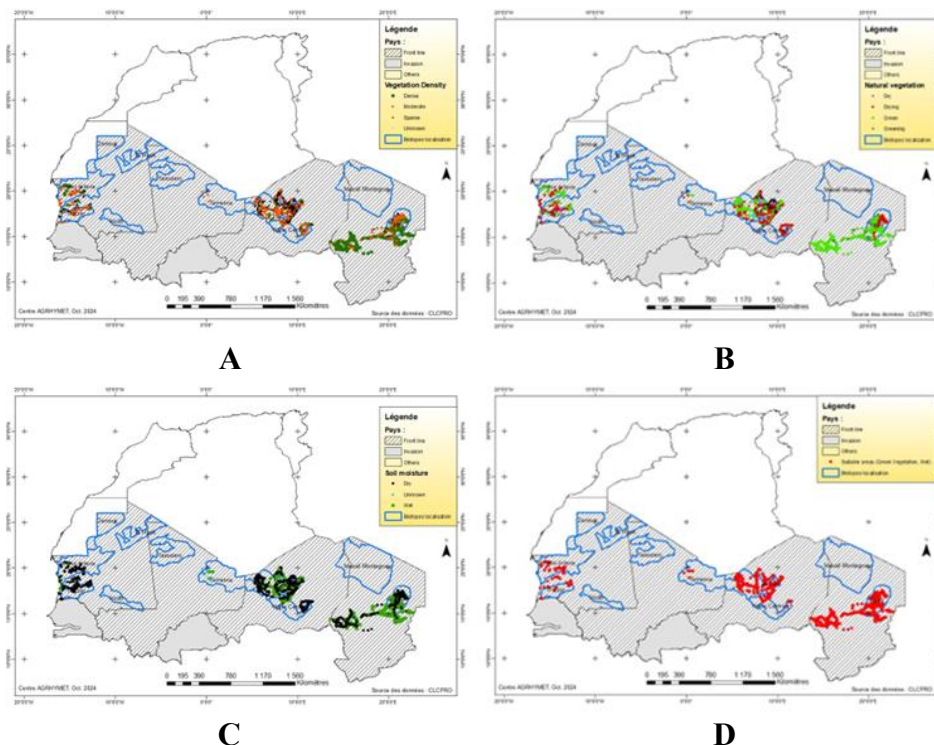


Figure 4: Spatial distribution of a.) vegetation density, b.) natural vegetation, c.) soil moisture, d.) suitable areas for Desert Locust development reflected this situation during 2021

The breeding suitability map was computed using parameters collected from fields such as Soil moisture, vegetation density, natural vegetation (see Figure 4 a, b and c) reflected this situation during 2021. According to Symmons and Cressman (2001), the desert locust hopper development depends on the weather conditions and the vegetation cover. The results of the breeding suitability map are presented in Figure 4d. For a better interpretation, the suitable breeding zones are spatially distributed in the center of Niger, Chad and west of Mauritania. The results indicate that areas not suitable for breeding include Mali. An overlaid layer of the desert locust suitability map in red indicates the areas with the onset of vegetation and soil humidity

favorable for desert locust. This study shows how climatic parameters and vegetation influence the spatiotemporal dynamics of locust occurrence.

Locust platform

Youngblood et al. (2022) stated that locust development is highly dependent on the state of its ecosystem, meteorological conditions, and land use practices. There are a vast number of existing datasets that can be used for locust management. The platform that evaluated the spatial distribution of the breeding conditions is important because it helps planners make sustainable land use decisions (Basu et al., 2020). The Locust platform serves as a tool for monitoring and analyzing locust population dynamics for regional decision-makers. Enhancements enable users to customize selections for specific geographic areas, timeframes, and countries, thereby improving interactivity. Users can access a comprehensive range of weather indices with defined thresholds for breeding and invasion risk, facilitating real-time insights into locust dynamics.

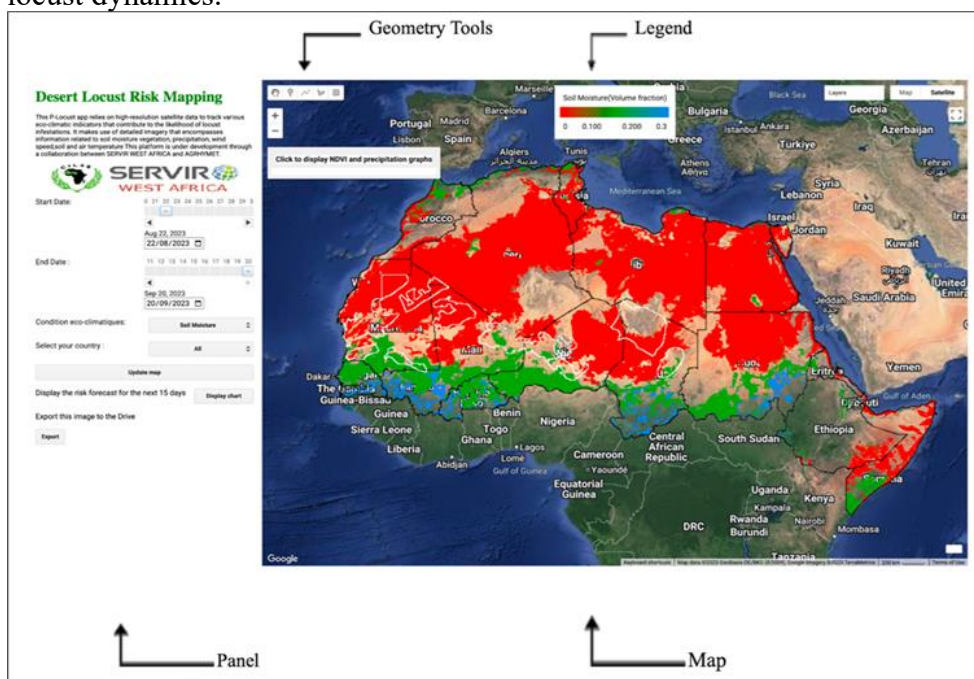


Figure 5: Platform interface, Link:

https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2Ffkiddia3%2Fawash%3AP_Locust

Additionally, the platform now includes a vegetation layer based on the NDVI index, aiding in the identification of potential locust habitats in targeted countries, thereby allowing users to evaluate habitat suitability and mitigate infestation risks. Integrating interactive widgets, intuitive functionalities, and user-friendly visualizations has improved the

comprehension of eco-climatic factors associated with locust risk. The platform also visualizes eco-climatic conditions from the past 30 days and provides forecasts for various parameters, enabling users to anticipate future locust population fluctuations. The educational aspect, featuring machine learning courses, has further augmented the platform's analytical capacity. In summary, the outcomes of this project have evolved the locust platform into a dependable and invaluable resource for locust geospatial information and analysis, offering users unparalleled customization and insights into locust environmental dynamics. This study provides a reliable tool that will guide survey teams to monitor potential breeding areas.

Discussion

The results achieved through the Locust platform represent a significant improvement in the monitoring and analysis of locust dynamics, combining precision with enhanced user-friendliness. The comprehensive improvements made to the platform allow users to customize their analysis by selecting specific geographic regions, timeframes, and countries, thereby improving the overall interactive experience.

Users can now seamlessly access a wide range of meteorological indices - each linked to defined thresholds for reproduction and invasion risk - offering real-time insights into locust dynamics. In addition, the platform incorporates a vegetation classification layer derived from NDVI and climatic variables, which supports the identification of areas with high locust population potential. This functionality enables users to assess habitat suitability and forecast infestation risks more accurately.

The platform has also been enhanced with interactive widgets, intuitive navigation features, and user-friendly visualizations, making it easier to interpret eco-climatic factors associated with locust risk.

Conclusions

The platform now offers a user-friendly and customizable interface, making up-to-date information easily accessible. This work represents a significant step toward addressing the challenges posed by Desert Locust infestations. Additionally, continuing to enhance the capacity of technicians responsible for information on Google Earth Engine (GEE), a new feature of integration of sub-seasonal forecasts data is needed to improve the tools and Dissemination of information were needed. According to this study, several environmental factors influence the presence of locusts in West Africa.

Precipitation, the density of vegetation cover, relative humidity, and temperature in the gregarization areas were distinguished as most influential factors for seasonal outbreaks of the locust population. Further work was needed to investigate the influence of the sub-seasonal information on the

breeding suitability. Regular field data collection and investigation should be employed to achieve better results for the real-time study and early warning system.

Acknowledgments

We wish to express our gratitude to the information officers in the frontline countries of Mauritania, Mali, Niger and Chad, CLCPLRO, AGRHYMET, FAO, and data analysis services provided by the GEE platform. Additionally, we would like to express our sincere thanks to all the field data collectors.

Author contributions

Conceptualization, Mansour Mahamane, Bako Maman and Idrissa Maiga; methodology, Idrissa Maiga, Bako Mamane and Mansour Mahamane; software, Fatoumata Haidar and Mansour Mahamane; validation, Mansour Mahamane, Bako Maman and Idrissa Maiga and Boubacar Toukal; formal analysis, Mansour Mahamane, Seydou Tinni, Issa Garba and Boubacar toukal; investigation, Mansour Mahamane; data curation, Idrissa Maiga; writing original draft preparation, Mansour Mahamane; writing - review and editing, Seydou Tinni, Issa Garba and Boubacar toukal visualization, Mansour Mahamane; supervision, Idrissa Maiga; project administration, Bako Maman. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.” Please turn to the CRediT taxonomy for the term explanation. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work reported.

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

Data Availability: The data presented in this study are available here: https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2Fkkidia3%2Fawash%3AP_Locust.

Funding Statement: This research was funded by SERVIR WA. grant number 72062422100002-ICRISAT SERVIR West Africa 2.

References:

1. Basu, T., Das, A., & Pal, S. (2020). Application of geographically weighted principal unsupervised landslide susceptibility mapping on Gish River Basin, India. *Geocarto Int.* (pp. 1-24). <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1778105>
2. Barrientos-Lozano, L. Song, H., Rocha-Sanchez, A.Y. & Torres-Castillo, J.A.(2021). State of the Art Management of the Central

- American Locust *Schistocerca gregaria* (Walker, 1870), 11(6), 1024; <https://doi.org/10.3390/agronomy11061024>
3. Ceccato P., Cressman K., Giannini A. & Trzaska S. (2007). The desert locust up- surge in west africa (2003–2005): Information on the desert locust early warning system and the prospects for seasonal climate forecasting,” International Journal of Pest Management, vol. 53, no. 1, (pp. 7–13). <https://doi.org/10.1080/09670870600968826>
4. Cressman, K. (2016). “Desert locust,” Biological and environmental hazards, risks, and disasters, (pp. 87–105). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394847-2.00006-1>
5. FAO, (2020). The Locust Crisis: The World Bank's Response (<https://www.worldbank.org/en/topic/the-world-bank-group-and-the-desert-locust-outbreak#3>) visited 3/13/2025.
6. Kietzka, G., J., Lecoq M. & Samways, M. J. (2021). Ecological and Human Diet Value of Locusts in a Changing World. 11(9), 1856, <https://doi.org/10.3390/agronomy11091856>.
7. Kimathi, E., Tonnang, H.E., Subramanian, S., Cressman, K., Abdel-Rahman, E., M., Tesfayohannes, M., Niassy, S., Torto, B., Dubois. T., & Tanga, C.M. (2020). “Prediction of breeding regions for the desert locust *Schistocerca gregaria* in east africa,” Scientific Reports, vol. 10, no. 1, (pp. 11937). DOI: 10.1038/s41598-020-68895-2.
8. Pegion, K., Kirtman, B.P., Becker, E., Collins, D., C., Lajoie, E., Burgman, R., Bell, R., DelSole, T., Min, D., Zhu, Y., Li, W., Sinsky, E., Guan, H., Gottschalck, J., Metzger, E., J., Barton, N., P., Achuthavier, D., Marshak, J., Koster, R., D., Lin, H., Gagnon, N., Bell, M., Tippet, A., R., Sun, S., Benjamin, S., G., Green, B., W., Belck, R., & Kim, H., (2019). The Subseasonal Experiment (SubX): A Multimodel Subseasonal Prediction Experiment, Bulletin of the American Meteorological Society, Volume 100, Issue 10, (p.2043-2060), 10.1175/BAMS-D-18-0270.1.
9. Peterson, A., T. (2006). Uses and Requirements of Ecological Niche Models and Related Distributional Models.10.17161/bi.v3i0.29. Biodiverse. Inform. DOI: <https://doi.org/10.17161/bi.v3i0.29>.
10. Simpson, S., J. & word, G., A. (2008). “Locusts,” Current biology, vol. 18, no. 9, (pp. R364–R366). DOI: 10.1016/j.cub.2008.10.070
11. Symmons, P.M. & Cressman, K. (2001). Desert Locust Guidelines - 1. Biology and behaviour (second ed.), FAO, Rome.
12. Usman, M., Ijaz, M., Aziz, M., Hassan, M., Ahmed, A.M., Soomro, D.M. & Ali, S. (2022). Locust Attack: Managing and Control Strategies by the Government of Pakistan. 59 (2). (pp. 25-33), Pakistan Academy of Sciences. [http://doi.org/10.53560/PPASB\(59-2\)718](http://doi.org/10.53560/PPASB(59-2)718).

13. WMO, (2016). Weather and Desert Locusts. WMO (Series), World Meteorological Organization.
14. Yeneneh, T.B. (2005). Acridid pest management in the developing world: a challenge to the rural population, a dilemma to the international community, 14, (2): (pp.187-195). Journal of Orthoptera Research. [https://doi.org/10.1665/1082-6467\(2005\)14\[187:APMITD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1665/1082-6467(2005)14[187:APMITD]2.0.CO;2)
15. Youngblood, J.P., Cease, A.J., Talal, S., Copa, F., Medina, H.E., Rojas, J.E., Trumper, E.V., Angilletta, M.J. & Harrison, J.F. (2020). Climate change expected to improve digestive rate and trigger range expansion in outbreaking locusts. Ecol. Monogr. 2022. <https://doi.org/10.1002/ecm.1550>.

Metabolic Syndrome and Rheumatic Diseases in Chad: Prevalence, Associated Factors and Clinical Impact

Garba Harine Abdel Aziz

Department of Rheumatology, Chad Refoundation Hospital (HRT),
University of N'Djamena, Chad

Ramadhane Bouchrane

Rheumatology Unit, National Center for Orthopedic Devices (CNAO),
Dakar, Senegal

Adama Bah

Department of Rheumatology, Ignace Deen University Hospital,
Gamal Abdel Nasser University of Conakry, Guinea

Djikoldinguem Marschall Mouandilmadji

Department of Endocrinology, CHURN, N'Djamena, Chad

Hamid Harine Abdel Aziz

Department of Rheumatology, Chad Refoundation Hospital (HRT), Chad

Moustapha Niasse

Saidou Diallo

Department of Rheumatology, Coud Hospital,
Cheikh Anta Diop University of Dakar, Senegal

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p37](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p37)

Submitted: 29 August 2025

Accepted: 29 September 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Abdel Aziz, G.H., Bouchrane, R., Bah, A., Mouandilmadji, D.M., Abdel Aziz, H.H., Niasse, M. & Diallo, S. (2025). *Metabolic Syndrome and Rheumatic Diseases in Chad: Prevalence, Associated Factors and Clinical Impact*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 37. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p37>

Abstract

Objective: To assess the prevalence of metabolic syndrome (MS) and its clinical impact among patients with rheumatic diseases in Chad. **Methods:** A retrospective, cross-sectional, analytical study was conducted at the HRT Rheumatology Department from January 2018 to May 2024. Among 5000 patients, 330 fulfilled IDF and 214 WHO criteria for MS. Clinical, laboratory, and therapeutic data, as well as functional scores (Short Form-36 (SF-36), Disease Activity Score in 28 joints (DAS28), Bath Ankylosing

Spondylitis Functional Index (BASFI), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC)), were systematically analyzed. **Results:** MS prevalence was 6.6% (IDF) and 4.3% (WHO). The cohort was predominantly female (88.7%), with a mean age of 49.8 ± 12.4 years. The most frequent components were abdominal obesity (93.0%), hypertension (89.7%), and hyperglycemia (64.8%). Associated diseases included connective tissue disorders (40.9%), degenerative conditions (34.3%), and autoinflammatory diseases (24.8%). After a mean two-year follow-up, functional and quality-of-life scores improved, although 13 patients developed cardio-renal complications. This retrospective single-center design may limit the generalizability of our findings. **Conclusions:** MS is common among rheumatology patients in Chad and worsens disease prognosis. Systematic screening and multidisciplinary management are essential to improve outcomes and quality of life.

Keywords: Chad; metabolic syndrome; rheumatic diseases; comorbidities; quality of life; Sub-Saharan Africa

Introduction

Metabolic syndrome (MS) is defined as the clustering of several metabolic abnormalities, including abdominal obesity, hypertension, and disturbances in glucose and lipid metabolism. It has become a major public health issue because of its role in the development of cardiovascular diseases and type 2 diabetes (Alberti et al., 2009).

In rheumatology, the presence of MS worsens functional prognosis and increases morbidity. Several international studies have reported a higher prevalence of MS among patients with rheumatoid arthritis, systemic lupus erythematosus, and spondyloarthritis compared with the general population (González-Gay & González-Juanatey, 2017). This association is partly explained by chronic inflammation, which promotes insulin resistance and endothelial dysfunction (Crowson et al., 2013).

In Sub-Saharan Africa, MS is increasing due to nutritional transition and rapid urbanization (Motala et al., 2011). However, little is known about its impact on rheumatic diseases, and, to our knowledge, no large-scale study has been conducted in Chad.

Objective

This study aimed to assess the prevalence of metabolic syndrome and its clinical impact among patients with rheumatic diseases in Chad.

Methods

This was a retrospective, cross-sectional, analytical study conducted in the Department of Rheumatology at the National Refondation University Hospital (HRT). The study period extended from January 2018 to May 2024.

All 5,000 patient records were systematically screened for metabolic syndrome, and only those with complete clinical and laboratory data were included in the analysis ($n = 330$ for IDF criteria, $n = 214$ for WHO criteria).

The study population included all patients followed for rheumatic diseases - whether inflammatory, autoimmune, or degenerative - who had complete medical records.

The diagnosis of metabolic syndrome (MS) was established according to two international definitions. The International Diabetes Federation (IDF, 2005) criteria required the presence of abdominal obesity (waist circumference ≥ 94 cm in men and ≥ 80 cm in women) and at least two metabolic abnormalities (blood pressure $\geq 130/85$ mmHg, fasting glucose ≥ 1.10 g/l, triglycerides ≥ 1.50 g/l, HDL < 0.40 g/l in men or < 0.50 g/l in women). The World Health Organization (WHO, 1999) criteria defined MS by the presence of insulin resistance and at least two additional factors (blood pressure $\geq 140/90$ mmHg, BMI > 30 kg/m² or waist-to-hip ratio > 0.90 in men and > 0.85 in women, triglycerides ≥ 1.50 g/l, HDL < 0.35 g/l in men and < 0.39 g/l in women).

Data collection included sociodemographic characteristics (age, sex, occupation), clinical parameters (rheumatic disease, body mass index, blood pressure, waist circumference), laboratory data (fasting glucose, lipid profile), as well as therapeutic and functional information. Clinical and prognostic evaluation was based on validated scores: Disease Activity Score in 28 joints (DAS28), Bath Ankylosing Spondylitis Functional Index (BASFI), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), and Short Form-36 (SF-36).

Statistical analyses were performed using SPSS software, version 25.0. Quantitative variables were expressed as means $\pm$ standard deviation, and qualitative variables as frequencies and percentages. Comparisons were made using the Chi-square test or Student's t test, with statistical significance set at $p < 0.05$.

Results

A total of 5000 rheumatology patient records were systematically analyzed. The study population consisted of 88.7% women, with a mean age of 49.8 ± 12.6 years.

The prevalence of metabolic syndrome (MS) was 6.6% according to IDF criteria and 4.3% according to WHO criteria. The most frequent

components were abdominal obesity (93%), hypertension (89.7%), and hyperglycemia (64.8%).

Regarding associated rheumatic diseases, connective tissue disorders accounted for 40.9%, degenerative diseases for 34.3%, and autoinflammatory conditions for 24.8%.

Functional outcomes and quality of life were assessed using the SF-36, DAS28, BASFI, and WOMAC. A significant improvement was noted during follow-up, reflecting the benefits of multidisciplinary care.

However, 13 cardio-renal complications were identified: 6 cardiovascular (heart failure, coronary artery disease) and 7 renal (chronic kidney disease, proteinuria).

Table 1: Sociodemographic, clinical characteristics and metabolic syndrome components (n = 330, IDF criteria)

Variables	Results	Components of the Metabolic Syndrome
Mean age (years, $\pm$ SD)	49.8 $\pm$ 12.4	-
Female sex (%)	88.7	-
Male sex (%)	11.3	-
Average BMI (kg/m ²)	29.5 $\pm$ 4.2	-
Waist size (cm)	97.4 $\pm$ 10.6	Abdominal obesity: 93.0%
Average blood pressure	143/89 mmHg	High blood pressure: 89.7%
Glycémie à jeun (g/l)	1.25 $\pm$ 0.4	Hyperglycemia: 64.8%
Serum lipids (triglycerides)	-	Hypertriglyceridemia: 40.0%
Serum lipids (HDL)	-	HDL lowered: 35.7%
Average follow-up duration (years)	2.0 $\pm$ 0.5	-

Table 2: Distribution of rheumatic diseases associated with metabolic syndrome

Rheumatic conditions	n (%)
Connectivites	135 (40.9)
Degenerative diseases	113 (34.3)
Autoinflammatory diseases	82 (24.8)

Table 3: Evolution of functional and quality-of-life scores (before and after follow-up, n = 330)

Scores assessed	Before follow-up (mean $\pm$ SD)	After follow-up (mean $\pm$ SD)	p-value
SF-36 (overall quality of life)	48.2 $\pm$ 11.5	61.7 $\pm$ 13.2	< 0.01
DAS28 (polyarthritis)	5.2 $\pm$ 1.1	3.6 $\pm$ 0.9	< 0.01
BASFI (spondyloarthritis)	6.1 $\pm$ 1.4	4.2 $\pm$ 1.0	< 0.01
WOMAC (osteoarthritis)	67.4 $\pm$ 15.3	49.6 $\pm$ 12.7	< 0.01

Table 4: Comparison of metabolic syndrome prevalence in rheumatology in West Africa and Chad

Country / Reference	Study population	Workforce (n)	Criteria used	Prevalence of MS (%)	Dominant components
Chad (present study)	Rheumatology Patients (HRT) Rheumatology	5000	IDF / OMS	6.6 (IDF) / 4.3 (OMS)	Abdominal obesity, hypertension, hyperglycemia
Senegal (Abandazegoué-Andjembé et al., 2023 – CO06)	Rheumatology Conditions (Le Dantec University Hospital, Dakar)	373	IDF / OMS	8 – 12	Abdominal obesity, hypertension, hyperglycemia
Togo (Nouvedji et al., 2023 – CO07)	Rheumatology Patients (Kara University Hospital)	74	IDF / OMS	≈ 10	Obesity, dyslipidemia, hypertension
Burkina Faso (Savado et al., 2022)	Patients Seen in Rheumatology Consultations (Bogodogo University Hospital)	115	IDF / OMS	47.8	Overweight/obesity, hypertension, hyperglycemia
Benin (Zomaheto et al., 2017)	Chronic Low Back Pain (Cotonou University Hospital)	82	IDF / OMS	29.3	Abdominal obesity, hypertension, hyperglycemia
Congo 32. N'Soundhat, N. E. L., & Teddy, T. (2025)	Centre Médical France-Congo (CMFC)	1149	NCEP-ATPIII	15.9	Hyperglycemia Abdominal obesity, hypertension

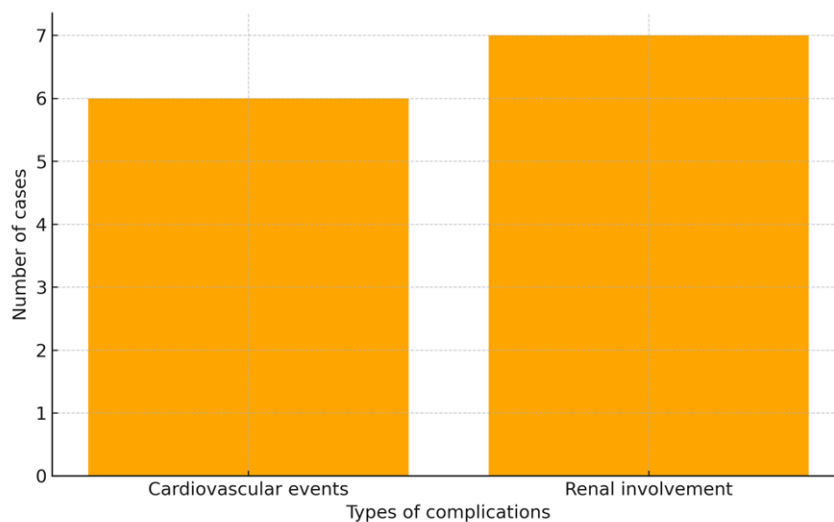


Figure 1. Cardio-renal complications observed

Discussion

In this study, the prevalence of metabolic syndrome (MS) among patients with rheumatic diseases in Chad was 6.6% according to IDF criteria

and 4.3% according to WHO criteria. These rates fall within the lower range of African data.

In Senegal, Abandazegoué-Andjembé et al. reported a prevalence between 8 and 12% in a cohort of 373 patients, close to our findings. In Togo, Nouvedji et al. found similar rates (~10%), confirming a relatively moderate frequency of MS in West Africa. By contrast, data from Burkina Faso (Savadoogo et al.) and Benin (Zomalheto et al.) showed much higher prevalence, 47.8% and 29.3%, respectively. These discrepancies are likely explained by methodological differences (hospital-based targeted populations, smaller sample sizes) and by lifestyle-related factors such as urbanization, obesity, dietary habits, and physical inactivity. These findings are consistent with recent studies that have explored in greater depth the interactions between chronic inflammation, metabolic syndrome, and rheumatic diseases (Bagheri-Hosseinabadi et al., 2024; Luo et al., 2024; Grzechnik et al., 2023).

The predominance of women in our cohort (88.7%) and the mean age (49.8 years) are consistent with findings from Senegal and Togo, where inflammatory rheumatic diseases mainly affect women in early or middle adulthood. The dominant MS components were similar to those described in the subregion, with abdominal obesity and hypertension predominating, sometimes associated with marked dyslipidemia (as reported in Togo).

The clinical improvement observed during follow-up (better SF-36, DAS28, BASFI, WOMAC scores) reflects the benefits of multidisciplinary care. However, the occurrence of 13 cardio-renal complications underlines the significant prognostic burden of MS, also reported in other African studies. These observations are in line with recent recommendations and studies highlighting the importance of systematic screening and integrated management of patients with metabolic syndrome associated with rheumatic diseases (Santos-Moreno et al., 2022; Luo et al., 2024; Grzechnik et al., 2023).

Despite its limitations - retrospective design, single-center setting, lack of standardized laboratory tests - this study represents the first documented report from Chad. Its main contribution lies in providing a regional perspective: while MS prevalence is relatively low in Chad and Senegal, it remains an emerging and concerning comorbidity in West African rheumatology, warranting systematic screening and integrated management. Similar trends have been reported in Congo, highlighting the increasing prevalence of metabolic syndrome in rheumatology outpatient consultations in the region (N'Soundhat & Teddy, 2025).

Conclusion

This first study from Chad highlights that metabolic syndrome affects a substantial proportion of patients with rheumatic diseases. Its main components - abdominal obesity, hypertension, and hyperglycemia - are

consistent with regional data. MS acts as an aggravating factor, warranting systematic screening and integrated management to improve prognosis and patient quality of life.

Authors' Contributions

All authors contributed to the design of the study, data collection, analysis, and manuscript writing. They approved the final submitted version and agreed to take responsibility for its content.

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: The study was conducted in accordance with the ethical principles of the Declaration of Helsinki. It was approved by the ethics committee of the Hôpital de la Refondation du Tchad (HRT) – University of N'Djamena. Informed consent was obtained from patients, and anonymity was preserved at all stages of research and publication.

References:

1. Alberti, K. G. M. M., Eckel, R. H., Grundy, S. M., Zimmet, P. Z., Cleeman, J. I., Donato, K. A., ... Smith, S. C., Jr. (2009). Harmonizing the metabolic syndrome: A joint interim statement of the IDF, NHLBI, AHA, and others. *Circulation*, 120(16), 1640–1645.
2. Crowson, C. S., Myasoedova, E., Davis, J. M., Matteson, E. L., Roger, V. L., Thorneau, T. M., ... Gabriel, S. E. (2013). Increased prevalence of metabolic syndrome associated with rheumatoid arthritis in patients without clinical cardiovascular disease. *Journal of Rheumatology*, 40(11), 1795–1802.
3. González-Gay, M. A., & González-Juanatey, C. (2017). Inflammation, metabolic syndrome and cardiovascular risk in rheumatoid arthritis: Linking mechanisms to clinical practice. *Rheumatology*, 56(1), 7–19.
4. Motala, A. A., Esterhuizen, T., Pirie, F. J., & Omar, M. A. K. (2011). The prevalence of metabolic syndrome and determination of the optimal waist circumference cutoff points in a rural South African community. *Diabetes Care*, 34(4), 1032–1037.
5. Peters, M. J., van Halm, V. P., Voskuyl, A. E., Lems, W. F., Smulders, Y. M., Visser, M., ... Nurmohamed, M. T. ((2009)). Does rheumatoid arthritis equal diabetes mellitus as an independent risk factor for

- cardiovascular disease? A prospective study. *Arthritis & Rheumatism*, 61(11), 1571–1579.
6. Toms, T. E., Panoulas, V. F., John, H., Douglas, K. M. J., & Kitas, G. D. (2012). Metabolic syndrome in rheumatoid arthritis: Association with disease activity, duration and cardiovascular risk factors. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 71(9), 1506–1512.
 7. Savadogo, B., Zabsonré/Tiendrébéogo, W. J. S., Kaboré, F., Nzigou, N., Abassiri, K. A. E., Nonguierma, V., Ouédraogo, A., & Ouédraogo, D. D. (2022). Prévalence du syndrome métabolique en consultation rhumatologie en Afrique subsaharienne. *Rhumatologie Africaine Francophone*, 3(2), 1–5.
 8. Abandazegoué-Andjembé, L. C., Khadiri, A., Diallo, S., Niasse, M., Alkassan, Y., Diouf, C., Diaw, C. A. B., Guèye, Y. A. N., & Bouchrane, R. (2023), 8–10 mars). Syndrome métabolique et pathologies rhumatologiques : étude de 373 observations au Sénégal (CO06). Dans *Livre du programme et des résumés, Congrès STR/SARh, Lomé, Togo. Rhumatologie Africaine Francophone*, 5(2), p. 21.
 9. Nouvedji, K. A., Diallo, M. L., Lokou, P., Gbedey, G., Tiadjéri, M., Koffi-Tessio, V. E. S., Tagbor, C., Dzono-Assoumou, J. G., Fianyo, E., Kakpovi, K., Houzou, P., Oniankitan, O., & Mijiyawa, M. (2023), 8–10 mars). Syndrome métabolique et affections rhumatismales à Kara (CO07). Dans *Livre du programme et des résumés, Congrès STR/SARh, Lomé, Togo. Rhumatologie Africaine Francophone*, 5(2), pp. 21–22.
 10. Zomaheto, Z., Gounongbe, M., & Dossou-Yovo, H. (2017). Influence of metabolic syndrome in low back pain in Benin people. *Open Journal of Rheumatology and Autoimmune Diseases*, 7(3), 153–157.
 11. Alkassan, Y. (2019). Syndrome métabolique et pathologies rhumatismales : étude de 330 observations (Mémoire de médecine, Université Cheikh Anta Diop). Bibliothèque numérique UCAD, cote memm_2019_0658.
 12. Toms TE, Panoulas VF, Douglas KMJ, Griffiths HR, Kitas GD. Methotrexate therapy associates with reduced prevalence of the metabolic syndrome in rheumatoid arthritis patients over the age of 60 - a cross-sectional study. *Arthritis Res Ther*. (2009);11(5):R110. doi:10.1186/ar2765
 13. Grzechnik K, Targońska-Stępnia B. Metabolic syndrome and rheumatoid arthritis activity. *Nutrients*. (2023);15(8):1825. doi:10.3390/nu15081825

14. Özmen M, Yersal Ö, Öztürk S, Ataman Ş. Prevalence of the metabolic syndrome in rheumatoid arthritis. *Eur J Rheumatol.* (2014);1(1):1–4. doi:10.5152/eurjrheum.2014.001
15. Šalamon L, Morović-Vergles J, Marasović-Krstulović D, et al. Differences in the prevalence and characteristics of metabolic syndrome in rheumatoid arthritis and osteoarthritis: A multicentric study. *Rheumatol Int.* (2015);35:2047–57. doi:10.1007/s00296-015-3307-0
16. Luo P, Xu W, Ye D, et al. Metabolic syndrome is associated with an increased risk of rheumatoid arthritis: A prospective cohort study including 369,065 participants (UK Biobank). *J Rheumatol.* (2024);51(4):360–7. doi:10.3899/jrheum.2023-0349
17. Chung CP, Oeser A, Solus JF, Avalos I, Gebretsadik T, Shintani A, Stein CM. Prevalence of the metabolic syndrome is increased in rheumatoid arthritis and is associated with coronary atherosclerosis. *Atherosclerosis.* (2008);196(2):756–63. doi:10.1016/j.atherosclerosis.2007.01.004
18. Dao HH, Do QT, Sakamoto J. Increased frequency of metabolic syndrome among Vietnamese women with early rheumatoid arthritis: A cross-sectional study. *Arthritis Res Ther.* (2010);12(6):R218. doi:10.1186/ar3203
19. Pandey PK, Misra R, Agarwal V. Prevalence of metabolic syndrome in treatment-naïve rheumatoid arthritis patients. *Arch Rheumatol.* (2017);32(4):317–24. doi:10.5606/ArchRheumatol.2017.6318
20. Hee JY, Tan YZ, Fong W-W, et al. Metabolic syndrome and its effect on the outcomes of rheumatoid arthritis: A multi-ethnic cohort in Singapore. *Int J Rheum Dis.* (2022);25(8):935–42. doi:10.1111/1756-185X.14338
21. Apostolopoulos D, Vincent F, Hoi A, Morand E. Associations of metabolic syndrome in systemic lupus erythematosus. *Lupus Sci Med.* (2020);7(1):e000436. doi:10.1136/lupus-2020-000436
22. Loganathan A, Kamalaraj N, El-Haddad C, Pile K. Systematic review and meta-analysis on prevalence of metabolic syndrome in psoriatic arthritis, rheumatoid arthritis and psoriasis. *Int J Rheum Dis.* (2021);24(9):1112–20. doi:10.1111/1756-185X.14147
23. Abourazzak FE, Mansouri S, Najdi A, et al. Prevalence of metabolic syndrome in patients with rheumatoid arthritis in Morocco: A cross-sectional study of 179 cases. *Clin Rheumatol.* (2014);33(11):1549–55. doi:10.1007/s10067-014-2570-x
24. Eldin AB, ElBakry SA, Morad CS, Aly MH. The impact of metabolic syndrome on rheumatoid arthritis in a cohort of Egyptian patients. *Egypt Rheumatol.* (2018);40(1):7–10. doi:10.1016/j.ejr.2017.09.005

25. Tekaya R, Rouached L, Ben Ahmed H, et al. Prevalence of metabolic syndrome in rheumatoid arthritis and association with disease outcomes: A Tunisian study. *Indian J Rheumatol.* (2022);17(4):359–63. doi:10.4103/injr.injr_122_21
26. Cai W, Tang X, Pang M. Prevalence of metabolic syndrome in patients with rheumatoid arthritis: An updated systematic review and meta-analysis. *Front Med.* (2022);9:855141. doi:10.3389/fmed.2022.855141.
27. Grundy SM, Cleeman JI, Daniels SR, Donato KA, Eckel RH, Franklin BA, Costa F. Diagnosis and management of the metabolic syndrome: An AHA/NHLBI scientific statement. *Circulation.* (2005);112(17):e285–90. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.105.169404.
28. agheri-Hosseiniabadi, Z., Moadab, F., & Abbasifard, M. (2024). Prevalence and contributing factors of metabolic syndrome in rheumatoid arthritis patients. *BMC Endocrine Disorders*, 24(1), 140. <https://doi.org/10.1186/s12902-024-01675-5>.
29. Luo, P., Xu, W., Ye, D., Chen, W., Ying, J., Liu, B., Li, J., Sun, X., He, Z., Wen, C., & Mao, Y. (2024). Metabolic syndrome is associated with an increased risk of rheumatoid arthritis: A prospective cohort study including 369,065 participants. *The Journal of Rheumatology*, 51(4), 360–367. <https://doi.org/10.3899/jrheum.2023-0349>.
30. Grzechnik, K., Targońska-Stepniak, B., & Sierakowska, M. (2023). Metabolic syndrome and rheumatoid arthritis activity. *Nutrients*, 15(22), 4745. <https://doi.org/10.3390/nu15224745>.
31. Santos-Moreno, P., Rodríguez-Vargas, G.-S., Martínez, S., Ibatá, L., & Rojas-Villarraga, A. (2022). Metabolic abnormalities, cardiovascular disease, and metabolic syndrome in adult rheumatoid arthritis patients: Current perspectives and clinical implications. *Open Access Rheumatology: Research and Reviews*, 14, 255–267. <https://doi.org/10.2147/OARRR.S285407>.
32. N'Soundhat, N. E. L., & Teddy, T. (2025). Metabolic syndrome in ambulatory rheumatology consultation in the city of Brazzaville, Congo. *Open Journal of Rheumatology and Autoimmune Diseases*, 15(4), 123-131. <https://doi.org/10.4236/ojra.2025.154017>.

The Seasonal Assessment of Heavy Metals Pollution in the Waters of the Mediterranean and Atlantic Seas of Morocco

**Karim S.
Aouniti A.**

Laboratory of Applied Analytical Chemistry Materials and Environment
Faculty of Science, University of Mohammed First, Oujda, Morocco

Belbachir C.

National Food Safety Office Agropolis, Berkane, Morocco

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p47](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p47)

Submitted: 02 April 2025

Accepted: 05 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Karim, S., Aouniti, A. & Belbachir, C.(2025). *The Seasonal Assessment of Heavy Metals Pollution in the Waters of the Mediterranean and Atlantic Seas of Morocco*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 47. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p47>

Abstract

Heavy metal pollution in marine environments poses a major risk to ecosystems and human health due to the persistence, bioaccumulation, and toxicity of metals. The current study aimed to analyze the seasonal patterns of cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), iron (Fe), copper (Cu), chromium (Cr), and nickel (Ni) in seawater samples from two Moroccan coastal regions, Mediterranean Coast (Nador) and Atlantic Coast (Casablanca), during autumn and spring of the 2023-2024 season. A total of 36 water samples were collected from each coast and were analyzed using ICP-AES following the WHO and USEPA guidelines. The data showed that during both coastal regions, Cd concentrations were 0.002 mg/L to 0.020 mg/L, which is above the WHO limit of 0.003 mg/L. Pb concentrations were also higher than the WHO guideline of 0.01 mg/L and reached 0.036-0.120 mg/L, particularly in Casablanca. On the other hand, Fe and Zn concentrations of 0.010-0.255 mg/L and 0.061-0.255 mg/L, respectively, were within safe limits. Seasonal changes showed greater Cd and Pb concentrations in autumn, most likely due to industrial discharges and agricultural runoff. The study raises alarm on the high levels of Cd and Pb contamination in the Mediterranean region and the need to develop policies to properly manage wastewater, regulate industries, and conduct biomonitoring of marine species.

Keywords: Heavy metals; Contamination; Seawater; Pollution; Moroccan coasts; Seasonal variations

Introduction

Marine pollution has emerged as one of the most pressing environmental challenges worldwide, largely driven by the release of contaminants such as industrial effluents, agricultural runoff, domestic wastewater, and heavy metals into aquatic systems (Duce et al., 2009; Wang et al., 2022). Heavy metals are of particular concern because of their persistence in the environment, tendency to bioaccumulate in the food chain, and toxicity, even at very low concentrations (Ali & Khan, 2019; Luo et al., 2014). Once introduced into marine ecosystems, these elements can accumulate in sediments and aquatic organisms, posing significant threats to both ecosystem health and human well-being (El Nemr, 2020; Rahman et al., 2021).

The Moroccan coastal zone, located at the junction of the Mediterranean and Atlantic basins, is of exceptional ecological and economic value. It supports rich marine biodiversity and sustains key sectors such as fisheries, aquaculture, tourism, and maritime trade (Bounoua et al., 1999; El Morhit et al., 2012). However, the rapid pace of industrial growth, urban development, and agricultural expansion has heightened concerns over heavy metal contamination, with potential consequences for marine life and public health (El Moumni et al., 2015; Salghi et al., 2023).

Sources of heavy metals in the marine environment may be anthropogenic - including industrial discharges, mining operations, shipping activities (such as antifouling paints, fuel combustion, and ballast water discharge), or natural, such as rock weathering, volcanic activity, and atmospheric deposition (Pacyna et al., 2006; Amiard et al., 2021). Metals such as cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), iron (Fe), copper (Cu), chromium (Cr), and nickel (Ni) are widely recognized for their hazardous effects on aquatic ecosystems and human health, particularly through seafood consumption (USEPA, 2017; Ahmed et al., 2021). Elevated levels of these metals have been linked to neurotoxicity, carcinogenicity, and organ damage (Jaishankar et al., 2014; WHO, 2018).

Studies conducted in various regions worldwide have consistently reported high concentrations of heavy metals in heavily industrialized and urbanized coastal areas (Agah et al., 2009; Ganjavi et al., 2010; Malafaia et al., 2022). In the Mediterranean Sea, significant lead and cadmium contamination has been documented, primarily due to untreated wastewater discharges and industrial effluents (Bessa et al., 2020; El Baz et al., 2022). Similarly, Atlantic coasts have been increasingly affected by urban

wastewater, oil spills, and port activities (Anweting et al., 2024; Pereira et al., 2021). Despite these global trends, research on heavy metal pollution in Moroccan marine waters remains scarce (Fahssi & Chafi, 2015; Baghdadi Mazini, 2012).

To address this knowledge gap, the present study investigates seasonal variations in heavy metal concentrations in seawater from two Moroccan coastal regions: the Mediterranean coast (Nador) and the Atlantic coast (Casablanca). These sites were selected due to their high socio-economic importance and significant environmental pressures (El Morhit et al., 2012; Salghi et al., 2023).

Conducted over a two-year period (2023–2024) during the autumn and spring seasons, the study aims to:

- Quantify the concentrations of Cd, Pb, Zn, Fe, Cu, Cr, and Ni in seawater from both sites;
- Compare these values to World Health Organization (WHO) standards to assess potential ecological and human health risks;
- Examine seasonal trends to identify influencing factors;
- Compare findings with previous studies from Morocco and other regions to place results in a broader context.

The outcomes will provide valuable baseline information for Moroccan coastal waters, supporting evidence-based management strategies aimed at mitigating heavy metal contamination.

Methodology

Study Area and sampling

The study was conducted in two Moroccan coastal regions. A total of 12 sampling sites were selected along the Mediterranean coast (Nador) (figure 1), and along the Atlantic coast (Casablanca) (Figure 2): Six sites at Nador were selected along the bay and adjacent areas exposed to port activity, industrial discharges, and agricultural runoff, and six sites at Casablanca were chosen near urban discharge points, industrial zones, and shipping lanes.

The Mediterranean coast (Nador)



Figure 1: Location of the six sampling sites along the Nador (Mediterranean) coasts. Sites are labeled S1–S6.

The Atlantic coast (Casablanca)



Figure 2: Location of the six sampling sites along the Casablanca (Atlantic coast). Sites are labeled S1–S6.

To ensure consistency and comparability across seasons, the same sites were sampled during both campaigns (autumn 2023 and spring 2024). These areas were chosen for their economic significance and environmental

vulnerability. Nador is influenced by industrial effluents, port operations, and agricultural runoff, whereas Casablanca is exposed to urban wastewater, industrial emissions, and intense maritime traffic (El Morhit et al., 2012; Baghdadi Mazini, 2012; Salghi et al., 2023). Both are considered high-risk zones for heavy metal pollution (Fahssi & Chafi, 2015; Anweting et al., 2024). -Water samples were collected during two seasonal campaigns (autumn 2023 and spring 2024) to capture seasonal variations. At each of the 12 sites, three replicate samples were taken, yielding 36 samples per campaign and a total of 72 samples for the study.

This sampling density follows APHA (2017) and ISO 5667-9 :2017 recommendations for marine water monitoring, ensuring statistical representativeness and reproducibility.

Sampling Protocol :

1. Sterilized glass bottles pre-cleaned with acid and distilled water were used to prevent contamination (Rodier et al., 2009).
2. Samples were collected at a depth of 50 cm to minimize surface contamination (El Baz et al., 2022).
3. Filtration was carried out using 0.45 μm Millipore membranes to remove suspended particles (Rahman et al., 2021).
4. Samples were acidified with ultra-pure nitric acid (5 mL/L) and stored at 4°C in polypropylene bottles until analysis (Amiard et al., 2021).

Heavy Metal Analysis

Seven metals; Cd, Pb, Zn, Fe, Cu, Cr, and Ni were quantified using Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES), a sensitive and precise method for trace metal detection (El Nemr, 2020; Bessa et al., 2020).

Analytical details :

- Instrument: Thermo Fisher iCAP 6000 Series ICP-AES.
- Calibration: Standard solutions prepared from National Institute of Standards and Technology (NIST) certified reference materials (NIST, 2022).
- Detection limits: Established following USEPA (2017) protocols.

Quality assurance :

- Internal quality control samples analyzed every 10 measurements.
- Matrix effect checks using spiked certified reference materials.
- Triplicate analyses with results expressed as **mean $\pm$ standard deviation**.

Statistical Analysis

Data processing was performed with **SPSS 17.0**.

- Descriptive statistics (mean, standard deviation) were calculated.
- **One-way ANOVA** was used to evaluate seasonal variations.

Data Quality Control

- Blanks and duplicates were included to check for contamination and reproducibility.
- Recovery rates of 92–105% were achieved from spiked sample tests.
- Results were compared with previous Moroccan and international studies for validation (Baghdadi Mazini, 2012; El Moumni et al., 2015; Anweting et al., 2024).

Compliance with International Standards

Measured concentrations were evaluated against:

- WHO water quality standards (2018)
- USEPA guidelines (2017)
- European Union Water Framework Directive (2021)

Results:

Mediterranean Coast (Nador)

Seasonal Variations in Heavy Metal Concentrations in the Mediterranean Coast (Nador)

The concentrations of cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), iron (Fe), copper (Cu), chromium (Cr), and nickel (Ni) in seawater samples collected from the Nador coastline (Mediterranean Sea) during four seasonal campaigns (autumn and spring, 2023–2024) are presented in **Table 1** and illustrated in **Figure 3**. Results are expressed as mean $\pm$ standard deviation (mg/L). Each value represents the mean of triplicate samples collected at six sites, resulting in 18 measurements per season ($n = 18$).

Table 1: Seasonal variations in heavy metal concentrations (mg/L) in seawater from the Mediterranean coast (Nador).

Metal	S1 Autumn	S2 Spring	S3 Autumn	S4 Spring	WHO standard (mg/L)
Cd	0.0047 $\pm$ 0.001	0.004 $\pm$ 0.002	0.005 $\pm$ 0.002	0.014 $\pm$ 0.010	0.003
Pb	0.080 $\pm$ 0.005	0.060 $\pm$ 0.040	0.080 $\pm$ 0.010	0.036 $\pm$ 0.040	0.010
Zn	0.255 $\pm$ 0.090	0.179 $\pm$ 0.080	0.238 $\pm$ 0.100	0.176 $\pm$ 0.080	3.000
Fe	0.010 $\pm$ 0.001	0.060 $\pm$ 0.080	0.013 $\pm$ 0.001	0.045 $\pm$ 0.040	0.300
Cu	0.006 $\pm$ 0.0005	0.034 $\pm$ 0.040	0.006 $\pm$ 0.0005	0.007 $\pm$ 0.001	2.000
Cr	0.002 $\pm$ 0.003	0.019 $\pm$ 0.020	0.001 $\pm$ 0.002	0.006 $\pm$ 0.005	0.050
Ni	0.015 $\pm$ 0.001	0.036 $\pm$ 0.020	0.015 $\pm$ 0.001	0.025 $\pm$ 0.010	0.070

*The highlighted values show that these levels exceed the standard set by the WHO standard

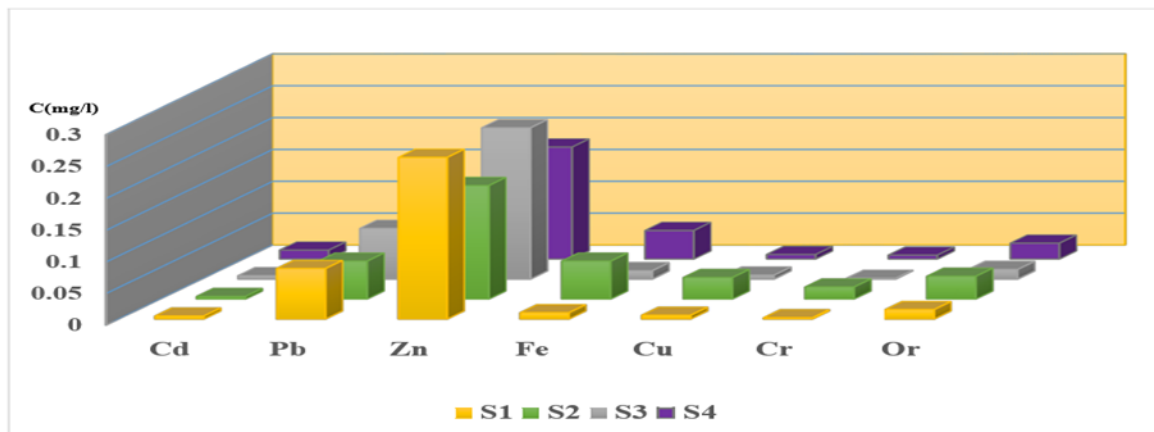


Figure 3: Seasonal variations in metal levels in seawater samples

Analysis of heavy metals in seawater samples shows that the highest concentrations are zinc, which ranges from a minimum of 0.176 mg/L obtained during in the fourth spring season, and a maximum level of 0.255 mg/L recorded during the first autumn season, these values do not exceed the WHO standard of 3 mg/L. For lead, a maximum level of 0.08 mg/L was recorded during the two fall seasons studied, and the lowest level was obtained during the fourth spring season at a value of 0.036 mg/L, the results found during all the seasons studied exceed the WHO standard of 0.01 mg/L for lead. Similarly, for cadmium, the WHO standard is 0.003 mg/L, while the concentrations obtained during the first three seasons exceed this standard, with the highest value being in the order of 0.005 mg/L. Iron concentrations range from 0.06 mg/L, which is the highest concentration, to 0.01 mg/L, which is the lowest concentration obtained during the first fall season. Nickel has non-negligible levels such that the highest level is 0,036 mg/L, and the lowest value is of the order of 0,015 mg/L. For copper and chromium, the concentrations are low such that the highest concentrations are respectively (0.034 mg/L, 0.019 mg/L). The ranking of metal accumulation across the four sampling seasons is summarized in **Table 2**.

Table 2: The order of accumulation of heavy metals during the four seasons

Metal	Seasonal ranking (highest to lowest)
Cd	S4 > S3 > S1 > S2
Pb	S3 > S1 > S2 > S4
Zn	S1 > S3 > S2 > S4
Fe, Cu, Cr, Ni	S2 > S4 > S3 > S1

Thus, we can establish an order of enrichment for the different metal elements during the four seasons studied and we obtain the result presented in the **table 3** below:

Table 3: Heavy metal enrichment order for the four seasons:

Season	Enrichment order
S1 Autumn	Zn> Pb > Ni > Fe > Cu > Cd > Cr
S2 Spring	Zn > Pb > Fe > Ni > Cu > Cr > Cd
S3 Autumn	Zn> Pb > Ni > Fe > Cu > Cd > Cr
S4 Spring	Zn > Fe > Pb > Ni > Cd > Cu > Cr

Atlantic Coast (Casablanca)

Seasonal Variations in Heavy Metal Concentrations in the Atlantic Coast (Casablanca)

The concentrations of cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), iron (Fe), copper (Cu), chromium (Cr), and nickel (Ni) in seawater samples collected from the Casablanca coastline (Atlantic Ocean) during four seasonal campaigns (autumn and spring, 2023–2024) are summarized in **Table 4** and illustrated in **Figure 4**. Results are expressed as mean $\pm$ standard deviation (mg/L). Each value represents the mean of triplicate samples collected at six sites, yielding 18 measurements per season (n = 18).

Table 4: Seasonal variations in heavy metal concentrations (mg/L) in seawater from the Atlantic coast (Casablanca)

Metal	S1 Autumn	S2 Spring	S3 Autumn	S4 Spring	WHO standard (mg/L)
Cd	0.002 $\pm$ 0.0007	0.014 $\pm$ 0.020	0.020 $\pm$ 0.0009	0.016 $\pm$ 0.060	0.003
Pb	0.110 $\pm$ 0.010	0.120 $\pm$ 0.009	0.111 $\pm$ 0.010	0.080 $\pm$ 0.060	0.010
Zn	0.070 $\pm$ 0.010	0.080 $\pm$ 0.005	0.063 $\pm$ 0.020	0.061 $\pm$ 0.030	3.000
Fe	0.139 $\pm$ 0.040	0.140 $\pm$ 0.040	0.112 $\pm$ 0.010	0.145 $\pm$ 0.030	0.300
Cu	0.116 $\pm$ 0.070	0.131 $\pm$ 0.050	0.087 $\pm$ 0.090	0.098 $\pm$ 0.0001	2.000
Cr	0.050 $\pm$ 0.020	0.068 $\pm$ 0.020	0.049 $\pm$ 0.030	0.042 $\pm$ 0.030	0.050
Ni	0.060 $\pm$ 0.010	0.069 $\pm$ 0.010	0.066 $\pm$ 0.0009	0.047 $\pm$ 0.030	0.070

*The highlighted values show that these levels exceed the standard set by the WHO standard

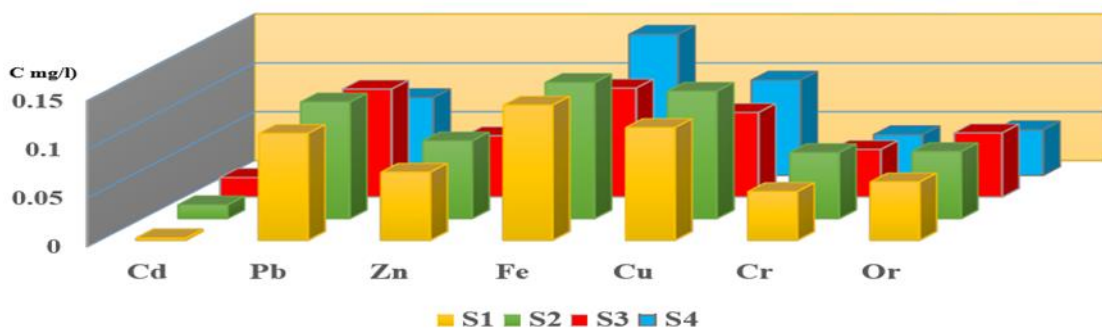


Figure 4: Seasonal variations in metal levels in seawater samples

The results of the analysis of heavy metals in the sea water samples of the Atlantic coast of Casablanca, show that all metal concentrations are high, and that there is not a very significant difference between the concentrations found, such that the iron contents are the highest and they vary between a

minimum of 0.112 mg/L obtained during the third autumn season, and a maximum content of 0.145 mg/L recorded during the fourth spring season, moreover these values do not exceed the WHO standard of 0.3 mg/L. For lead, a maximum level of 0.120 mg/L was recorded during the second spring season, and the lowest level was obtained during the fourth spring season at a value of 0.08 mg/L, the results found during all the seasons studied far exceed the WHO standard of 0.01 mg/L for lead. Similarly, for cadmium, the standard is 0.003 mg/L, while concentrations over three seasons exceed this standard, with the highest value being in the order of 0.02 mg/L. Copper concentrations range from 0.131 mg/L, which is the highest concentration, to 0.087 mg/L, which is the lowest concentration in the third fall season. Zinc has non-negligible levels such that the highest level is 0,08 mg/L and the lowest value is in the order of 0,061 mg/L. For chromium, and nickel, concentrations are low relative to other levels found, such that the highest levels are respectively (0.068 mg/L, 0.069 mg/L). The ranking of metal accumulation across the four sampling seasons is summarized in **Table 5**.

Table 5: Seasonal ranking of heavy metal concentrations in Casablanca seawater

Metal	Seasonal ranking (highest to lowest)
Cd	S3 > S4 > S2 > S1
Pb, Ni	S2 > S3 > S1 > S4
Zn, Cr	S2 > S1 > S3 > S4
Fe	S4 > S2 > S1 > S3
Cu	S2 > S1 > S4 > S3

The overall enrichment order of metals during the four seasons is presented in **Table 6**.

Table 6: Overall enrichment order of heavy metals in Casablanca seawater

Season	Enrichment order
S1 Autumn	Fe > Cu > Pb > Zn > Ni > Cr > Cd
S2 Spring	Fe > Cu > Pb > Zn > Ni > Cr > Cd
S3 Autumn	Fe > Pb > Cu > Ni > Zn > Cr > Cd
S4 Spring	Fe > Cu > Pb > Zn > Ni > Cr > Cd

Discussion

Mediterranean Coast (Nador)

The results from Nador reveal distinct seasonal patterns in heavy metal concentrations. Among the metals analyzed, zinc (Zn) displayed the highest levels across all seasons, ranging from 0.176 to 0.255 mg/L. Although Zn levels were relatively elevated, they remained well below the WHO permissible limit of 3 mg/L.

In contrast, lead (Pb) concentrations were consistently above the WHO guideline of 0.01 mg/L, with values between 0.036 and 0.080 mg/L. Similarly, cadmium (Cd) exceeded its WHO threshold of 0.003 mg/L in three out of four

seasons, reaching up to 0.005 mg/L, and showing a marked increase in spring 2024 (0.014 mg/L). These findings indicate significant contamination risks from Pb and Cd in the study area.

Other metals, including Fe, Cu, Cr, and Ni, were detected at lower levels. Iron (Fe) concentrations ranged from 0.010 to 0.060 mg/L, always remaining below the WHO limit of 0.3 mg/L. Nickel (Ni) levels varied between 0.015 and 0.036 mg/L, also below the WHO permissible value of 0.07 mg/L. Copper (Cu) and chromium (Cr) displayed the lowest concentrations, never approaching international standards.

The elevated levels of Cd and Pb in Nador may be attributed to industrial activities (including metallurgy and phosphate-based industries) and agricultural practices involving fertilizers and pesticides. Phosphate fertilizers are known to contain Cd residues, while Pb contamination is often linked to industrial discharges and shipping activities. Seasonal rainfall likely plays a key role by enhancing surface runoff, which mobilizes these contaminants into coastal waters. The higher autumn values support this explanation, as rainfall and stormwater discharges are more pronounced during this period.

These observations are consistent with studies conducted in other parts of the Mediterranean. For example, research in Turkey (Şimşek et al., 2021) and Italy (Bessa et al., 2020) also reported elevated Cd and Pb levels near industrial and port areas. Conversely, Spanish Mediterranean waters have generally shown lower concentrations (Pereira et al., 2021), reflecting the impact of stricter environmental regulations and wastewater management.

Overall, the results suggest that anthropogenic activities, combined with seasonal hydrological factors, strongly influence the variability of heavy metal pollution in Nador. Continuous monitoring and stricter control of effluents are therefore essential to reduce contamination in this vulnerable coastal ecosystem.

Atlantic Coast (Casablanca)

The results from Casablanca indicate consistently elevated levels of several heavy metals, with iron (Fe) showing the highest concentrations across all seasons. Values ranged between 0.112 and 0.145 mg/L, which are below the WHO permissible limit of 0.3 mg/L but remain relatively high compared to other metals analyzed.

Lead (Pb) and cadmium (Cd) displayed particularly concerning patterns. Pb concentrations varied between 0.080 and 0.120 mg/L, exceeding the WHO guideline of 0.01 mg/L in all seasons. Similarly, Cd levels ranged from 0.002 to 0.020 mg/L, surpassing the WHO standard of 0.003 mg/L during three out of four seasons. These findings highlight significant contamination in the Casablanca coastal waters, particularly from Pb and Cd, which are recognized for their toxicity and persistence.

Copper (Cu) and nickel (Ni) were also present at noteworthy levels. Cu concentrations ranged from 0.087 to 0.131 mg/L, remaining below the WHO limit of 2 mg/L but suggesting local enrichment possibly linked to port activities and antifouling paints. Ni concentrations varied between 0.047 and 0.069 mg/L, approaching but not exceeding the WHO threshold of 0.07 mg/L. Chromium (Cr) levels (0.042–0.068 mg/L) also remained close to the international limit of 0.05 mg/L, which raises concern given their potential ecological and health impacts.

When compared to global studies, the elevated Pb and Cd concentrations in Casablanca are consistent with findings from other industrialized Atlantic coasts. For instance, Brazilian coastal waters showed Pb concentrations of 0.11 mg/L (Malafaia et al., 2022), similar to our maximum of 0.12 mg/L. Likewise, Cd levels above WHO limits have been reported in Nigerian coastal waters (Anweting et al., 2024), where port activities contribute significantly to metal enrichment. In contrast, studies from European Atlantic coasts, such as France, reported Pb concentrations below 0.05 mg/L, largely due to stricter wastewater treatment and environmental policies (Pereira et al., 2021). The markedly higher Pb levels in Casablanca suggest insufficient pollution control and ongoing discharges from industrial and maritime activities.

The most plausible sources of heavy metal contamination in Casablanca include heavy industrialization (notably in the automotive, chemical, and petroleum sectors), untreated wastewater discharges, and intense port activity. Industrial effluents and urban runoff contribute Cd and Pb, while shipping emissions and antifouling coatings are well-documented sources of Cu and Pb in coastal waters (Bouthir et al., 2006; Salghi et al., 2023). Seasonal differences, with higher levels often observed in autumn, are likely linked to rainfall-induced runoff that mobilizes contaminants from terrestrial sources.

Overall, the findings confirm that Casablanca waters are under considerable anthropogenic pressure. The persistence of Pb and Cd contamination, coupled with near-threshold concentrations of Cr and Ni, underscores the urgent need for improved wastewater management, stricter regulatory enforcement, and continuous monitoring programs in this highly industrialized coastal region.

Seasonal Trends and Environmental Implications

Influence of Seasonal Changes

A clear seasonal trend was observed in both study areas, with higher metal concentrations generally recorded during autumn compared to spring. This pattern can be explained by increased rainfall and surface runoff in autumn, which transport contaminants from industrial zones, agricultural

lands, and urban discharge points into the marine environment. Similar findings have been reported in other coastal regions, where stormwater runoff significantly contributes to seasonal metal enrichment (Dupont et al., 2022). In contrast, the lower concentrations observed in spring may result from greater dilution due to enhanced water circulation and, potentially, reduced industrial activity during this season. These seasonal dynamics highlight the strong influence of hydrological conditions on metal mobility and accumulation in coastal waters.

Environmental and Health Risks

The consistent exceedance of WHO standards for Pb and Cd is of particular concern, as both metals are highly toxic and bioaccumulative. Chronic exposure to these contaminants has been associated with severe health effects, including neurological, renal, and cardiovascular disorders (Jaishankar et al., 2014). From an ecological perspective, elevated Pb and Cd levels may impair marine biodiversity by affecting reproduction, growth, and survival of aquatic organisms. Furthermore, the bioaccumulation of these metals in fish and shellfish poses direct risks to seafood safety, particularly for local populations that rely heavily on fisheries for their diet (Ahmed et al., 2021).

In contrast, Fe and Zn concentrations remained within internationally accepted limits, suggesting lower immediate risks from these metals. Nevertheless, continuous monitoring is warranted, as long-term accumulation could still exert ecological pressure. Ni and Cr, although detected below or close to permissible thresholds, should also be carefully monitored given their potential toxicity and the proximity of some values to WHO standards.

Overall, the seasonal variations observed in this study emphasize the combined influence of anthropogenic pressures and natural hydrological cycles. The exceedance of critical thresholds for Pb and Cd demonstrates that Moroccan coastal waters, particularly near urban and industrial hubs, remain vulnerable to heavy metal contamination with direct implications for environmental health and human food safety.

Comparison with Previous Moroccan Studies

The results obtained in this study were compared with previously published data on heavy metal contamination in Moroccan coastal waters (Table 7).

Table 7: Comparison of heavy metal concentrations (mg/L) between this study and previous Moroccan studies

Study Location	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Reference
Casablanca (this study)	0.080–0.120	0.002–0.020	0.070–0.080	0.112–0.145	Current work
Loukkos Estuary	0.060	0.004	0.110	0.090	El Morhit et al., 2012
Saïdia Coast	0.040	0.002	0.090	0.070	Fahssi & Chafi, 2015
Moroccan Atlantic (general)	0.050	0.003	0.080	0.100	Baghdadi Mazini, 2012

When compared with earlier findings, our results reveal a concerning trend, particularly for Pb and Cd. Concentrations of these two metals in Casablanca during 2023–2024 are substantially higher than those reported in previous Moroccan studies. For example, Pb concentrations in Casablanca (0.080–0.120 mg/L) exceed those recorded in Saïdia (0.040 mg/L) and in the Loukkos estuary (0.060 mg/L). Similarly, Cd concentrations in this study reached 0.020 mg/L, far above the values reported in earlier surveys, which rarely exceeded 0.004 mg/L.

The data suggest a worsening trend in Pb and Cd contamination over the last decade, reflecting increased anthropogenic pressures such as industrial discharges, untreated wastewater, and port activities along the Casablanca coastline. Interestingly, earlier research conducted between 2012 and 2015 had indicated a slight improvement in water quality, as Cd and Pb levels were lower in Saïdia compared to the Loukkos estuary. However, the present study demonstrates a reversal of this trend, with renewed increases in toxic metal concentrations.

This comparison highlights the urgent need for tighter environmental regulations and effective wastewater treatment infrastructure in Moroccan coastal cities. Without immediate intervention, Pb and Cd contamination may continue to rise, posing growing risks to marine biodiversity, fisheries, and public health.

Conclusion

This study provides a comprehensive assessment of seasonal variations in heavy metal concentrations in Moroccan coastal waters, focusing on the Mediterranean coast (Nador) and the Atlantic coast (Casablanca) during 2023–2024. The results revealed critical exceedances of lead (Pb) and cadmium (Cd) relative to WHO standards. In Nador, Pb ranged from 0.036 to 0.080 mg/L and Cd from 0.004 to 0.014 mg/L, both surpassing the respective limits of 0.01 mg/L and 0.003 mg/L. In Casablanca, Pb concentrations were even higher (0.080–0.120 mg/L) and Cd reached up to 0.020 mg/L, confirming persistent contamination in both regions.

Other metals, including zinc (Zn: 0.061–0.255 mg/L), iron (Fe: 0.010–0.145 mg/L), copper (Cu: 0.006–0.131 mg/L), chromium (Cr: 0.001–0.068 mg/L), and nickel (Ni: 0.015–0.069 mg/L), remained below international thresholds. However, the proximity of Cr and Ni concentrations to their guideline values suggests that continuous monitoring is necessary.

The observed seasonal differences, with higher concentrations generally recorded in autumn, highlight the influence of rainfall and runoff in mobilizing pollutants from industrial, agricultural, and urban sources. These

findings are consistent with international studies and reinforce the role of both anthropogenic and hydrological factors in shaping coastal water quality.

The implications of these results are significant. Exceedances of Pb and Cd pose risks not only to marine biodiversity but also to human health, particularly through the bioaccumulation of toxic metals in seafood consumed by local populations. Without effective intervention, the contamination trend observed in Casablanca may worsen, as suggested by the comparison with earlier Moroccan studies.

Recommendations

- **Strengthen environmental regulations** to limit heavy metal discharges from industrial and port activities.
- **Implement advanced wastewater treatment plants** to reduce urban and industrial effluents entering coastal waters.
- **Establish continuous biomonitoring programs** for seawater, sediments, and marine organisms to track long-term contamination trends.
- **Promote public awareness and community engagement** regarding the risks of heavy metal pollution and the importance of sustainable coastal management.

In conclusion, Moroccan coastal waters, particularly near Casablanca, are facing increasing heavy metal contamination that requires urgent regulatory and scientific attention. Proactive measures are essential to safeguard both ecosystem health and food safety for coastal communities.

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. Agah, H., Leermakers, M., Elskens, M., Fatemi, S. M. R., & Baeyens, W. (2009). Accumulation of trace metals in the muscle and liver tissues of five fish species from the Persian Gulf. *Environmental Monitoring and Assessment*, 157(1–4), 499–514. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0547-5>
2. Ahmed, M. K., Baki, M. A., Islam, M. S., Kundu, G. K., Habibullah-Al-Mamun, M., Sarkar, S. K., & Hossain, M. M. (2021). Human health risk assessment of heavy metals in tropical fish and shellfish collected from the river Buriganga, Bangladesh. *Environmental Science and*

- Pollution Research, 28(9), 10658–10670.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-11019-6>
3. Ahmed, M., Zhou, J. L., & Ho, J. (2021). Heavy metal toxicity in marine organisms and implications for human health. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 112982.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112982>
4. Ali, H., & Khan, E. (2019). Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs: Concepts and implications for wildlife and human health. *Human and Ecological Risk Assessment*, 25(6), 1353–1376. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1469398>
5. Amiard, J. C., Amiard-Triquet, C., Barka, S., Pellerin, J., & Rainbow, P. S. (2006). Metallothioneins in aquatic invertebrates: Their role in metal detoxification and their use as biomarkers. *Aquatic Toxicology*, 76(2), 160–202. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.08.015>
6. Amiard, J. C., Amiard-Triquet, C., & Rainbow, P. S. (2021). *Metals: Sources, toxicity and remediation*. CRC Press.
7. Anweting, I. A., Numbere, A. O., & Okafor, J. I. (2024). Heavy metal pollution and ecological risk assessment in sediments from the Gulf of Guinea. *Marine Pollution Bulletin*, 185, 114269.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114269>
8. Baghdadi, D. M. (2012). *Pollution of the marine environment and human health: Measure, assessment, and impact of chemical and biological contaminants in fishery products on the Moroccan coast (Doctoral dissertation)*. Abdelmalek Essaadi University, Faculty of Science and Technology, Tangier, Morocco.
9. Behra, R., Sigg, L., & Weilenmann, U. (2002). Copper and zinc content of periphyton from two rivers as a function of dissolved metal concentration. *Aquatic Sciences*, 64(3), 300–306.
<https://doi.org/10.1007/s00027-002-8074-0>
10. Bessa, F., Barriá, P., Neto, J. M., Frias, J., Otero, V., Sobral, P., & Marques, J. C. (2020). Microplastics in Mediterranean coastal area: Toxicity and impact for marine biota. *Environmental Pollution*, 263, 114429. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114429>
11. Bounoua, L., Collatz, G. J., Los, S. O., Sellers, P. J., Dazlich, D. A., Tucker, C. J., & Randall, D. A. (1999). Interannual variability of vegetation cover in Morocco. *International Journal of Remote Sensing*, 20(5), 961–967. <https://doi.org/10.1080/014311699213247>
12. Bouthir, F., Chafik, A., & Mouzdahir, A. (2006). Environmental impact of industrial releases: The accumulation of chromium in the aquatic compartments along the Casablanca–Mohammedia coastline.

- Water Quality Research Journal of Canada, 41(4), 418–426.
<https://doi.org/10.2166/wqrj.2006.046>
13. Duce, R. A., LaRoche, J., Altieri, K., Arrigo, K. R., Baker, A. R., Capone, D. G., Cornell, S., Dentener, F., Galloway, J., Ganeshram, R. S., Geider, R. J., Jickells, T., Kuypers, M. M., Langlois, R., Liss, P. S., Liu, S. M., Middelburg, J. J., Moore, C. M., Nickovic, S., ...Zamora, L. M. (2008). Impacts of atmospheric anthropogenic nitrogen on the open ocean. *Science*, 320(5878), 893–897.
<https://doi.org/10.1126/science.1150369>
 14. El Baz, S., Addoun, F., Bakkali, M., & El Amrani, R. (2022). Assessment of heavy metal contamination in sediments from the Moroccan Mediterranean coast. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113185. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113185>
 15. El Baz, A., Hakkou, R., & El Amrani, R. (2022). Assessment of heavy metal contamination in Moroccan coastal waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 12345–12360.
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-17618-2>
 16. El Morhit, M., El Houssaine, A., & Fekhaoui, M. (2012). Seasonal and spatial variation of heavy metals in the intertidal sediments of the Oued Souss estuary (Bay of Agadir, Morocco). *African Journal of Environmental Science and Technology*, 6(3), 116–123.
<https://doi.org/10.5897/AJEST11.156>
 17. El Moumni, B., El Morhit, M., Chafi, A., & El Houssaine, A. (2015). Assessment of heavy metal contamination in marine sediments from the Moroccan coastal area. *Environmental Earth Sciences*, 73(8), 4625–4638. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3725-1>
 18. El Nemr, A. (2020). Impact, monitoring and management of environmental pollution. Nova Science Publishers.
 19. European Union. (2021). Water Framework Directive. Official Journal of the European Union, L327/1. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>
 20. Fahssi, A., & Chafi, A. (2015). Contribution to the study of metal bioaccumulation in sediments and aquatic organisms of the Saidia coast. *European Scientific Journal*, 11(5), 334–360.
<https://doi.org/10.19044/esj.2015.v11n5p%25p>
 21. Ganjavi, M., Ezzatpanah, H., Givianrad, M. H., & Shams, A. (2010). Heavy metal contamination in fish and sediments from the coastal waters of the Persian Gulf. *Environmental Monitoring and Assessment*, 162(1–4), 49–59. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0771-9>
 22. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of

- some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72.
<https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
23. Luo, W., Lu, Y., Wang, T., Hu, W., Jiao, W., Naile, J. E., Khim, J. S., & Giesy, J. P. (2014). Heavy metal contaminations in a soil–rice system: Identification of spatial dependence in relation to soil properties of paddy fields. *Journal of Hazardous Materials*, 280, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.07.032>
24. Malafaia, G., de Souza, M. M., de Jesus, T. B., & Ribeiro, R. X. (2022). Microplastics and associated contaminants in aquatic environments: A review of ecotoxicological effects on biota. *Environmental Pollution*, 293, 118497. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118497>
25. National Institute of Standards and Technology. (2022). Certified reference materials for heavy metal analysis. U.S. Department of Commerce. <https://www.nist.gov>
26. Pacyna, E. G., Pacyna, J. M., Steenhuisen, F., & Wilson, S. (2006). Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000. *Atmospheric Environment*, 40(22), 4048–4063.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.041>
27. Pereira, M. E., Duarte, A. C., Millward, G. E., Abreu, S. N., Vale, C., & Raimundo, J. (2021). Heavy metal contamination in European coastal waters: A comparative study. *Science of the Total Environment*, 764, 144270.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144270>
28. Rahman, Z., Thomas, S., Singh, V. P., & Hossain, M. A. (2021). Assessment of heavy metal contamination and human health risk in urban soils of an industrial city in Bangladesh. *Environmental Geochemistry and Health*, 43(1), 1–16.
<https://doi.org/10.1007/s10653-020-00633-y>
29. Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). *L'analyse de l'eau* (9th ed.). Dunod. ISBN : 9782100541799
30. Salghi, R., Labjar, N., Bazzi, L., & Hammouti, B. (2023). Heavy metal contamination and ecological risk assessment in sediments from the Moroccan Atlantic coast. *Marine Pollution Bulletin*, 185, 114254.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114254>
31. Şimşek, A., Demirtaş, M., Yıldırım, A., & Yalçın, M. (2021). Heavy metal pollution in the Turkish Mediterranean coast. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 9(6), 1076–1085.
<https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i6.1076-1085.3827>
32. United States Environmental Protection Agency. (2017). Integrated risk information system (IRIS) assessment of lead.
<https://www.epa.gov/iris>

33. World Health Organization. (2018). Joint FAO/WHO expert committee on food additives (JECFA) assessment of cadmium, inorganic arsenic, lead, and polycyclic aromatic hydrocarbons. WHO Technical Report Series, 1011, 1–66. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/260442>
34. Wang, Z., Li, J., & Chen, Y. (2022). Marine pollution by heavy metals: Sources, impacts, and management. Marine Pollution Bulletin, 176, 113478.

Feeding on Exudates and Leaves of Cassava Cultivars with Varying Cyanogenic Potentials: Implications for the Biology of *Typhlodromalus aripo*, a Key Biocontrol Agent of Cassava Green Mite in Africa

Nazer Famah Sourassou

Centre d'Excellence en Protection Durable des Cultures, Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture, Université de Kara, Togo

Komi Agboka

Laboratoire de Recherche sur les Agroressources et la Santé Environnementale, Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de Lomé, Togo

Koffi Negloh

Institut Togolais de Recherche Agronomique, Kara, Togo

Rachid Hanna

Center for Tropical Research, University of California, Los Angeles, USA

Atti Tchabi

Centre d'Excellence en Protection Durable des Cultures, Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture, Université de Kara, Togo

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p65](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p65)

Submitted: 18 September 2025

Accepted: 20 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Famah Sourassou, N., Agboka, K., Negloh, K., Hanna, R., & Tchabi, A. (2025). *Feeding on Exudates and Leaves of Cassava Cultivars with Varying Cyanogenic Potentials: Implications for the Biology of Typhlodromalus aripo, a Key Biocontrol Agent of Cassava Green Mite in Africa*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 65.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p65>

Abstract

The predatory mite *Typhlodromalus aripo*, a key biological control agent of the cassava green mite in Africa, is known to feed on cassava exudates and, in the absence of prey, directly on cassava leaves. While cassava cultivars differ greatly in cyanogenic potential (CNP), the consequences of feeding on exudates and leaves from cultivars with different CNP levels for *T. aripo*

biology remain unknown. We conducted laboratory experiments to evaluate several life history parameters of *T. aripo* on exudates and leaf discs of three cassava cultivars – TME1 (low CNP), TMS91934 (moderate CNP), and TMS82/00661 (high CNP). *T. aripo* completed its development on exudates of all three cultivars, being faster with higher survival on exudate of TMS82/00661 (6.8 days, 68.2%) compared with TME1 (7.9 days, 53.8%) and TMS91934 (8.2 days, 56.8%). None of the exudates supported oviposition, although adult female survivorship was highest on TMS82/00661. *T. aripo* was unable to develop beyond the deutonymph stage on the leaf discs of all three cassava cultivars. However, juvenile and adult longevity were greater on TME1 compared with the two other cultivars. Exudates were free of cyanogenic glycosides with similar amino acid concentrations; however, sugar content was twice as high in exudates of TMS8200661 compared with the other cultivars. These findings highlight the importance of cassava exudate quality for predator persistence and biological control success.

Keywords: Phytoseiids, cassava, pest, exudate, nutritional value, cyanide, biological control

Introduction

Among natural enemies, predatory mites of the family *Phytoseiidae* are the most widely studied worldwide, including in Africa, due to their proven potential as biological control agents against key agricultural pests such as spider mites, thrips, and whiteflies (Gerson et al., 2003; McMurtry et al., 2013). There is substantial evidence that many predatory mites utilize plant-based foods such as pollen, nectar, and exudates, which allow them to persist during periods when their primary prey is scarce, therefore enhancing the biological control of target pest (Price et al., 1980; Overmeer, 1985; Bakker and Klein, 1992; Bruce-Oliver et al., 1996; Coll and Guershon, 2002; Nomikou et al., 2010; McMurtry et al., 2013; Samaras et al., 2021). In addition, several phytoseiid predators have been shown to extract nutrients directly from leaf tissues (Porres et al., 1975; Grafton-Cardwell and Ouyang, 1996; Magalhães and Bakker, 2002; Gnanvossou et al., 2005).

In cassava (*Manihot esculenta*), foliar exudates are produced along the petioles and midribs of young leaves (Klein, 1990). The quantity and quality of these exudates vary with cultivar, plant vigor, plant age, and time of day (Oduor, 1988; Klein, 1990). Previous studies have demonstrated the positive effects of cassava exudates on phytoseiid predators, including improved survival and development (van Rijn and Tanigoshi, 1999; Magalhães and Bakker, 2002; Toko et al., 1994). Cassava is also a major cyanogenic food crop (Cooke and Coursey, 1981). Cyanogenic glycosides occur in leaves and roots, with concentrations in leaves typically preceding those in roots (Cook

and De La Cruz, 1982). These compounds release hydrogen cyanide upon hydrolysis and are well known for their toxicity to arthropods (Houk et al., 1989; Hansen et al., 1991).

The predatory mite *Typhlodromalus aripo* DeLeon is a successful biological control agent of the cassava green mite (*Mononychellus tanajoa* Bondar), a major pest of cassava in Sub-Saharan Africa (Yaninek and Hanna, 2003). Several ecological studies have been conducted to improve understanding of host plant–predator interactions involving cassava and *T. aripo* (Onzo et al., 2003; Gnanvossou et al., 2005; Hanna and Onzo, 2009; Onzo et al., 2012; Onzo et al., 2013; Onzo et al., 2014). This predator feeds on cassava exudates and, in the absence of prey, can also feed directly on cassava leaf (Bakker and Klein, 1992; Magalhães and Bakker, 2002; Gnanvossou et al., 2005). However, cassava cultivars differ considerably in their levels of cyanogenic glycosides, and it remains unclear whether feeding on exudates and leaves from cultivars with high cyanogenic potential (CNP) negatively influences the biology of *T. aripo*.

The objective of the present study was therefore to compare, under controlled laboratory conditions, several life history parameters of *T. aripo* when feeding on exudates and/or leaf discs of three cassava cultivars with different levels of CNP: TME1 (low CNP), TMS91934 (moderate CNP), and TMS82/00661 (high CNP (IITA, 1990)).

Materials and methods

Predator and rearing technique

The predator, *T. aripo*, used in the experiment was collected from a cassava field near Sè, Cotonou, Benin (Gnanvossou et al., 2003), and reared in the laboratory of IITA, station of Benin at $25 \pm 1^\circ\text{C}$, and 70-90% RH and under 12h:12h light-dark cycle. The rearing followed Megévand et al. (1993). The petioles of cassava leaves infested with *M. tanajoa* are introduced into vials ($\varnothing = 1\text{ cm}$ $L = 3\text{ cm}$) containing water and sealed with parafilm. The vials were placed on a black PCV tile (25 x 25 cm) laying on a foam pad (29 x 29 x 3.5 cm) in a plastic tray (37 x 37 x 56 cm) filled with water. Absorbent paper bands are stretched smoothly along the edges of the tile to provide a water source to the mites as well as to prevent them from escaping and avoid possible contamination by other arthropods.

Cassava cultivars and exudate production

The three cultivars (TME1, TMS91934, TMS82/00661) used in the study were obtained from the Plant Breeding Section of IITA-Ibadan station. The cassava cultivar AGRIC used in the experiments with exudates was obtained from the field of IITA-Benin. The cassava cultivars were grown in a greenhouse with temperature and relative humidity (RH) ranging between 29–

32°C and 65–72% respectively. Approximately 30 cassava cuttings (≈ 20 cm each) of each cultivar were singly planted in plastic pots (≈ 14 cm diameter at the base and 18 cm high) previously filled with about 40 kg of topsoil collected from IITA campus field. Plastic pots were then placed on an iron bench (350 x 180 x 76 cm) (L x W x H) arranged 65 cm apart. The plantation was done 4 weeks prior to the commencement of the experiments. Exudates were collected earlier in the morning (6-7 am) and used in the experiments. The excess exudate was kept in a refrigerator at 4 °C and used when necessary. Leaf discs were excised from clean leaves collected from these cassava plants and immediately used in the experiments.

Experimental conditions

All experiments were performed in the laboratory at $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 70-90% R.H. and 12L/12D photoperiod. Experimental units consisted of the leaf discs (2.5 cm) fitted to the bottom of the Petri dishes of the same size. Two opposite holes (2 mm diameter) were made in the sides of the dishes and covered with fine nylon mesh for aeration. The leaf discs were placed on a wet agar-agar solution in the dishes and were changed as soon as possible.

Development and survival on exudates of the three cassava cultivars

Approximately 300 mated females from the stock cultures were confined in the rearing arena for 24 h. After this period, females were removed, and the eggs laid were individually transferred to experimental units as described above. Thirty experimental units were established for each treatment.

For development on exudates, each experimental unit was assigned exudates from one of three cassava cultivars: TME1, TMS91934, or TMS82/00661. Leaf discs excised from the cassava cultivar Agric were used as the substrate in all experimental units. Each unit was supplied daily with a sufficient amount of exudate. Control treatment consisted of units provisioned with *M. tanajoa* (the prey). Experimental units were examined daily to determine the developmental stage reached, the duration of immature development, and survival to adulthood.

Development and survival on leaf discs of the three cassava cultivars

To assess development and immature longevity on leaf discs, individual eggs were placed directly onto leaf discs of one of three cassava cultivars: (a) TME1, (b) TMS91934, or (c) TMS82/00661. No additional food was provided. Leaf discs were excised from clean leaves of each cultivar and served both as substrate and food source for *T. aripo*. Control treatments consisted of individuals maintained on parafilm alone or parafilm supplied with water. Leaf discs were replaced as soon as deterioration was observed.

Experimental units were examined daily to record the development, and observations were continued until natural death in order to determine immature longevity.

Oviposition and adult survival on exudates of the three cassava cultivars

Approximately 200 mated females were selected from the culture and confined in the rearing arena for 24 h. After females were removed, newly laid eggs were reared until adulthood. Newly emerged females were then isolated and transferred individually into experimental units provisioned with the respective cassava exudates. For insemination, a single male was introduced into each unit for 24 h. Thereafter, experimental units were monitored daily to record oviposition and female survival. Oviposition was recorded for 10 consecutive days, while female survival was monitored for up to 20 days.

Adult survival on combined leaf discs and exudates of each cassava cultivar

In a separate experiment, females were maintained simultaneously on leaf discs and exudates of each cassava cultivar, following the same procedure as described above, and their survival was monitored daily for 20 days.

Adult longevity on leaf discs of the three cassava cultivars

To determine adult longevity on leaves, newly emerged females were individually placed on clean leaf discs excised from each cassava cultivar (TME1, TMS91934, and TMS82/00661). Leaf discs were replaced every 24–72 h to ensure freshness. Each experimental unit was examined daily until the female's natural death, and longevity was recorded.

Biochemical analysis of exudates and leaves from the three cassava cultivars

Biochemical analyses were conducted at the Biochemistry Laboratory of IITA, Ibadan. Exudates were collected from clean potted cassava plants grown in a greenhouse. Collections were made in the early morning (06:00–07:00 h) using sterile pipettes and transferred into 1-ml hermetic plastic tubes. Each tube was filled with at least 0.5 ml of exudate. Exudates were analyzed for sugar and amino acids, and cyanide.

For the analysis of cyanide in the leaves, 1g of clean leaves collected from each cultivar was introduced in a 15 ml plastic tube containing 10 ml of 1 M H₂SO₄ solution. Five tubes (5 replicates) were set up for each cultivar.

Statistical analysis

Differences among cassava cultivars in developmental time, fecundity, and longevity of *T. aripo* were tested using a single-factor analysis of variance (ANOVA) within the General Linear Model framework, followed by Student–Newman–Keuls (SNK) multiple range tests to separate means. The same

approach was applied to compare sugar and amino acid concentrations in exudates, as well as cyanogenic glycoside concentrations in leaves of the three cassava cultivars. A chi-square test was used to assess the effect of treatment on juvenile survival (proportions of individuals reaching adulthood) and adult female survival (proportions of females surviving until the end of the observation period). All analyses were performed using SAS software (SAS Institute, 2005).

Results

Development of *T. aripo* on the exudates and leaves of the three cassava cultivars

T. aripo completed its development on exudates of all three cassava cultivars, but developmental rates differed significantly among cultivars. Development was fastest on exudate from TMS82/00661 (6.8 days), intermediate on TMS91934 (7.9 days), and slowest on TME1 (8.2 days), with no significant difference between the latter two. In all cases, development on exudates was significantly longer than on the prey *M. tanajoa* (5.2 days) (Table 1). Survival to adulthood was highest on TMS82/00661 exudate (68.2%), followed by TMS91934 (56.5%) and TME1 (53.8%). In contrast, *T. aripo* failed to complete development on cassava leaf discs, reaching the deutonymph stage. On parafilm and parafilm + water controls, development was even more limited, with individuals failing to progress beyond the larval stage (Table 1).

Juvenile and adult longevity on leaves of the three cassava cultivars

Juvenile longevity on leaf discs was significantly influenced by cassava cultivar ($F_{2,183.6} = 6.78$, $P < 0.002$), and a similar effect was observed for adult longevity ($F_{2,71.9} = 9.69$, $P < 0.0003$). Juveniles maintained on leaf discs of cultivar TME1 survived slightly longer (4.3 days) than those reared on leaf discs of TMS91934 (3.2 days) and TMS82/00661 (2.9 days) (Figure 1B). Similarly, adult females maintained on leaf discs of TME1 lived somewhat longer (3.5 days) compared to those on TMS91934 (2.57 days) and TMS92/00661 (2.10 days) (Figure 1A).

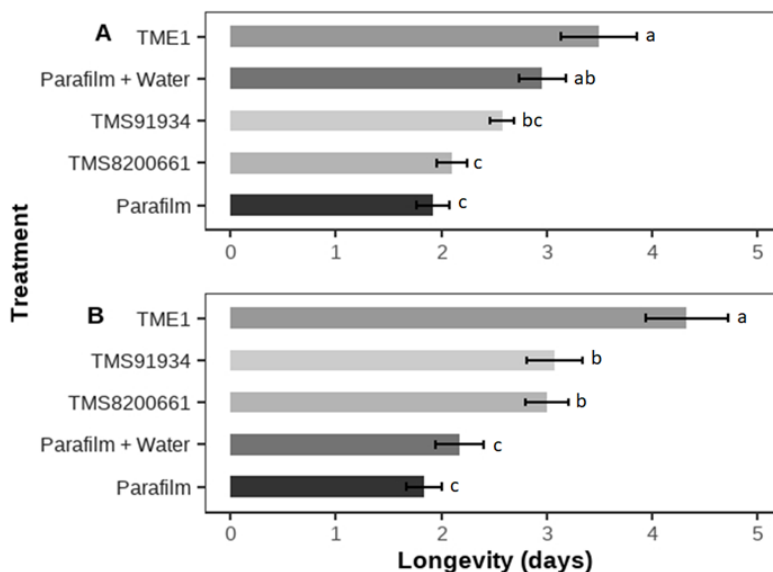


Figure 1: Juvenile (B) and adult (A) longevity on leaf discs of three cassava cultivars; TME1 = low-cyanide cultivar; TMS91934 = moderate-cyanide cultivar; TMS82/00661 = high-cyanide cultivar

Oviposition and adult survivorship on exudates of the three cassava cultivars

None of the cassava exudates tested supported substantial oviposition of *T. aripo*. After 7 days, the mean total number of eggs per female was 0.27, 0.17, and 0.00 on exudates of TMS82/00661, TMS91934, and TME1, respectively (laid in the first two-day observation), compared with 8.5 eggs per female on the prey (CGM) (Table 2; Figure 2A).

Adult survival on exudates differed significantly among cultivars ($df = 2$; $\chi^2 = 7.38$; $P = 0.0241$), being highest on exudates of TMS82/00661 (55.5%) but similar on TME1 (35.3%) and TMS91934 (38.8%). In contrast, when provided with prey (*M. tanajoa*), only 22.2% of females survived up to 20 days (Table 2; Fig. 2A). A similar pattern was observed ($df = 2$; $\chi^2 = 6.54$; $P = 0.0379$) when females were maintained on both leaf discs and exudates of each cultivar: survival was greater on TMS82/00661 (47.0%) compared with TMS91934 (25.0%) and TME1 (18.7%) (Table 2; Figure 2B).

Composition of the exudates

No cyanide was detected in exudates of any of the three cassava cultivars. However, sugar concentration was significantly higher in exudates of TMS82/00661 (1491.8 g/ml) compared with TME1 (737.9 g/ml) and TMS91934 (671.1 g/ml) (Table 3). In contrast, amino acid concentrations did not differ significantly among cultivars, with values of 171.4 ppm, 171.3 ppm, and 177.6 ppm for TMS82/00661, TME1, and TMS91934, respectively (Table 3).

Table 1: Development of *Typhlodromalus aripo* on the exudates and leaf discs of three cassava cultivars of different cyanogenic potentials

	N	Stage reached	Egg (days)	Larva (days)	Protonymph (days)	Deutonymph (days)	Egg to Adult (days)	Survival to Adult (%)
Exudates								
TME1	30	Adult	1.71 ± 0.12 a	1.50 ± 0.14 a	1.93 ± 0.19 a	3.00 ± 0.33 a	7.93 ± 0.51 ab	53.84
TMS91934	30	Adult	1.84 ± 0.10 a	1.31 ± 0.13 a	2.07 ± 0.13 a	2.92 ± 0.26 a	8.23 ± 0.49 a	56.52
TMS82/00661	30	Adult	1.73 ± 0.11 a	1.27 ± 0.12 a	1.80 ± 0.10 ab	2.06 ± 0.24 b	6.80 ± 0.26 b	68.20
Prey (M. tanajoa)	30	Adult	1.54 ± 0.10 a	1.25 ± 0.09 a	1.41 ± 0.12 b	1.04 ± 0.04 c	5.21 ± 0.14 c	82.75
Leaf Discs								
TME1	30	Deutonymph	-	-	-	-	-	-
TMS91934	30	Deutonymph	-	-	-	-	-	-
TMS82/00661	30	Deutonymph	-	-	-	-	-	-
Parafilm + Water	30	Larva	-	-	-	-	-	-
Parafilm	30	Larva	-	-	-	-	-	-

Means followed by the same letter in each column are not significantly different (SNK; P > 0.05); TME1, low-cyanide cultivar; TMS91934, moderate-cyanide cultivar; TMS82/00661, high-cyanide cultivar

Table 2: Mean fecundity (±SE) over 7 days, and survival over 20 days of female *T. aripo* reared on exudates alone or combination leaf+exudate of three cassava cultivars of different cyanogenic potentials

	N	Fecundity	Survival (%) Exudates	Leaf Discs + Exudates
TME1	20	0 b	33.3	25.0
TMS91934	20	0.17 ± 0.1 b	38.8	18.7
TMS82/0661	20	0.27 ± 0.1 b	53.3	47.0
M. tanajoa (prey)	20	8.50 ± 0.5 a	22.2	-

N = number of females; means followed by the same letter in each column are not significantly different (SNK, P > 0.05)

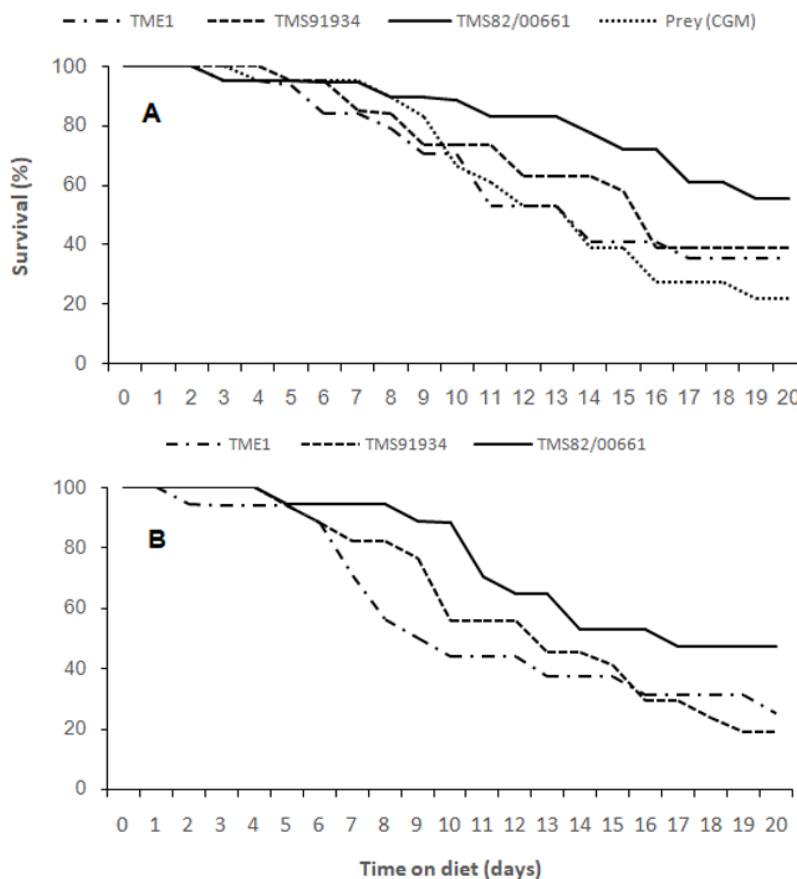


Figure 2: Survivorship of adult females on exudates alone (A) or on combination of 'leaf +exudate' of three cassava cultivars. TME1, low-cyanide cultivar; TMS91934; moderate cyanide cultivar; TMS82/00661, high-cyanide cultivar

Table 3: Determined concentrations of amino acids and sugar in the exudates, and of cyanide in the exudates and leaves of three cassava cultivars

	HCN (mg/100g)	Sugar (mg/ml)	Amino acids (ppm)
Exudates			
TME1	0	737.9 ± 9.8 b	173.1 ± 1.8 a
TMS91934	0	671.7 ± 10.9 b	177.6 ± 3.8 a
TMS82/00661	0	1491.8 ± 16.7 a	171.4 ± 2.1 a
Leaves			
TME1	8.25 ± 1.65 c		
TMS91934	18.03 ± 1.93 b		
TMS82/00661	27.13 ± 4.06 a		

Means followed by the same letter in each column are not significantly different (SNK test, $P > 0.05$). TME1, low-cyanide cultivar; TMS91934; moderate-cyanide cultivar; TMS82/00661, high-cyanide cultivar

Discussion

The role of plant-derived food supplements in plant–herbivore–predator interactions is central both to basic ecology and to applied biological control. In this study, we evaluated how leaf exudates and leaves from three cassava cultivars differing in cyanogenic potential affected the development, reproduction, and survival of *T. aripo*, an important predator of the cassava green mite (*M. tanajoa*).

Our results demonstrate that *T. aripo* successfully completed development on exudates from all three cassava cultivars. This is consistent with the biochemical analyses, which revealed the absence of cyanide in cassava exudates, corroborating previous findings that cassava exudates are free of cyanide (Pereira and Splittstoesser, 1987). Of particular interest were the cultivar-specific differences in developmental time. Exudate from the high-cyanide cultivar TMS82/00661 supported the fastest development and highest juvenile survival. Because amino acid concentrations did not differ significantly among cultivars, these differences are likely linked to the higher sugar content in TMS82/00661 exudate. Comparable effects of sugars on phytoseiid development and survival have been reported: for example, *Euseius hibisci* developed faster when honeydew of *Planococcus citri* was included in its diet (McMurtry and Scriven, 1964). However, other studies have shown that sugar alone is not always sufficient to sustain development beyond immature stages (El-Banhawy, 1975; Ferragut et al., 1987; James, 1989).

Although amino acids were detected in the exudates of all three cultivars, none of the exudates supported sustained oviposition in *T. aripo*. This agrees with previous studies showing that cassava exudates are not suitable for the reproduction of phytoseiids (Bakker and Klein, 1990; Toko et al., 1994). The brief oviposition observed may reflect residual effects of previous feeding, suggesting that either amino acid concentrations were too low or that specific amino acids required for oogenesis were absent. In contrast, adult survival was positively affected by exudate quality. The highest adult survival was again observed on TMS82/00661, supporting the hypothesis that sugar content is the main driver of prolonged survival, as sugars, sucrose, honey, and honeydew are known to extend phytoseiid longevity (Chant and Fleschner, 1960; McMurtry and Scriven, 1966; Ferragut et al., 1987; James, 1989). Semi-field studies have also shown that sugar-rich food sources, such as honey applied to cassava leaves, enhance predator survival and reduce dispersal (Bakker and Klein, 1992).

Juvenile and adult longevity on cassava leaf discs also varied among cultivars, possibly due to differences in cyanogenic potential. Enzymatic hydrolysis during tissue disruption can release hydrogen cyanide, which is toxic. Feeding activity along the cut edges of leaf discs may have exposed *T. aripo* to variable cyanide levels among cultivars. Previous work has shown

that *T. aripo* can survive by feeding on cassava leaves in the absence of prey (Magalhães and Bakker, 2002, Gnanvossou et al., 2005). However, survival on combined “leaf discs + exudate” treatments was similar to survival on exudates alone, suggesting that in the presence of exudates, direct leaf feeding is unlikely to be significant.

From an applied perspective, our results confirm that cassava exudates represent an important alternative food source for *T. aripo* during periods of prey scarcity, but their value is strongly cultivar-dependent. Exudates rich in sugars, such as those of TMS82/00661, enhance predator survival and development, which may contribute to greater persistence and effectiveness of *T. aripo* in the field. In contrast, leaf feeding by the predator appears to have limited ecological relevance.

In conclusion, differences in cyanogenic potential among cassava cultivars do not constrain the value of cassava exudates as supplemental food for *T. aripo*. Instead, sugar richness of exudates is the key factor influencing predator performance. These findings reinforce the importance of considering cultivar choice in integrated pest management programs, as cultivars that produce higher-quality exudates may enhance the efficacy of *T. aripo* as a biological control agent of cassava green mite.

Acknowledgments

We thank R. Houndafoche, P. Sovimi for their assistance in maintaining the predator colonies and conducting experiments. This research was supported by the International Institute of Tropical Agriculture (IITA).

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. Bakker, F. M. & Klein, M. E. (1992). Transtrophic interactions in cassava. *Exp. Appl. Acarol.*, 14: 293-311. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01200569>
2. Bakker, F.M. & Klein, M. E. (1990). The significance of cassava exudates for predaceous mites. *Symp. Biol. Hung.* 39, 437-439.
3. Bakker, F. M. & Klein, M. E. (1993). Host plant mediated coexistence of predatory mites: the role of extrafloral nectar and extrafoliar domatia on cassava. In *Selecting Phytoseiid predators for biological control, with the emphasis on the significance of tri-trophic*

- interactions, F.M. 4. Bakker (ed), pp. 33-63. PhD thesis University of Amsterdam, Amsterdam.
4. Bellotti, A. C., Hershey, C.H. & Vargas, O. H. (1985). Recent advances in resistance to insect and mites pest of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). In Cassava: Research Production and Utilization, Cassava Program, ed. J. H. Cock & Reyes, 441-470. UNDP, CIAT.
 5. Bruce-Oliver, S. J., Hoy, M. A. & Yaninek, J. S. (1996). Effects of some food sources associated with cassava in Africa on development, fecundity and longevity of *Euseius fustis* (Pritchard and Baker) (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 20, 73-85. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00051154>
 6. Chant, D. A. & Fleschner, C. A. (1960). Some observations on the ecology of phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae) in California. *Entomophaga*, 5, 131-139. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02374401>
 7. Coll, M. & Guershon, M. (2002). Omnivory in terrestrial arthropods: mixing plants and prey diets. *Annual Review of Entomology*, 47: 267-297. DOI: 10.1146/annurev.ento.47.091201.145209
 8. Cooke, R. D. & Coursey, D. G. (1981). Cassava: A major cyanide containing food crop. Pp 91-114. In: cyanide in Biology. Vennesland B., Conn, E. E., Knowles, C. J., Westley, J. and Wishing F. (eds.) Academic Press, London pp 548.
 9. Cooke, R. D. & De La Cruz, E. M. (1982). The changes in cyanide content of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) tissues during plant development. *Journal of the Science of the Food and Agriculture*, 33, 269-275. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740330312>
 10. El-Banhawy, E. M. (1975). Biology and feeding behavior of the predatory mite, *Amblyseius brazilli* (Mesostigmata: Phytoseiidae). *Entomophaga*, 20, 353-360. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740330312>
 11. Ferragut, F., Garcia-Mari, F., Costa-Commelles, J. & Laborda, R. (1987). Influence of food and temperature on development and oviposition of *Euseius stipulatus* and *Typhlodromalus phialatus* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 3, 317-329. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01193168>
 12. Gnanvossou, D., Hanna, R., Yaninek, J. S. & Toko, M. (2005). Comparative life history traits of three neotropical phytoseiid mites maintained on plant-based diets. *Biological Control*, 35, 32-39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.05.013>
 13. Gnanvossou, D., Yaninek, S., Hanna, R. & Dicke, M. (2003). Effects of prey mite species on life history of the phytoseiid predators *Typhlodromalus manihoti* and *Typhlodromalus aripo*. *Experimental*

- and Applied Acarology*. 3,: 265-278. DOI;
<https://doi.org/10.1023/B:APPA.0000008469.57888.82>
14. Grafton-Cardwell, E. E. & Ouyang, Y. (1996). Influence of citrus leaf nutrition on survivorship, sex ratio and reproduction of *Euseius tularensis* (Acari: Phytoseiidae). *Environmental Entomology*, 25 (5), 1020-1025. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01193168>
 15. Hanna, R. & Onzo, A. (2009). Within-plant migration of the predatory mite *Typhlodromalus aripo* from the apex to the leaves of cassava: response to day–night cycle, prey location and prey density. *Journal of Insect behavior* 22: 186-195. <https://doi.org/10.1007/s10905-008-9164-x>
 16. Hansen, J. D., Hara, A. H., Chan, H. T. & Tembrink, V. L. (1991). Efficacy of hydrogen cyanide fumigation as a treatment for pests of Hawaiian cut flowers and foliage after harvest. *Journal of Economic Entomology*, 84 (2), 532-536. DOI: <https://doi.org/10.1093/jee/84.2.532>
 17. Herren, H. R. (1982). IITA's role in integrated control of cassava mealybug (*Penacoccus manihoti* Mat-Fer) and green mite complex (*Mononychellus tanajoa* Bondar) in Africa. Pp 154-157. In: Okoli, O. O., Enyinnia, T. Igbokowe, M. C., Odurukwe, S. O., Okeke, J. E. and Okereke, H. E. (Editors). Proceedings of the International Workshop on Control of Cassava Mealybug and Cassava Green Spider Mite, October 12-16, 1981. National Root Crops Research Institute. Umudike, Nigeria. 194 pp. Umuahia, Nigeria, Guinea Printing Press.
 18. Herren, H. R. (1989). The biological control program of IITA: From to reality. In: J.S. Yaninek and Herren (editors), Biological control: a sustainable solution to crop pest problems in Africa. Ibadan: IITA, pp. 18-30.
 19. Herren, H. R. & Bennett, F. D. (1984). Cassava pests, their spread and control. In: D.L. Hawksworth (Editor), Advancing Agricultural Production in Africa. Proceedings of CAB's First Scientific Conference, 12-18 February 1984, Arusha, Tanzania. Slough, UK Commonw. Agric. Bureau: 110-114.
 20. Houck, L. G., Jenner, J. F., Moreno, P. S. & Mackey, B. E. (1989). Permeability of polymer film wraps for citrus fruit fumigated with Hydrogen cyanide to control California red scale. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 114 (2), 287-292. DOI: [10.21273/JASHS.114.2.287](https://doi.org/10.21273/JASHS.114.2.287)
 21. James, D. G. (1989). Influence of diet on development, survival and oviposition of *Amblyseius victoriensis* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 6, 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01193228>

22. IITA (1990) IITA-Plant Health Management Division, *Annual Report*. 80 pp.
23. Klein, M. E. (1990). Is cassava exudate, a factor in the persistence of *Typhlodromalus limonicus* (Gremán & McGregor) in the field? MSc. Thesis. University of Amsterdam, Amsterdam, the Netherlands, 34 pp.
24. Magalhães, S. & Bakker, F. M. (2002). Plant feeding by a predatory mite inhabiting cassava. *Experimental and Applied Acarology*, 27, 27-37. DOI; <https://doi.org/10.1023/A:1021508620436>
25. Megevand, B., Klay, A., Gnanvossou, D. & Paraiso, G. (1993). Maintenance and mass rearing of phytoseiid predators of the cassava green mite. *Experimental and Applied Acarology*, 17, 115-128. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00156948>
26. McMurtry, J. A., de Moraes, G. J. & Famah Sourassou, N. (2013). Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. *Systematic and Applied Acarology*, 18(4): 297–320. DOI: <https://doi.org/10.11158/saa.18.4.1>
27. McMurtry, J. A. & Scriven, G. T. (1964). Studies on the feeding, reproduction and development of *Amblyseius hibisci* (Acarina: Phytoseiidae) on various food substances. *Annals of Entomological Society of America*, 57, 649-657. DOI; <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1979.tb02523.x>
28. McMurtry, J. A. & Scriven, G. T. (1966). Effects of artificial foods on reproduction and development of four species of phytoseiid mites. *Annals of Entomological Society of America*, 59, 267-269. DOI: <https://doi.org/10.1093/aesa/59.2.267>
29. Momen, F. M. & El-Saway, S. A. (1993). Biology and feeding behavior of predatory mite *Amblyseius swirskii* (Acarina: Phytoseiidae). *Acarologia*, 34, 199-204. DOI: DOI:10.1556/APhyt.46.2011.1.12
30. Nomikou, M. & Sabelis, M.W., Arne Janssen, A. (2010). Pollen subsidies promote whitefly control through the numerical response of predatory mites. *BioControl*, 55, 253–260, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9233-x>
31. Oduor, G. I. (1988). The effect of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaf exudate on the life history and behavior of the predacious mites *Typhlodromalus limonicus* (German & Gregor) (Acari: Phytoseiidae). M. Sc Thesis. Imperial College of Science and Technology. Silwood Park, Ascot Berkshire. UK. 29 pp.
32. Onzo, A., Sabelis, M. W. & Hanna, R. (2003). Interactions in an acarine predator guild: impact on *Typhlodromalus aripo* abundance and biological control of cassava green mite in Benin, West Africa.

- Experimental and Applied Acarology*, 31(3-4,) 225-231. DOI: <https://doi.org/10.1023/b:appa.0000010380.44408.05>
33. Onzo, A., Sabelis, M. W. & Hanna, R. (2014). Single versus multiple enemies and the impact on biological control of spider mites in cassava fields in West-Africa. *Experimental and Applied Acarology*, 62, 293-311. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-013-9742-2>
 34. Onzo, A., Hanna, R. & Sabelis, M. W. (2012). The predatory mite *Typhlodromalus aripo* prefers green-mite induced plant odours from pubescent cassava varieties. *Experimental and Applied Acarology*, 58, 359–370. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-012-9595-0>
 35. Onzo, A. & Hanna, R., Toko, M. (2013). Mix-planting pubescent and glabrous cassava affects abundance of *Typhlodromalus aripo* and its prey mite *Mononychellustana joa*. *Journal of Applied Entomology*, 138, 297-306. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12084>
 36. Overmeer, W. P. J. (1985). Alternative prey and other food sources. In: Spider Mites- Their Biology, Natural Enemies and Control, W. Helle and M.W. Sabelis (eds), pp. 131-139. Elsevier, Amsterdam.
 37. Pereira, J. F. & Splittstoesser, W.E (1987). Exudate from cassava leaves. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 18:191–194. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(87\)90082-X](https://doi.org/10.1016/0167-8809(87)90082-X)
 38. Porres, M. A., McMurtry, J. A. & March, R. B. (1975). Investigations of leaf sap feeding by three species of phytoseiid mites by labeling with radioactive phosphoric acid. *Annals of Entomological Society of America*, 68, 871-872. DOI: <https://doi.org/10.1093/aesa/68.5.871>
 39. Price, P. W., Boutton, C.E., Gross, P., McPheron, B. A., Thompson, J. N. & Weis, A. E. (1980). Interactions among three trophic levels: influence of plants on interaction between insects herbivore and natural enemies. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 11: 41-65. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.11.110180.000353>
 40. Samaras, K., Pappas L.M., Pekas, A., Wäckers, F., Broufas, G.D. (2021). Benefits of a balanced diet? Mixing prey with pollen is advantageous for the phytoseiid predator *Amblydromalus limonicus*. *Biological Control*, 155: 104531. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104531>
 41. SAS Institute Inc. (2005). *SAS software, version 9.1*. SAS Institute Inc.
 42. Toko, M., O'Neil, R. J. & Yaninek, J. S. (1994). Effect of cassava exudate and prey densities on the survival and reproduction of *Typhlodromalus limonicus* (Acari: Phytoseiidae) a predator of cassava green mite *Mononychellus tanajoa* (Acari: Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 18, 221-231. DOI: 10.1007/BF00114169

43. Van Rijn, C .P. J. & Tanigoshi, L. (1999). The contribution of the extrafloral nectar to survival and reproduction of the predator mite *Iphiseius degenerans* on *Ricinus communis*. *Experimental and Applied Acarology*, 23, 281-296. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006240126971>
44. Yaninek, S. & Hanna, R. (2003). Cassava green mite in Africa - a unique example of successful classical of mite pest on continental scale. In P. Neuenschwander, C. Borgemeister, and J. Langewald, *Biological control in IPM in Africa*. 1st ed. p. 61-75. Wallingford: CABI Publishing.

Facteurs associés à la mortalité des enfants dénutris aigus sévères au Centre Hospitalier Universitaire Régional de Ouahigouya au Burkina Faso

Ouermi Alain Saga

Service de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Régional (CHUR),
Ouahigouya, Burkina Faso

Yonaba Caroline

Département de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Yalgado
Ouédraogo (CHU YO) Ouagadougou, Burkina Faso

Ouattara Ad Bafa Ibrahim

Service de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Régional (CHUR),
Ouahigouya, Burkina Faso

Sanogo Bintou

Département de Pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Sourô Sanou
(CHUSS), Bobo Dioulasso, Burkina Faso

Zoungrana Chantal

Département de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Yalgado
Ouédraogo (CHU YO) Ouagadougou, Burkina Faso

Savadogo Hamidou

Ndiladoum Daniel

Service de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Régional (CHUR),
Ouahigouya, Burkina Faso

Barro Makoura

Département de Pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Sourô Sanou
(CHUSS), Bobo Dioulasso, Burkina Faso

Koueta Fla

Département de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Yalgado
Ouédraogo (CHU YO) Ouagadougou, Burkina Faso

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p81](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p81)

Submitted: 15 June 2025

Accepted: 06 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As: Ouermi, A.S., Yonaba, C., Ouattara, A.B.I., Sanogo, B., Zoungrana, C., Savadogo, H., Ndiladoum, D., Barro, M. & Koueta, F. (2025). *Facteurs associés à la mortalité des enfants dénutris aigus sévères au Centre Hospitalier Universitaire Régional de Ouahigouya au Burkina Faso*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 81.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p81>

Résumé

Introduction : La dénutrition aiguë constitue un problème de santé publique dans nos pays en développement. L'objectif de cette étude était de rechercher les facteurs de risque de décès chez les enfants dénutris aigus sévères afin de contribuer à la réduction de la mortalité infantile. **Méthodes :** Il s'est agi d'une cohorte rétrospective à visée descriptive et analytique qui s'est déroulée sur une période de 12 mois. **Résultats :** la prévalence hospitalière de la dénutrition aiguë sévère était de 12,41 %. L'âge moyen des patients était de 19,22 mois $\pm$ 10,31. La tranche d'âge de 6 à 23 mois était la plus représentée (71,52%). Le sex-ratio était de 1,28 en faveur des garçons. Nous avons enregistré 6 décès dès la première semaine d'hospitalisation (54,54% des décès) et le taux de mortalité était de 7,28%. Les enfants ayant bénéficié d'une alimentation mixte et ceux qui n'avaient pas commencé une diversification alimentaire avaient plus de risque de décéder. La prostration, les convulsions et le choc septique constituaient des facteurs associés à la mortalité avec respectivement 2,34 ; 3,12 et 8,37 fois plus de risque de décès. **Conclusion :** L'amélioration de la prise en charge de la dénutrition aiguë sévère devrait se baser sur une meilleure prise en compte des facteurs associés à la mortalité.

Mots-clés: Dénutrition aiguë sévère, facteurs de décès, mortalité, hôpital, Burkina Faso

Factors Associated with Mortality in Severely Acutely Malnourished Children at the Ouahigouya Regional Teaching Hospital in Burkina Faso

Ouermi Alain Saga

Service de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Régional (CHUR),
Ouahigouya, Burkina Faso

Yonaba Caroline

Département de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Yalgado
Ouédraogo (CHU YO) Ouagadougou, Burkina Faso

Ouattara Ad Bafa Ibrahim

Service de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Régional (CHUR),
Ouahigouya, Burkina Faso

Sanogo Bintou

Département de Pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Sourô Sanou
(CHUSS), Bobo Dioulasso, Burkina Faso

Zoungrana Chantal

Département de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Yalgado
Ouédraogo (CHU YO) Ouagadougou, Burkina Faso

Savadogo Hamidou

Ndiladoum Daniel

Service de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Régional (CHUR),
Ouahigouya, Burkina Faso

Barro Makoura

Département de Pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Sourô Sanou
(CHUSS), Bobo Dioulasso, Burkina Faso

Koueta Fla

Département de pédiatrie, Centre Hospitalier Universitaire Yalgado
Ouédraogo (CHU YO) Ouagadougou, Burkina Faso

Abstract

Introduction: Acute malnutrition is a public health problem in developing countries. The objective of this study was to identify risk factors for death in children with severe acute malnutrition in order to contribute to reducing child mortality. **Methods:** This was a retrospective cross-sectional study with descriptive and analytical aims which took place over a period of 12 months. **Results:** The hospital prevalence of severe acute malnutrition was 12.41%. The mean age of patients was 19.22 ± 10.31 . The age group between 6 and 23 months was the most represented (71.52%). The sex ratio was 1.28, favoring boys. We recorded 6 deaths in the first week of hospitalization

(54.54% of deaths), and the mortality rate was 7.28%. Children who received a mixed diet and those who had not started weaning had a higher risk of dying. Prostration, convulsions, and septic shock were risk factors for death with 2.34, 3.1, 2 and 8.37 times the risk of death, respectively. **Conclusion:** Improving the management of severe acute malnutrition should be based on better consideration of factors associated with mortality.

Keywords: Severe acute malnutrition, death factors, mortality, hospital, Burkina Faso

Introduction

La dénutrition aiguë constitue un problème majeur de santé publique dans la plupart des pays en développement et touche en particulier les couches vulnérables de la population : les enfants de moins de cinq ans, les femmes enceintes et allaitantes (OMS 2024).

Selon les estimations de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), en 2020 environ 21,3%, soit 149 millions d'enfants de moins de 5 ans avaient un retard de croissance et 6,9 %, soit 45 millions étaient émaciés (FAO 2020).

Selon l'UNICEF, en 2020 le taux de mortalité chez les enfants de moins de 5 ans était de 36,63% dans le monde, soit 5,3 millions dont 45% de décès (2,3 millions) liés à la dénutrition aiguë sévère (UNICEF 2020).

La situation de la dénutrition aiguë sévère (DAS) est particulièrement préoccupante en Afrique Subsaharienne ; c'est la région qui enregistre les taux les plus élevés en matière de famine et ces taux continuent d'augmenter dans presque toutes les sous-régions (UNICEF 2020).

Selon l'annuaire statistique du Ministère de la Santé au Burkina Faso, la prévalence de la dénutrition aiguë globale et de la dénutrition chronique était respectivement de 9,1 et de

19,0 % en 2023. Et la dénutrition aiguë sévère, quant à elle, avait occupé le 6^{ème} rang des motifs d'hospitalisations et a été classée comme 5^{ème} cause de décès chez les enfants de moins de 5ans dans les hôpitaux publics du pays avec une létalité hospitalière de 4,1% (Ministère de la Santé du Burkina Faso 2018).

Une enquête SMART, menée auprès des personnes déplacées suite aux attaques terroristes dans au Nord du pays, a permis de montrer une situation nutritionnelle préoccupante des femmes et des enfants (Ministère de la Santé du Burkina Faso 2019).

Le service de pédiatrie du Centre Hospitalier Universitaire Régional (CHUR) de Ouahigouya, étant un service de référence, reçoit tous les enfants dénutris aigus sévères avec complications de la région sanitaire du Nord.

Malgré de multiples efforts déployés par les acteurs de la santé, la prise en charge de la dénutrition aiguë sévère demeure une préoccupation majeure, dans un contexte sécuritaire difficile avec un plateau technique très souvent limité. La présente étude visait à rechercher les facteurs de risque de décès des enfants dénutris aigus sévères de 6 à 59 mois dans le service afin de contribuer à l'amélioration de la prise en charge de ces derniers.

Methodologie

Il s'est agi d'une cohorte rétrospective à visée descriptive et analytique qui s'est déroulée sur une période de 12 mois (du 1^{er} Janvier au 31 Décembre 2021) dans le service de pédiatrie du CHUR de Ouahigouya.

Notre étude a porté sur les enfants de 6 à 59 mois révolus souffrant de dénutrition aiguë sévère, hospitalisés dans le service de pédiatrie du CHUR de Ouahigouya durant la période d'étude.

Ont été inclus les enfants de 6 à 59 mois présentant une dénutrition aiguë sévère et hospitalisés dans le service de pédiatrie du CHUR de Ouahigouya durant la période d'étude.

Nous avons exclu de l'étude :

- Les enfants qui ont développé une dénutrition après une hospitalisation prolongée ;
- Les enfants qui ont développé une dénutrition sur une malformation congénitale ;
- Les enfants dont les parents n'ont pas consenti de participer à l'étude.

Les données ont été collectées à l'aide d'une fiche individuelle établie sur la base des fiches d'admission, des données de l'interrogatoire et de l'examen physique contenues dans les dossiers cliniques des patients, des fiches thérapeutiques et des formulaires de soins critique.

Les données ont été saisies sur Epi info 7.2.3. 2019 puis, exportées sur Excel 2016 et analysées à l'aide du logiciel XL STAT. Les comparaisons ont été faites grâce au test de khi 2 au seuil de signification de 5 % et grâce au calcul des odds-ratio (OR) avec leurs intervalles de confiance (IC) à 95 % pour les mesures d'association. L'influence des différentes co-variables pertinentes a été analysée quant à elle, par régression logistique univariée.

Resultats

Durant la période de notre étude, le service de pédiatrie du CHUR de Ouahigouya a enregistré 1966 admissions dont 244 cas de DAS chez les enfants âgés de 6 à 59 mois soit une prévalence hospitalière de 12,41 %. Nos critères d'inclusion nous ont permis de retenir 151 enfants.

L'âge moyen des patients était de 19,22 plus ou moins 10,31 mois avec des extrêmes de 6 et 59 mois.

La tranche d'âge de 6 à 23 mois représentait 71,52% des cas.

Le sex-ratio était de 1,28 en faveur des garçons.

Les enfants de 6 à 59 mois souffrant de dénutrition aiguë sévère sans œdèmes étaient au nombre de 116 (76,82%) et 19 (12,58%) pour la dénutrition aiguë sévère avec œdèmes.

La durée moyenne de séjour hospitalier était de 10,3 jours.

Les enfants sortis pour suivi en ambulatoire étaient au nombre de 124, soit 82,12% et le taux d'abandon était de 10,59%. Six décès (54,54%) ont été enregistrés dès la première semaine d'hospitalisation et le taux de mortalité était de 7,28%.

Sur le plan analytique, nous avons recherché une association entre les facteurs sociodémographiques, socio-économiques et la mortalité (tableau I).

Tableau I : Analyse de la relation entre les facteurs sociodémographiques et économiques et la mortalité

Facteurs sociodémographiques et économiques	Effectifs (%)	(IC=95%) OR	p
Âge (mois)			
[6-24[	9 (5,96%)	(0,59 - 8,74) 2,1	0,565
[24-59]	2 (1,32%)		
Sexe			
Masculin	7 (4,63%)	(0,22 - 2,47) 0,7	0,873
Féminin	4 (2,64%)		
Parité			
Grande multipare	4 (2,64%)		0,201
Multipare	3 (1,98%)		
Primipare	4 (2,64%)		
Fratrie utérine			
≤ 3 enfants	6 (3,97%)	(0,50 – 5,38) 1,6	0,548
> 3 enfants	5 (3,31%)		
Résidence			
Zone urbaine	1 (0,66%)	(0,16- 5,91) 1,0	0,604
Zone rurale	10 (6,62%)		
PDI			
NON	9 (5,96%)	(0,354 - 6,357) 1,5	0,887
OUI	2 (1,32%)		
Revenu mensuel			
< 35 000 FCFA	5 (3,31%)		0,094
35 000 – 95 000 FCFA	3 (1,98%)		
> 95 000 FCAFA	3 (1,98%)		

PDI* = personnes déplacées internes

Les facteurs liés à l'alimentation associés aux décès chez les enfants malnutris aigus sévères ont aussi été réétudiés ; ils sont présentés dans le tableau II.

Tableau II : Facteurs liés à l'alimentation associés aux décès chez les enfants malnutris aigus sévères

Facteurs liés à l'alimentation	Effectifs (n)	(IC=95%) OR	p
Conseil pour allaitement exclusif			
OUI	5 (3,31%)	(0,08 -0,92) 0,3	0,046
NON	6 (3,97%)		
Type d'alimentation			
Allaitement exclusif	3 (1,98%)	(0,05-0,69) 0,2	0,023
Alimentation mixte	8 (5,29%)		
Sevrage			
OUI	1 (0,66%)		
NON	10(6,62%)	(0,000-0,008) 0,01	0,0001

Nos patients ont présenté divers signes cliniques ; nous nous sommes intéressés aux signes cliniques associés aux décès de nos patients. Ils sont répertoriés dans le tableau III.

Tableau III : Signes cliniques associés aux décès chez les enfants dénutris aigus sévères

Tableaux cliniques à l'arrivée	Effectifs (n)	(IC=95%) OR	p
Fièvre			
OUI	7 (4,63%)	(0,17 – 1,99) 0,6	0,463
NON	4 (2,64%)		
Pâleur sévère			
OUI	4 (2,64%)	(0,16 – 1,87) 0,5	0,540
NON	7 (4,63%)		
Détresse respiratoire sévère			
OUI	3 (1,98%)	(0,16 – 2,17) 0,6	0,541
NON	8 (5,29%)		
Altération de la conscience			
OUI	2 (1,32%)	(0,26 – 4,88) 1,1	1,000
NON	9 (5,96%)		
Convulsions en cours d'examen			
OUI	3 (1,98%)	(0,80 – 12,08) 3,1	0,133
NON	8 (5,29%)		
Formes cliniques de MAS			
DAS avec œdème	2 (1,32%)		0,841
DAS sans œdème	8 (5,29%)		
Mixte	1 (0,66%)		

Des complications sont survenues dans notre série et la relation entre ces complications et le décès a été analysée (tableau IV).

Tableau IV : Relation entre les complications observées et le décès des enfants dénutris

Complications	Décès		(IC=95%) OR	p
	OUI	NON		
Anémie sévère	8 (5,29%)	3 (1,98%)	(0,26 - 3,51) 0,9	1,000
Déshydratation	5 (3,31%)	6 (3,97%)	(0,61 - 6,62) 2,0	0,327
Hypoglycémie	1 (0,66%)	10 (6,62%)	(0,16 - 5,91) 1,0	1,000
Choc septique	3 (1,98%)	8 (5,29%)	(1,92 - 36,53) 8,4	0,014
Hypothermie	1 (0,66%)	10 (6,62%)	(0,04 - 2,07) 0,3	0,327

Certaines pathologies étaient associées à la dénutrition aiguë sévère dans notre série et la relation entre ces pathologies et la survenue de décès chez les enfants dénutris a été étudiée. Elle est présentée dans le tableau V.

Tableau V : Pathologies associées au décès chez les enfants dénutris

Pathologies	Décès		OR (IC=95%)	p
	OUI	NON		
Paludisme grave	3 (1,98%)	8 (5,65%)	(0,08-1,08) 0,3	0,116
Infections respiratoires	1 (0,66%)	10 (6,62%)	(0,06-1,95) 0,3	0,466
Infections urinaires	1 (0,66%)	10 (6,62%)	(0,61-34,19) 4,6	0,260
Gastro-entérites	2 (1,32%)	9 (5,96%)	(0,42-8,21) 1,8	0,622
Septicémie	3 (1,98%)	8 (5,65%)	(1,49-25,72) 6,2	0,032
SIDA pédiatrique	1 (0,66%)	10 (6,62%)	(1,33-145,53) 13,9	0,131

Discussion

Notre étude comporte certaines limites méthodologiques et statistiques : le nombre de décès limité (n=11) réduisant la puissance statistique ; de plus une analyse multivariée renforcerait la validité des résultats. Dans notre étude, la durée moyenne de séjour hospitalier était de 10,3 jours.

Certains auteurs africains ont rapporté des chiffres proches du nôtre : (Yenan, 2014) 8,5 jours ; (Niamoye, 2014) 8,94 jours ; (Yaméogo, 2020) 9 jours, (Sangho, 2013) 10,8 jours.

Cette durée est acceptable selon le protocole national de prise en charge intégrée de la dénutrition aiguë qui préconise une durée de séjour inférieure à 4 semaines (Ministère de la Santé du Burkina Faso 2014). Dans notre série, les enfants sortis pour suivi en ambulatoire étaient au nombre de 124 (82,12%) Ces résultats sont aussi acceptables par rapport aux critères de performances de l'OMS qui est de 75% de taux de guérison.

Le taux d'abandon dans notre série était de 10,59%. Ce taux est différent de ceux de certains auteurs qui ont trouvé respectivement 12% (Yenan, 2014) et 29,80% (Sangho, 2013) de cas d'abandon.

Le faible taux d'abandon dans notre série pourrait se justifier par l'adoption de la politique nationale d'exemption de paiement des soins chez les enfants de 0 à 5 ans et chez les femmes enceintes depuis 2016. Cette

politique a donc contribué à lever d'une part la barrière financière et a favorisé l'accès d'autre part, un grand accès aux centres de santé et aux soins, à cette frange de la population. Le taux global de mortalité liée à la dénutrition aiguë sévère était de 7,28%.

Ce taux est inférieur à ceux d'autres auteurs africains qui ont trouvé respectivement 12,10% (Kalmogho, 2020) et 8,99% (Maiga, 2019) de décès. Bien que notre taux de mortalité soit élevé, il est relativement acceptable par rapport au critère de performances de l'OMS qui est de 10%. Malgré les efforts remarquables entrepris en interne pour la prise en charge adéquate des enfants dénutris conformément au protocole, la mortalité due à la DAS reste préoccupante.

Dans notre étude, les facteurs liés à l'alimentation et associés à un risque élevé de mortalité étaient entre autres l'allaitement mixte ($p=0,023$), l'absence de la diversification alimentaire adéquate ($p=0,0001$), l'absence de la sensibilisation des mères à l'allaitement maternel exclusif durant les six (06) premiers mois ($p=0,046$).

Ces résultats sont similaires à ceux de Diouf et al. au Sénégal qui ont rapporté certains facteurs associés à la malnutrition aiguë tels que : la non-consommation de légumes ($p = 0,020$), la non-consommation de viande/abats/volaille ($p = 0,032$), la consommation de condiments/épices ($p = 0,000$) (Diouf, 2021).

Pour une bonne croissance et un développement harmonieux du nourrisson, l'OMS recommande l'allaitement exclusif pendant les six premiers mois de la vie. Pour répondre à l'évolution des besoins nutritionnels du nourrisson, ce dernier doit recevoir des aliments de complément sûrs et adéquats du point de vue de la composition nutritionnelle, tout en poursuivant l'allaitement jusqu'à l'âge de deux ans (OMS 2003).

Le non-respect de ces recommandations expose l'enfant à la malnutrition et le rend vulnérable à différentes pathologies engageant souvent le pronostic vital.

La prostration et les convulsions à l'admission constituaient un facteur de risque de décès avec respectivement 2,3 et 3,12 fois plus de risque de décès que les autres signes cliniques.

Les pathologies infectieuses et les complications associées à un risque élevé de mortalité étaient entre autres la septicémie ($p=0,032$ et 6,188 fois de risque) et le choc septique ($p=0,014$ et 8,375 fois de risque de décès).

Des auteurs congolais, ont rapporté dans leur série un risque élevé de mortalité associé à la septicémie, au choc septique ($p=0,004$), au VIH/SIDA ($p=0,00001$) et à la méningite aiguë ($p=0,02$) (Richard, 2016).

En Guinée Conakry, d'autres auteurs ont rapporté un risque élevé de mortalité associé à l'anémie ($p=0,002$), au VIH ($p=0,007$) et à l'état de choc ($p=0,000$) (Barry, 2017).

Des auteurs sénégalais ont rapporté une association significative entre la parasitose intestinale et la malnutrition ($p=0,035$ et $OR=1,66$) (Diouf, 2020).

A Ouagadougou au Burkina Faso, le risque de décès était significativement associé à la déshydratation ($p=0,002$) (Yaméogo, 2020).

La mortalité liée à la septicémie et au choc septique dans notre série, pourrait être en partie attribuable à la gravité intrinsèque de ces deux entités nosologiques.

Conclusion

La dénutrition aiguë sévère est une préoccupation majeure au CHUR de Ouahigouya et la mortalité y est relativement élevée. Les facteurs associés à la mortalité étaient l'alimentation mixte, l'absence de diversification, la septicémie et le choc septique.

Une amélioration du plateau technique du service permettra une prise en charge plus efficace de ces complications (meilleure disponibilité des examens de laboratoire, des antibiotiques et des soins intensifs pédiatriques adaptés). En outre, un renforcement des activités communautaires (promotion de l'allaitement exclusif, diversification alimentaire adéquate, sensibilisation des familles) pourrait réduire la morbi-mortalité.

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 obtenu l'autorisation de la Direction Régionale du Centre Hospitalier Universitaire de Ouahigouya / Ministère de la santé du Burkina Faso, et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. Barry, I.K., Diallo, M.L., Barry, M.C. & Barry, B.B. (2017). Déterminants de la létalité hospitalière liée à la malnutrition aiguë sévère avec complications à l'Institut de Nutrition et de Santé de l'Enfant (INSE) à Conakry. *Rev int sc méd -RISM-2017* ; 19,4 : 278-285.
2. Diouf, J.B.N., Kane, M., Sow, D., Sougou, N.M., Oumy, K.B., Babacar, F. & Ndiaye, O. (2020). Parasitoses intestinales et statut

- nutritionnel chez l'enfant à Guédiawaye, Sénégal. European Scientific Journal. 2020 ;16(15):115-126. doi :10.19044/esj.2020.v16n15p115
3. Diouf J.B.N., Sougou NM, Tall CT, Kane M, Sarr LP & Ndiaye, O. (2021). Prevalence and factors associated with deficiency malnutrition in the health district of Guédiawaye, Senegal. *Journal of Pediatrics & Neonatology*. 2021 ;3(1):1-6.
 4. FAO, FIDA, UNICEF, PAM, OMS. L'État de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2020.
 5. Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF). United Nations Interagency Group for Child Mortality Estimation. Levels and trends in child mortality. New York, 2020.
 6. Kalmogho, A., Dahourou, D.L., Zoungrana, C., Yonaba, C., Ouédraogo, F. & Barro, M. (2020). Prévalence et facteurs associés à la malnutrition des nourrissons âgés de 6 à 23 mois admis aux urgences pédiatriques du Centre Hospitalier Universitaire Yalgado Ouedraogo, Burkina Faso. *Mali Med*. 2020; Tome XXXV N°3.
 7. Maiga, B., Diallo, H., Sacko, K., Dembélé, A., Traoré, F. & Doumbia A.K. (2019). Aspects épidémio-cliniques de la malnutrition aiguë sévère chez les enfants de moins de cinq ans au CHU Gabriel Toure. *Health Sci. Dis* : Vol 20 (3) May – June 2019.
 8. Ministère de la Santé du Burkina Faso. Enquête nutritionnelle dans les communautés et sites d'accueil des personnes déplacées internes au Burkina Faso selon la méthodologie Rapid SMART, Novembre 2019.
 9. Ministère de la Santé du Burkina Faso. Protocole National de Prise en Charge Intégrée de la Malnutrition Aiguë (PCIMA). 2014 : 154p.
 10. Ministère de la santé du Burkina Faso. Secrétariat général. Direction générale des études et des statistiques sectorielles. Annuaire statistique 2018. Publié en Juin 2018.
 11. Niamoye D. Infections courantes et la malnutrition aiguë sévère chez les enfants de 06 à 59 mois dans le service de pédiatrie du CS réf de la commune du district de Bamako. Thèse Med. Université des sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako. 2014 n° ; p 108.
 12. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Malnutrition, 2024. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>
 13. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Stratégie mondiale pour l'alimentation du nourrisson et du jeune enfant. Genève, 2003; 30p.
 14. Richard, M.K., Joe, B.K., John, M.K., Liévin, M.C., Bruno, M.M. & Ghislain, B.B. (2016). Profil infectieux et mortalité des enfants âgés de 0 à 5 ans admis pour malnutrition aiguë sévère : étude de cohorte rétrospective au Centre Nutritionnel et Thérapeutique de Bukavu,

- République Démocratique du Congo. *Pan African Med Journal*. 2016 ; 23 :139.
15. Sangho, O., Doumbia, A., Samake, A., Traore, F.B., Traore, M. & Iknane A.G. (2013). Prévalence de la malnutrition aiguë chez les enfants de 6-59 mois dans le district sanitaire de Barouéli. *MSP*. 2013 ; 3(001) : 76-79.
 16. Yaméogo R. Malnutrition aiguë sévère chez les enfants de 0 à 59 mois dans le service de pédiatrie du centre hospitalier régional de Koudougou (Burkina Faso) : Aspects thérapeutiques et évolution immédiate. Thèse Med. Université Pr Joseph KI-ZERBO. 2020 n°138 ; p 164.
 17. Yenan, J.P., Plo, K.J., Asse, K.V., Kondji, Y.S., Yeboua, Y.K.R. & Ouattara K.S. (2014). Prise en charge de la malnutrition aiguë sévère à l'unité de nutrition thérapeutique du CHU de Bouake. *Rev int sc med* 2014 ; 16 (1) : 94-9.

Analyse des aspects épidémiologiques, cliniques et évolutifs de la rougeole au Niger

Moussa Saley Sahada

Faculté des Sciences de la Santé,
Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger
Service des maladies infectieuses, Hôpital National de Niamey, Niger

Ali Labo Zaratou

Faculté des Sciences de la Santé,
Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Hamidou Issa Hama

Service des maladies infectieuses, Hôpital National de Niamey, Niger

Boulama Mamadou Boulama Malam

Faculté des Sciences de la Santé,
Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Ide Amadou Habibatou

Centre de recherche Médicale et Sanitaire (CERMES), Niger

Mahamadou Amadou Gado

Hanki Yahaye

Service des maladies infectieuses, Hôpital National de Niamey, Niger

Doutchi Mamahamadou

Faculté des Sciences de la Santé de l'Université André Salifou de Zinder,
Niger

Zaneidou Mamane

Ibrahim Tassiou

Direction de la surveillance et de la Riposte épidémiologique, Niamey, Niger

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p93](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p93)

Submitted: 24 November 2024

Accepted: 14 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Sahada, M. S., Zaratou, A. L., Hama, H. I., Boulama, B. M. B. M., Habibatou, I. A., Gado, M. A. A., Yahaye, H., Mamahamadou, D., Mamane, Z., & Tassiou, I. (2025). *Analyse des aspects épidémiologiques, cliniques et évolutifs de la rougeole au Niger*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 93. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p93>

Résumé

Introduction : La rougeole sévit constamment au Niger avec des périodes de pic. L'objectif était d'analyser le profil épidémiologique, clinique et évolutif de la rougeole au cours de l'année 2022. **Méthodologie :** il s'agissait d'une étude transversale qui a porté sur tous les cas suspects de rougeole durant l'année 2022. L'analyse bivariée et multivariée ont été faites avec le logiciel SPSS version 27.0. et avait permis d'identifier les facteurs associés au décès. **Résultats :** un total de 8424 cas suspectés a été colligé. L'âge médian était de 3 ans avec des extrêmes de 0 à 72 ans et les moins de 15 ans représentaient 92%. Après régression logistique les facteurs prédictifs du décès étaient : la provenance du Nigéria (ORa= 0,16, IC à 95% [0,03-0,82]), les semaines épidémiologiques 37-52 (ORa = 0,02, IC à 95% [0,006 - 0,13]). **Conclusion :** l'infection rougeoleuse demeure une réalité de santé publique, et la riposte repose principalement sur le renforcement de la vaccination. La létalité de la rougeole est étroitement corrélée aux pics épidémiologiques.

Mots-clés: Rougeole, facteurs associés, décès, Niger

Epidemiological, Clinical, and Outcome Analysis of Measles in Niger

Moussa Saley Sahada

Faculté des Sciences de la Santé,
Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger
Service des maladies infectieuses, Hôpital National de Niamey, Niger

Ali Labo Zaratou

Faculté des Sciences de la Santé,
Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Hamidou Issa Hama

Service des maladies infectieuses, Hôpital National de Niamey, Niger

Boulama Mamadou Boulama Malam

Faculté des Sciences de la Santé,
Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Ide Amadou Habibatou

Centre de recherche Médicale et Sanitaire (CERMES), Niger

Mahamadou Amadou Gado

Hanki Yahaye

Service des maladies infectieuses, Hôpital National de Niamey, Niger

Doutchi Mamahamadou

Faculté des Sciences de la Santé de l'Université André Salifou de Zinder,
Niger

Zaneidou Mamane

Ibrahim Tassiou

Direction de la surveillance et de la Riposte épidémiologique, Niamey, Niger

Abstract

Introduction: Measles remains endemic in Niger with epidemic peaks. This study aimed to analyze the epidemiological, clinical, and outcome profile of measles cases during 2022. **Methods:** This was a cross-sectional study, including all suspected measles cases reported in 2022. Bivariate and multivariate analyses were performed using SPSS version 27.0. identifying factors associated with death. **Results:** a total of 8424 suspected cases were collected. The median age was 3 years, with extremes from 0 to 72 years old and those under 15 years old accounted for 92%. After logistic regression, the predictors of death were: origin from Nigeria (ORa= 0.16, 95% CI [0.03-0.82])), epidemiological weeks 37-52 (ORa = 0.02, 95% CI [0.006-0.13])). **Conclusion:** Measles infection remains a persistent public health concern, and the response must prioritize vaccination. The case fatality rate of the disease is closely correlated with epidemiological peaks.

Keywords: Measles, associated factors, death, Niger

Introduction

La rougeole est une infection virale à Paramyxovirus du genre Morbillivirus très contagieuse, définitivement immunisante. C'est une maladie à déclaration obligatoire qui touche les enfants à partir de l'âge de 5 à 6 mois. En Afrique, elle peut concerner les plus grands enfants et les adultes jeunes (Marc et Bernard, 2012). Elle constitue un problème majeur de santé publique. En 2022, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) avait rapporté 9 232 288 cas de rougeole dans le monde et 136 000 décès. Trente-sept pays ont connu des flambées épidémiques importantes et porteuses de perturbations en 2022, contre 22 pays en 2021 (OMS, 2023). En Europe, environ 63 707 cas de rougeole ont été rapportés avec 70 cas de décès. Et 825 cas ont été répertoriés en Amérique en 2022 (Minta et al, 2023). En 2017, 173 330 cas rapportés dans le monde dont 45 107 pour la République Démocratique du Congo, 11 190 cas pour le Nigéria, 2036 cas pour la Guinée et 1485 cas pour le Mali (OMS et UNICEF, 2022). Au Niger, en 2021 environ 3 213 cas de rougeole ont été enregistrés contre 1081 cas à la même période de l'année précédente (MSF, 2021). La rougeole, souvent perçue comme une maladie infantile banale, peut être à l'origine de complications graves voire mortelles. Ces complications sont plus nombreuses et plus sévères chez les adultes. Il n'existe aucun traitement spécifique contre la maladie, la vaccination reste le meilleur moyen de prévention (Togola et al, 2019). La rougeole reste l'une des causes importantes de décès des enfants de moins de 5 ans non vaccinés ou sous vaccinés dans le monde. Le chiffre des décès est bien plus alarmant avec une hausse de 43 % en 2022 par rapport à 2021 (OMS, 2023). La vaccination anti rougeoleuse (VAR) intégrée dans le programme élargi de vaccination (PEV) est un moyen efficace de prévention. Pour éviter les flambées épidémiques un taux de couverture par la première dose vaccinale anti rougeoleux $\geq 95\%$ est nécessaire (Caseris et al, 2015). Dans le monde, en 2022, « près de 22 millions d'enfants ont manqué leur première dose et 11 millions ont manqué leur deuxième dose » (OMS, 2023).

En face de cette problématique mondiale nous nous sommes intéressés au profil de la rougeole au Niger afin d'identifier les facteurs associés aux décès dus à la rougeole en 2022.

Patients et Méthodes

Il s'agissait d'une étude transversale. Les données ont été extraites de la base des données (liste linéaire) de la rougeole disponible sur demande adressée à la direction de la surveillance et de la riposte épidémiologique (DSRE). L'étude a été conduite sur toute l'étendue du territoire national dans

les 8 régions (Agadez, Diffa Dosso, Maradi, Tahoua, Tillabéry, Zinder, Niamey) sur une période de 12 mois (Janvier-Décembre 2022).

La population d'étude est constituée des cas suspects de rougeole notifiés sur la base d'un diagnostic clinique présomptif à tous les niveaux de soin. La méthodologie adaptée dans cette étude a été exhaustive par recrutement consécutif de tous les cas suspects notifiés. L'OMS (2023) définit les cas suspects de rougeole comme toutes les personnes présentant une éruption maculopapuleuse généralisée fébrile plus un des signes suivants : toux, coryza, conjonctivite, ou toute personne chez qui le clinicien suspecte la rougeole associée à un contexte épidémique.

Les variables étudiées étaient en rapport avec : les caractéristiques socio démographiques (âge, sexe, provenance), les semaines épidémiologiques, les caractéristiques cliniques et l'évolution des cas (guérison, décès).

Les données ont été analysées avec le logiciel SPSS version 27.0. La fréquence et les pourcentages ont été calculés pour les variables qualitatives. Pour les variables quantitatives la médiane a été déterminée. L'analyse bi variée à l'aide du test de Chi² de Pearson au seuil de significativité de 5% a été effectué entre la variable du résultat (décès avec ses 2 modalités oui et non) et les variables explicatives (âge, sexe, provenance, semaines). Les variables qui étaient significatives (valeur $p < 0,05$) ont été introduites dans le modèle de régression logistique binaire pour identifier les facteurs associés au décès dus à la rougeole.

Approbation éthique

L'étude a utilisé des données anonymisées provenant du système national de surveillance de la rougeole du ministère de la Santé publique du Niger. L'autorisation d'accéder et d'analyser les données a été obtenue auprès de la Direction de la surveillance épidémiologique. Les données ayant été anonymisées et collectées dans le cadre de la surveillance de routine de la santé publique, le comité d'éthique du ministère de la santé du Niger via la direction de surveillance et de la riposte épidémiologique avait levé l'obligation d'obtenir le consentement éclairé individuel.

Résultats

Au total 8424 cas suspects ont été colligés dans les 8 régions du Niger de la semaine 1 à la semaine 52 de l'année 2022.

Caractéristiques socio - démographiques des cas suspects

L'âge médian des patients étaient de 3 ans avec des extrêmes de 0 -72 ans ; la tranche d'âge de 1- 4 ans était de 47, 4%. Les patients étaient de sexe

masculin dans 52,6 % et provenaient de la région de Zinder dans 51,7% (Tableau I).

Tableau I : Caractéristiques socio- démographiques des cas suspects de rougeole

Variables	Fréquence	Pourcentage (%)
Sexe (n=8424)		
Masculin	4428	52,6
Féminin	3996	47,4
Tranche d'âge (n=8421)		
0-11 mois	1236	14,7
1-4 ans	3993	47,4
5-14ans	2507	29,8
≥15 ans	685	8,1
Pays de provenance (n=8424)		
Niger	8280	98,3
Nigéria	144	1,7
Région de provenance (n=8424)		
Agadez		
Diffa	38	0,5
Dosso	511	6,1
Maradi	91	1,1
Niamey	782	9,3
Tahoua	691	8,2
Tillabéri	1912	22,7
Zinder	48	0,6
	4351	51,7

Évolution des cas suspects selon les semaines épidémiologiques

Entre la semaine 13 et 15, 1529 (18,4 %) cas suspects de rougeole ont été notifiés comme décrit dans la figure 1.

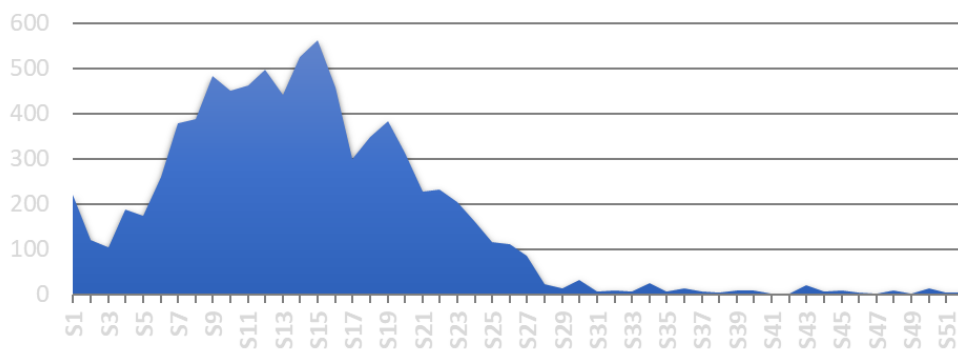


Figure 1 : Répartition des cas de rougeole en fonction des semaines épidémiologiques

Caractéristiques cliniques des cas suspects de rougeole

Les signes cliniques notifiés étaient : l'éruption cutanée et la fièvre dans 41,8% ; l'éruption fébrile associée à la conjonctivite dans 16,5% (figure 2).

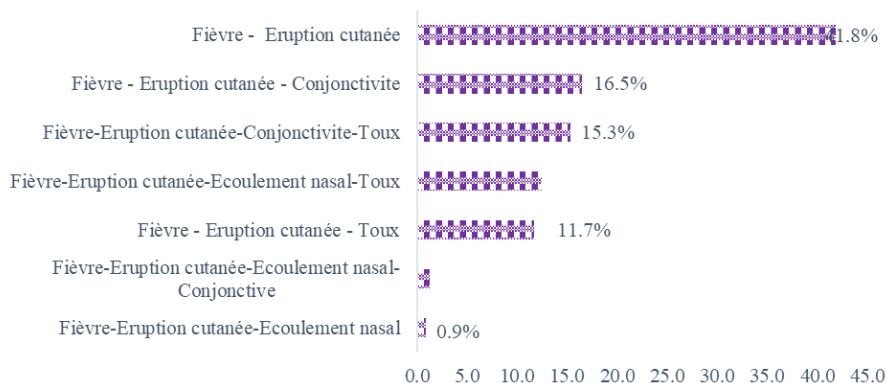


Figure 2 : Répartition des cas suspects de rougeole selon les aspects cliniques.

Aspects évolutifs des cas suspects de rougeole

L'évolution étaient favorable pour 8402 cas (99,80%), 16 cas (0,20 %) de décès étaient notifiés.

Résultats d'analyse bivariable

L'analyse bivariable a montré un lien statistiquement significatif entre le pays de provenance ($p < 0,0001$), la région de provenance ($p = 0,004$), les semaines épidémiologiques ($p < 0,001$) et le décès des patients (Tableau II).

Tableau II : Liens entre le décès des patients et les caractéristiques des cas suspects de rougeole (Analyse bivariable)

Variables	Décès		P-value
	Oui	Non	
Sexe (n=8418)			0,7
Masculin	9 (56,3%)	4416 (52,6%)	
Féminin	7(43,8%)	3986 (47,4%)	
Age (n=8418)			0,6
0-11 mois	1(6,3%)	1234(14,7%)	
1- 4 ans	7 (43,8%)	3983(47,3%)	
5-14 ans	6 (37,5%)	2499(29,8%)	
≥ 15 ans	2 (12,5%)	683(8,1%)	
Pays de provenance (n=8416)			< 0,001
Niger	14 (87,5%)	8258 (98,3%)	
Nigéria	2 (12,5%)	142(1,7%)	
Région de Provenance (n=8418)			0,004
Zinder	14(87,5%)	4331(51,5%)	
Autres	2 (12,5%)	4071(48,5%)	
Semaines épidémiologiques(n=8330)			< 0,001
1-12 S	04 (25%)	3624 (43,4%)	
13-24S	06 (37,5%)	4143(49,8%)	
25- 36S	03 (18,8%)	442(5,3%)	
37-52 S	03 (18,8%)	105(1,3%)	

Résultats d'analyse multivariée

Après régression logistique, les cas qui provenaient du Nigéria [ORa = 0,16 ; IC à 95% (0,03- 0,82)] et les cas enregistrés entre les semaines épidémiologiques 37-52 [ORa = 0,02; IC 95% (0,006 - 0,13)] étaient protégés de décès (Tableau III).

Tableau III: Liens entre le décès et les caractéristiques des cas suspects de rougeole
(Analyse multivariée)

Variables	Odds Ratio Ajusté (IC à 95%)	P-value
Pays de provenance		
Niger	1	0,028
Nigéria	0,16 (0,03- 0,82)	
Semaines épidémiologiques		
1-12	1	0,0001
13-24	1,01 (0,30 - 3,90)	
25-36	0,23 (0,89- 1,09)	
37-52	0,02 (0,006 - 0,13)	

Discussion

En 2022, 8424 cas suspects ont été colligés dans les 8 régions du Niger. Des cas élevés de rougeole ont été enregistrés en 2021 (10531 cas) également. Ce qui corrobore l'épidémiologie mondiale de la rougeole en 2022 selon les données de l'OMS (2023), car au Niger dans les années antérieures, des cas suspects de rougeole inférieurs à ceux de 2022 ont été enregistrés. Avec 2800 cas en 2020 (OMS Niger 2022) ; 2774 suspects en 2019 et 1880 cas suspects en 2018 (MSP, 2020). Ce qui est semblable à la croissance exponentielle des cas de rougeole décrite dans le monde (OMS, 2023).

Les régions les plus touchées en 2022 étaient Zinder, Tahoua et Maradi comparativement à 2021 où les régions d'Agadez, Dosso et Tahoua étaient les plus touchées (OMS Niger, 2022).

L'âge médian des patients était de 3 ans avec des extrêmes de 0 - 72 ans. Nos résultats sont proches de ceux de Idé et al (2022) qui avait rapporté un âge médian de 4 ans et des extrêmes de 0 à 99 ans. Farra et al. (2019) avaient trouvé dans leur série une moyenne d'âge légèrement supérieure de 6, 3 ans. La tranche d'âge de 1-4 ans était de 47, 4%, les mêmes observations étaient retrouvées dans les séries de Farra et al. (2019) et de Getahun et al. (2017). Ces constats peuvent s'expliquer par le fait que le jeune âge est un risque d'infection du fait de l'immunité insuffisante ou de l'absence de vaccination voire la sous vaccination. Les patients étaient de sexe masculin dans 52,6 %. L'étude de Mitiku et al. (2019) en Ethiopie avait retrouvé une fréquence élevée du sexe masculin dans 65% de même que Palmara et al. (2018) en Italie (54 %). Le pic épidémiologique se situait entre la semaine 13 - 15 avec 1529 (18,4 %) cas suspects de rougeole notifiés ce qui se rapproche des travaux de Palmara et al (2018) qui avaient trouvé un pic entre 14 - 16

semaine. Mituku et al (2019), avaient rapporté plutôt un pic entre la semaine 7 - 8 (42,32%). L'éruption cutanée et la fièvre étaient retrouvées dans 41,8% et l'éruption fébrile associée à la conjonctivite dans 16,5% dans notre série. Togo et al (2023) au Mali avaient rapporté 96% d'éruption cutanée et 56% de fièvre. Douchi et al (2017) au Niger, Boushab et al (2015) en Mauritanie et Camara et al (2000) au Sénégal avaient rapporté que la fièvre et l'éruption cutanée étaient constantes. Ces résultats corroborent la définition des cas suspect de la rougeole par l'OMS (2023). Dans notre série, il y avait en analyse bivariable un lien statistiquement significatif entre certaines variables et le décès dont le pays de provenance ($p < 0,0001$), la région de provenance ($p = 0,004$) et les semaines épidémiologiques ($p < 0,001$). En multivarié on a constaté que plus on avait les cas plus le risque de décès était élevé. Dans notre série avec un ORa: 0,16 (ORa<1), les cas qui provenaient du Nigéria étaient protégés tandis que les cas qui provenaient du Niger avaient 6,25 (1/0,16) fois plus de risque de décéder. Par rapport aux semaines de pic épidémiologiques, les cas notifiés entre les semaines 37-52 étaient protégés de décès (ORa:0,02) et les cas enregistrés à la semaine 1-12 avaient près de 50 fois (1/0,02) plus de risque de décéder.

Conclusion

Au terme de notre étude nous rapportons un nombre de cas suspects élevés de rougeole en 2022. Les semaines de pic épidémiologiques se situaient entre la semaine 13 et 15 de l'année. Les signes de la rougeole étaient classiques de fièvre éruptive. Le décès était associé aux semaines de pic épidémiologique. Plus le nombre de cas notifié est élevé, plus le risque augmente. D'où l'intérêt de mettre l'accent sur la prévention par la vaccination mais aussi promouvoir la sensibilisation de la population pour la fréquentation des formations sanitaires et la promptitude de la riposte dans le système de surveillance.

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.

Approbation éthique : L'étude a utilisé des données anonymisées provenant du système national de surveillance de la rougeole du ministère de la Santé publique du Niger. L'autorisation d'accéder et d'analyser les données a été obtenue auprès de la Direction de la surveillance épidémiologique. Les

données ayant été anonymisées et collectées dans le cadre de la surveillance de routine de la santé publique, le comité d'éthique du ministère de la santé du Niger via la direction de surveillance et de la riposte épidémiologique avait levé l'obligation d'obtenir le consentement éclairé individuel.

References:

1. Boushab BM, Savadogo M, Sow MS, Dao S. Aspects épidémiologiques, cliniques et pronostiques de la rougeole au centre hospitalier régional d'Aïoun, Mauritanie. *Med Sante Trop* 2015; 25: 180-183.
2. Camara B, Ba M, Diagne I, Diouf S, Tal/Dia A. Fall L, Diagne/Gueye N.D.R, Sall G, Sow D et Fall M (2000). Complications de la rougeole et facteurs de risque de décès. *Médecine d' Afrique Noire*. 47 (8/9): 380- 5.
3. Caseris M, Burdet C, Lepeule R, Houhou N, Yeni P, Yazdanpanah Yet Joly V. (2015). Actualité de la rougeole. *J Eur Urgences Reanimation*. 1 nov ;27(3):153 - 60.
4. Cornelissen L, Rouckaerts I, Abady M. Surveillance épidémiologique de la rougeole Morbillivirus- (2022). Disponible sur https://www.sciensano.be/sites/default/files/rougeole-rapport_epidemiologique_annuel_2022_fr.
5. Douchi M., Abdoul Aziz Ould M., Sayadi S, Sibongwere D, Shepherd S, Maidadji O, Dan-Bouzoua N, Kinda M, Ouattara A, Amadou Magagi I, Harissou Adamou H. (2017). Campagne de vaccination contre la rougeole en période de pic épidémique dans une zone à forte prévalence de malnutrition au Niger: cas du district sanitaire de Mirriah (Zinder). *The pan African Medical Journal*. 27:240. doi:10.11604/pamj.2017.27.240.11881
6. Farra A, Loumandet TN, Pagonendji M, Manirakiza A, Manengu C, Mbailao R, Ndjapou, S; Lefaou, A, Gouandjika-V I. (2019). Epidemiologic profile of measles in Central African Republic: a nine-year survey, 2007- 2015. *PLoS One*. 14(3): e0213735.
7. Getahun M, Beyene B, Ademe A, Teshome B, Tefera M, Afework A, HaileMariam y, Esete Assefa E, Yonas Hailegiorgis y, Asha A. (2017). Epidemiology of laboratory confirmed measles virus cases in the southern nations of Ethiopia, 2007-2014. *BMC Infect Dis*. Jan 19;17(1):87.
8. Idé AH, Yanogo PK, Barry D, Togola O B, Adehossi E, Meda N. (2022). Epidemiological profile of measles in Niger: analysis of measles case-based surveillance data from 2010 to 2019. *Pan African Medical Journal*. ;43(18).10.11604/pamj.2022.43.18.33443.

9. Marc G, Bernard D (2012). La rougeole dans Médecine tropicale ; France ; 4^{ème} édition 6^{ème} tirage ; P.358-62.
10. Ministère de la Santé Publique (MSP), Direction de la surveillance et de la riposte épidémiologique (DSRE), Niger (2020). Rapport de surveillance épidémiologique de la rougeole.
11. Minta AA, Ferrari M, Antoni S. Progress Toward Measles Elimination- Worldwide, 2000-2022. (2023). MMWR Morb mortal wkly Rep; 72:1262-1268. DOI: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm7246a3>
12. Mitiku B. Debelu, Alemayehu B. Kahsay, Taklu M. Mokonnen, Zewdu G. (2017). Evaluation of Measles Surveillance Systems in Afar Region, Ethiopia: A Descriptive Evaluative Study, . International Journal of Biotech Trends and Technology (IJBT) 2019 9(1) :4-12.
13. MSF. Niger. (2021). Augmentation exponentielle des cas de rougeole. . Disponible sur : <https://www.msf.fr/actualites/niger-augmentation-exponentielle-des-cas-de-rougeole>
14. OMS (2023). Les cas de rougeole et les morts associées progressent dans le monde selon l'Organisation mondiale de la Santé. La solution pour freiner cette situation est la vaccination. Disponible: sur: <https://www.bing.com/search?q=Les%20cas%20de%20C%20A0rougeole%20et%20les%20morts%20associ%C3%A9es>.
15. OMS Niger 2021 rapport annuel_final. (2022). 33p <https://www.afro.who.int/sites/default/files/2022-05>
16. OMS et UNICEF (2022) Disponible : [OMS et UNICEF 2022
www.who.int/fr/news/item/27-04-2022-unicef-and-who-warn-of--perfect-storm](https://www.who.int/fr/news/item/27-04-2022-unicef-and-who-warn-of-perfect-storm)
17. Palamara MA, Visalli G, Picerno I, DI Pietro A, Puglisi G, Marano F. (2018). Measles outbreak from February to August 2017 in Messina, Italy. J Prev Med Hyg. 59(1): E8-13.
18. Togo P, Coulibaly O, Simaga T, Konaté D, Doumbia AK, Dembélé A, Cissé ME, Mariko S, Dembélé G, Diall HG, Traoré F, Maïga B, Sacko K, Ahamadou I, Diakité FL, Sidibé LN, Touré A, Coulibaly YA, Maïga L, Doumbia A, Konaré H, Traoré K, Sagara S (2023). Étude Épidémioclinique de la Rougeole au CHU Gabriel Touré de Bamako. Health Res. Afr. :1 (2) pp 46-50.
19. Togola O, Ballayira Y, Sangho O, Traoré B, Kayembé K, Diakité S, Coulibaly C, Dicko O, N'Diaye H. (2019). Analyse des données de surveillance de la rougeole, Tominian de 2009 à 2018. Mali santé publique. Déc ; 4(2) :62-8.

Activité antiradicalaire et cytotoxique de l'extrait acétate d'éthyle des feuilles de *Mezoneuron benthamianum*, Fabaceae, sur les lignées cellulaires PC3 et MCF-7

***Tanoh Aya Honorine
Kporou Kouassi Elisée***

Groupe d'excellence de Recherche sur les Produits de la Pharmacopée Traditionnelle (GeRProPhaT, Daloa Côte d'Ivoire), Laboratoire d'Agrovalorisation, Université Jean Lorougnon Guede, Côte d'Ivoire

***Brion Anaïs
Seguin Cendrine***

Université de Strasbourg, Institut national de la Recherche Médicale (INSERM), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), UMR_S CNRS, Biomaterials and Bioengineering, Faculté de Pharmacie, France

***Braillon Capucine
Vonthron-Senecheau Catherine
Ortiz Sergio***

UMR 7200 Therapeutic Innovation Laboratory, Strasbourg University, CNRS, Strasbourg Institute for drug Discovery and Development (IMS), Illkirch-Graffenstaden, France

***Kichler Antoine
Fournel Sylvie
Heurtault Béatrice***

Université de Strasbourg, Institut national de la Recherche Médicale (INSERM), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), UMR_S CNRS, Biomaterials and Bioengineering, Faculté de Pharmacie, France

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p104](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p104)

Submitted: 03 September 2025

Accepted: 08 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Tanoh, A.H., Kporou, K.E., Brion, A., Seguin, C., Braillon, C., Vonthron-Senecheau, C., Ortiz, S., Kichler, A., Fournel, S. & Heurtault, B. (2025). *Activité antiradicalaire et cytotoxique de l'extrait acétate d'éthyle des feuilles de Mezoneuron benthamianum, Fabaceae, sur les lignées cellulaires PC3 et MCF-7*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 104. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p104>

Résumé

Ces dernières années, l'intérêt pour l'utilisation des plantes dans la prévention et le traitement du cancer s'est accru, en raison de leur richesse en constituants phytochimiques variés et de leurs effets secondaires limités. La présente étude s'est penchée sur une espèce de plante médicinale de la flore ivoirienne, afin d'évaluer son potentiel cytotoxique sur deux lignées cellulaires cancéreuses. La cytotoxicité a été évaluée selon la méthode MTS (tétrazolium [3-(4,5-diméthylthiazol-2-yl) -5-(3-carboxyméthoxyphényl) -2-(4-sulfophényl) -2H-tétrazolium sur les lignées cancéreuses de prostate PC3 et mammaire MCF-7 en utilisant la doxorubicine comme contrôle positif de mort cellulaire. L'activité antiradicalaire a été évaluée par les tests de DPPH et l'ABTS, avec pour standards respectifs l'acide ascorbique et l'acide gallique. La meilleure activité cytotoxique a été observée sur la lignée PC3 ($CI_{50} = 17,79 \pm 0,09 \mu\text{g/mL}$). Cependant l'activité antiradicalaire de cet extrait ($CI_{50} = 13,97 \pm 0,9 \mu\text{g/mL}$ pour le test de DPPH et $66,77 \pm 0,9 \mu\text{g/mL}$ pour le test de l'ABTS) est moins intéressante que les contrôles (CI_{50} de $7,09 \pm 0,3 \mu\text{g/mL}$ pour l'acide ascorbique et une CI_{50} de $21,47 \pm 0,4 \mu\text{g/mL}$ pour l'acide gallique). En effet, *Mezoneuron benthamianum* a montré une bonne efficacité contre les cellules PC3, une lignée issue d'un cancer de la prostate. Cette plante pourrait être à l'origine de découverte de nouvelles molécules anticancéreuses pouvant être utilisées dans la thérapie du cancer de la prostate.

Mots-clés: Cancer ; cellules cancéreuses ; plante médicinale

Antiradical and Cytotoxic Activity of the Ethyl Acetate Extract of *Mezoneuron benthamianum* Leaves, Fabaceae, on PC3 and MCF-7 Cell Lines

***Tanoh Aya Honorine
Kporou Kouassi Elisée***

Groupe d'excellence de Recherche sur les Produits de la Pharmacopée
Traditionnelle (GeRProPhaT, Daloa Côte d'Ivoire), Laboratoire
d'Agrovalorisation, Université Jean Lorougnon Guede, Côte d'Ivoire

***Brion Anaïs
Seguin Cendrine***

Université de Strasbourg, Institut national de la Recherche Médicale
(INSERM), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), UMR_S
CNRS, Biomaterials and Bioengineering, Faculté de Pharmacie, France

***Braillon Capucine
Vontron-Senecheau Catherine
Ortiz Sergio***

UMR 7200 Therapeutic Innovation Laboratory, Strasbourg University,
CNRS, Strasbourg Institute for drug Discovery and Development (IMS),
Illkirch-Graffenstaden, France

***Kichler Antoine
Fournel Sylvie
Heurtault Béatrice***

Université de Strasbourg, Institut national de la Recherche Médicale
(INSERM), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), UMR_S
CNRS, Biomaterials and Bioengineering, Faculté de Pharmacie, France

Abstract

In recent years, there has been growing interest in using plants for the prevention and treatment of cancer, due to their rich variety of phytochemical constituents and limited side effects. This study focused on a medicinal plant species from the Ivorian flora to evaluate its cytotoxic potential on two cancer cell lines. Cytotoxicity was assessed using the MTS assay (tetrazolium [3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl) -5-(3-carboxymethoxyphenyl) -2-(4-sulfophenyl) -2H-tetrazolium]) on the prostate cancer cell line PC3 and the breast cancer cell line MCF-7, with doxorubicin used as the positive control for cell death. Antioxidant activity was evaluated using DPPH and ABTS assays, with ascorbic acid and gallic acid as respective standards. The best cytotoxic activity was observed on the PC3 cell line ($IC_{50} = 17.79 \pm 0.09 \mu\text{g/mL}$). However, the antioxidant activity of this extract ($IC_{50} = 13.97 \pm 0.9 \mu\text{g/mL}$ in

the DPPH assay and $66.77 \pm 0.9 \mu\text{g/mL}$ in the ABTS assay) is less notable than that of the controls (IC_{50} of $7.09 \pm 0.3 \mu\text{g/mL}$ for ascorbic acid and $21.47 \pm 0.4 \mu\text{g/mL}$ for gallic acid). Nevertheless, *Mezoneuron benthamianum* demonstrated strong efficacy against PC3 cells, a cell line derived from prostate cancer. This plant could potentially lead to the discovery of new anticancer molecules that may be used in prostate cancer therapy.

Keywords: Cancer, Cancer cells, medicinal plant

Introduction

En 2022, le nombre de nouveaux cas de cancer a été estimé à 20 millions, avec près de 10 millions de décès ce qui en fait l'une des principales causes de mortalité mondiale (OMS, 2023). Chez les femmes, le cancer du sein est le deuxième plus fréquent, avec 2,3 millions de cas, représentant 18,1 % des diagnostics. Chez les hommes, le cancer de la prostate est l'un des cancers les plus courants représentant 18,9 % des cas (Globocan, 2022). Les principales stratégies thérapeutiques comprennent la chimiothérapie, la chirurgie, la radiothérapie, l'hormonothérapie et l'immunothérapie. Toutefois, la plupart de ces traitements entraînent des effets secondaires sévères, compliquant leur tolérance pour de nombreux patients. En réponse à cela, de nouvelles approches comme la phytothérapie sont nécessaires, car elles pourraient avoir moins d'effets secondaires.

De nombreuses études à travers le monde ont mis en évidence la cytotoxicité des plantes. Par exemple, Toktam *et al.* (2015) ont démontré les effets antiprolifératifs et anti-apoptotiques in vitro de l'huile essentielle de *Cyperus longus* sur les lignées cellulaires MCF-7. Par ailleurs, en Nouvelle-Calédonie, Thieury (2017) a observé que les extraits acétatique et cyclohexanique des feuilles de *Storckia pancheri* présentaient une activité cytotoxique sur les lignées cancéreuses du sein, du côlon et de la prostate. De même, en Turquie, Uğur *et al.* (2017) ont montré qu'un extrait éthanolique des feuilles de *Artemisia absinthium* (Asteraceae) avait une activité cytotoxique sur les cellules du cancer du sein ($\text{CI}_{50} = 221,5 \mu\text{g/mL}$). Au Brésil, Rosa *et al.* (2020) ont montré que l'extrait dichloromethanique des feuilles de *Cecropia pachystachya* (Urticaceae) était toxique contre les cellules du cancer de la prostate avec une CI_{50} de $70,85 \mu\text{g/mL}$. Ces résultats illustrent la dynamique des recherches portant sur les plantes aux propriétés anticancéreuses.

Cependant en Côte d'Ivoire, malgré les enquêtes ethnobotaniques et ethnopharmacologiques qui documentent l'usage des plantes médicinales dans diverses recettes traditionnelles pour le traitement de certaines tumeurs en Côte d'Ivoire (Kabran *et al.*, 2011 ; Aké-Assi, 1984 ; Adjanooun & Aké-Assi, 1979), les données scientifiques concernant leur efficacité et leur

innocuité restent encore limitées. Parmi ces plantes figurent *Mezoneuron benthamianum*, un arbuste grimpant épineux à feuillage persistant, caractérisé par un agencement alterné et bipenné, appartenant à la famille des Fabaceae. Cette plante est réputée pour ses nombreuses propriétés thérapeutiques. Les racines fraîches, traditionnellement mâchées et ingérées, sont utilisées pour le traitement des troubles de l'érection (Bekro *et al.*, 2007). Zamblé *et al.* (2007) ont effectivement démontré que ces racines possèdent une activité antioxydante et aphrodisiaque. Par ailleurs, les feuilles de *Mezoneuron benthamianum* ont révélé une cytotoxicité contre les cellules du cancer de la prostate, du sein et du poumon au Nigeria (Tayo *et al.*, 2022). Cette plante bien que biodisponible n'a pas encore été évaluée pour son potentiel cytotoxique en Côte d'Ivoire.

Dans une perspective de valorisation des substances naturelles issues de la flore Ivoirienne, cette étude vise à évaluer le potentiel cytotoxique et antiradicalaire des feuilles de *Mezoneuron benthamianum* contre les lignées de cellules cancéreuses de prostate PC3 et mammaires MCF-7.

Matériels et méthodes

Lignées cellulaires et conditions de culture

Les lignées cellulaires utilisées, d'origine humaine, ont été fournies par l'American Type Culture Collection (ATCC) (Manassas, Virginie). Les milieux de culture, le sérum de veau fœtal, la trypsine et les antibiotiques utilisées, proviennent de Sigma-Aldrich (St Louis, Missouri). Les lignées MCF-7 (cancer du sein hormono-dépendant) et PC3 (cancer de la prostate) ont été cultivées respectivement dans le milieu DMEM/F12 (PAN Biotech P04-41550-500mL) et le milieu DMEM-high glucose (Sigma-Aldrich D0819-500mL), tous deux enrichis avec 10 % de sérum de veau fœtal et 1 % de pénicilline-streptomycine. L'incubation des cellules s'est effectuée à 37 °C, sous une atmosphère contrôlée contenant 5 % de CO₂ et 95 % d'humidité.

Matériel végétal

Les feuilles de *Mezoneuron benthamianum* ont été récoltées en février 2023 dans la ville de Daloa, Côte d'Ivoire, puis identifiées au Centre National Floristique (CNF) sous le numéro d'herbier UCJ00956. Après la récolte, elles ont été séchées à l'ombre à température ambiante, puis broyées en poudre et soigneusement conservées en vue des analyses.

Préparation des extraits

Vingt grammes de poudre des feuilles ont été macérés pendant 24 heures dans de l'acétate d'éthyle. Les extraits obtenus ont ensuite été évaporés à l'aide d'un évaporateur rotatif, puis les extraits secs ont été conservés à 4 °C jusqu'à leur utilisation.

Test de cytotoxicité

Jour 1 : Les cellules ont étéensemencées dans les plaques à 96 puits dans un volume de 100 µL/puits puis incubées pendant 24 heures. Trois puits ont été laissés vide sur la plaque pour le contrôle sans cellule = blanc (MTS).

Jour 2 : 10 mg de l'extrait ont été dissous dans un mélange de DMSO et d'eau milli-Q (1 :1, V/V) pour obtenir une solution stock de 1 mL à une concentration de 10 mg/mL. Par la suite, des solutions diluées ont été préparées dans le milieu de culture à une concentration 2X (de 400 µg/mL à 0,002 µg/mL). Pour le premier point de gamme soit une concentration 2X à 400 µg/mL, 24 µL de la solution mère à 10 mg/mL ont été ajoutés à 576 µL de milieu de culture. Puis des dilutions au tiers ont été réalisées pour les points suivants : 200 µL de concentration 400 µg/mL ajoutés à 400 µL de milieu de culture pour préparer une seconde concentration de 133 µg/mL, 200 µL de concentration 133 µg/mL ajoutés à 400 µL de milieu de culture pour préparer une seconde concentration de 44,33 µg/mL, etc. Les cellules ont été traitées avec une gamme de concentrations de l'extrait comprise entre 200 µg/mL et 0,001 µg/mL (concentration finale) par ajout de 100 µL des dilutions 2X dans les puits contenant 100 µL de cellules (20000 cellules /puits). Pour les cellules non traitées (témoin), 100 µL de milieu de culture ont été ajoutés dans chaque puits (contrôle positif de croissance) puis incubés pendant 24 h. Pour vérifier l'effet du DMSO sur les cellules, la solution de resuspension des extraits (DMSO+H₂O) a subi les mêmes dilutions.

Jour 3 : Au troisième jour, le surnageant a été prélevé et ensuite 100 µL du mélange MTS/PBS (1 : 9, V/V) ont été ajoutés dans les puits y compris les trois puits qui ne contiennent pas de cellules (le blanc). Les plaques ont été incubées pendant environ 1h. L'absorbance des plaques a été mesurée à 490 nm au spectrophotomètre. La quantité de formazan mesurée est proportionnelle au nombre de cellules vivantes. Les résultats ont été exprimés en pourcentage de viabilité cellulaire selon la formule (Ali-Azouaou, 2016) :

$$\%Viab = \frac{A_{Echantillon} - A_{blanc}}{A_{témoin} - A_{blanc}} \times 100$$

% Viab: Pourcentage de viabilité des cellules

A_{Echantillon} : Absorbance de l'échantillon (les extraits) testé

A_{Témoin} : Absorbance du témoin

A_{blanc} : absorbance du blanc (MTS)

Activité antioxydante

Cette étude a été réalisée selon deux tests chimiques antiradicalaires à savoir le test de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) et le test de l'ABTS

(acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique) selon la méthode décrite par Roukia *et al* en (2015) et Tepe *et al.*, 2005.

Pour le test de DPPH, une solution mère a été préparée en dissolvant 0,024 g de DPPH dans 100 mL d'éthanol. Le spectrophotomètre UV/Vis a été employé pour mesurer la DO de la solution obtenue à 517 nm. L'absorbance de cette solution était d'environ $0,98 \pm 0,021$. Ensuite, 1680 µL de la solution de DPPH ont été mélangés avec 1600 µL de l'extrait à différentes concentrations comprises entre 100 µg/mL et 3,12 µg/mL. Le mélange réactionnel a été incubé pendant 30 minutes. Ensuite, l'absorbance a été mesurée à 517 nm.

Quant au test de l'ABTS, une quantité de 0,038 g d'ABTS a été préalablement dissoute dans 10 mL d'eau avant d'y ajouter 0,0067 g de persulfate de potassium. Le mélange obtenu a été conservé à l'abri de la lumière et à température ambiante pendant 12 h. Par la suite, il a été dilué avec de l'éthanol afin d'obtenir une absorbance de 0,7 à 734 nm. Les extraits ont été préparés dans une gamme de concentration comprise entre 200 µg/mL et 12,5 µg/mL. L'activité antioxydante a été mesurée en ajoutant 2 mL de la solution radicalaire ABTS⁺ dans chacune des dilutions de l'extrait. Les dilutions ainsi préparées sont conservées à l'abri de la lumière, à la température ambiante pendant 10 mn.

Le pourcentage d'inhibition (PI) du radical DPPH et ABTS est calculé selon l'équation suivante :

$$\% I = \frac{DO_{\text{Témoin}} - DO_{\text{Echantillon}}}{DO_{\text{Témoin}}} \times 100$$

% I : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH/ABTS

DO_{Témoin} : Densité optique du témoin (solution éthanolique de DPPH/ABTS)

DO_{Echantillon} : Densité optique de l'échantillon testé

Résultats et discussion

Rendement

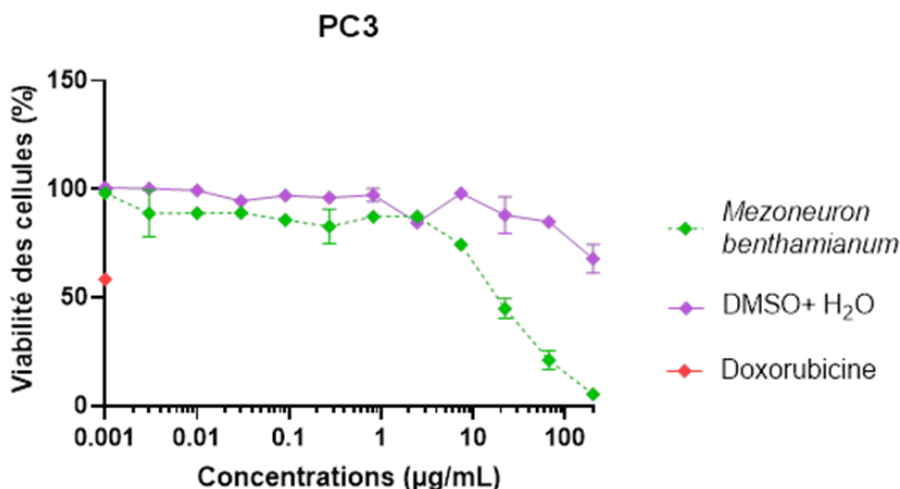
L'extraction à l'acétate d'éthyle de 20 g de poudre des feuilles de *Mezoneuron benthamianum* a permis d'obtenir un extrait sec avec un rendement de 5,26 %.

Cytotoxicité

La Figure 1 met en évidence l'effet cytotoxique de l'extrait sur la lignée cellulaire PC3, illustrant une diminution progressive de la viabilité cellulaire. À la concentration de 200 µg/mL, une mortalité cellulaire d'environ 95 % est observée. A cette même concentration le contrôle DMSO + H₂O induit une perte de viabilité d'environ 25 % mais la viabilité reste comprise entre 75 % et 100 % à des concentrations plus faibles. Ces résultats indiquent une

cytotoxicité dose-dépendante avec *Mezoneuron benthamianum* sur les cellules PC3.

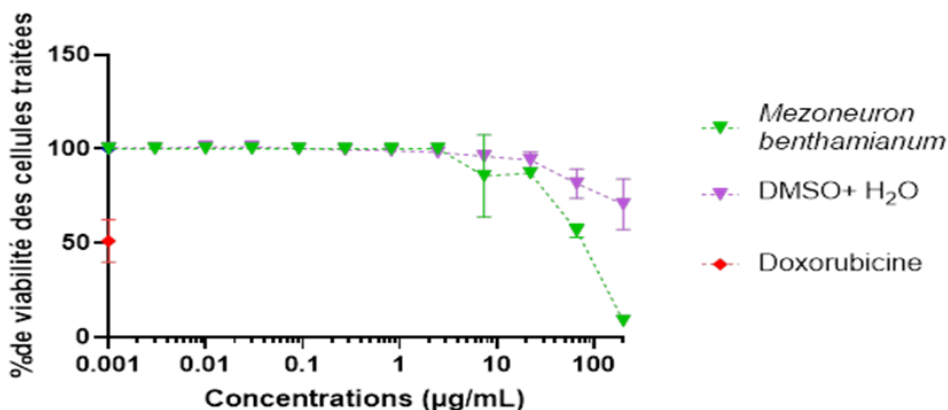
Figure 1 : Courbe dose-réponse de l'extrait sur la lignée cellulaire PC3.



La lignée cellulaire PC3 est sensible à l'extrait. La doxorubicine, qui est le contrôle positif, a été utilisée à 1 µM. Chaque point représente la moyenne des triplicatas. La viabilité cellulaire a été mesurée après 24h de traitement.

Ensuite, la figure 2 illustre la courbe dose-réponse des extraits évalués sur la lignée cellulaire MCF-7. L'extrait a montré une cytotoxicité significative dès 20 µg/mL, entraînant une réduction progressive de la viabilité cellulaire. À 200 µg/mL, cet extrait a induit une mortalité cellulaire de 90 %. En revanche, pour le contrôle DMSO + H₂O, la viabilité observée était de 70 % à 200 µg/mL, et elle est restée intacte (100 %) aux concentrations inférieures

Figure 2 : Courbe dose-réponse de l'extrait sur la lignée cellulaire MCF-7.



Les conditions expérimentales sont similaires à celles décrites dans la légende de la figure 1.

Pour une meilleure caractérisation de la cytotoxicité des extraits, les concentrations inhibitrices 50 % (CI₅₀) ont été déterminées pour chaque lignée cellulaire. La doxorubicine, utilisée comme molécule antitumorale de référence, a été évaluée à une concentration de 1 µM (0,543 µg/mL), entraînant une inhibition d'environ 50 % de la viabilité cellulaire. Sur la lignée PC3 (cancer de la prostate) la CI₅₀ était de $17,79 \pm 0,09$ µg/mL et sur les MCF-7 nous avons obtenu une CI₅₀ = $44,48 \pm 3,4$ µg/mL.

Activité antioxydante

Au niveau du test de DPPH, l'acide ascorbique a provoqué une inhibition maximale d'environ 99 % à 100 µg/mL. Tandis que le pourcentage d'inhibition maximal obtenu par l'extrait était de 86 % (Figure 3).

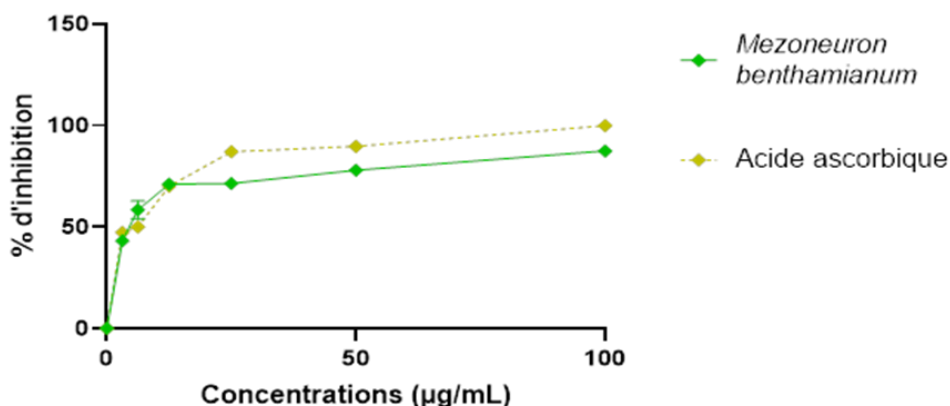


Figure 3 : Evolution des pourcentages d'inhibition du radical DPPH par l'acide ascorbique et l'extrait

Les valeurs CI₅₀ calculées à partir des droites de régression de l'acide ascorbique ($Y=0,6863X+45,131$) et de l'extrait *Mezoneuron benthamianum* : ($Y= 0,5582X+42,199$) ont révélé une CI₅₀ pratiquement deux fois moins élevée au niveau de l'acide ascorbique $7,09 \pm 0,3$ µg/mL, comparée à l'extrait étudié ($13,97 \pm 0,9$ µg/mL).

Quant au test de l'ABTS, une inhibition maximale d'environ 96 % a été obtenue par l'acide gallique à 200 µg/mL. Alors que l'inhibition maximal obtenue par l'extrait était 68 % *Mezoneuron benthamianum* (Figure 4).

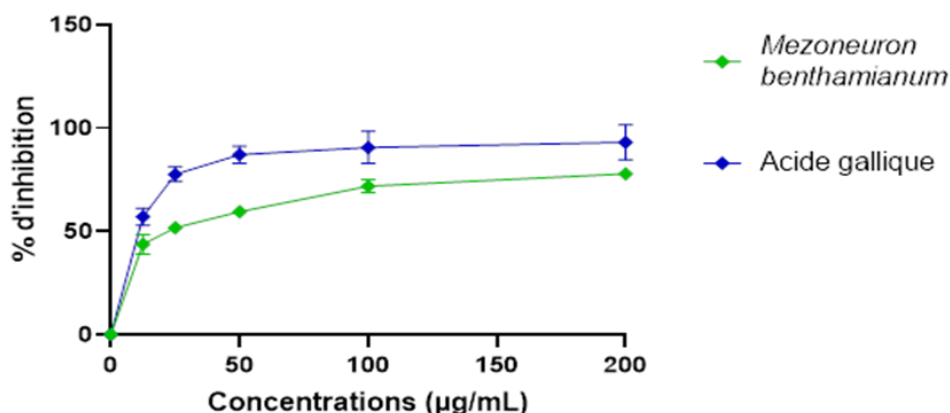


Figure 4 : Evolution des pourcentages d'inhibition du radical ABTS par l'acide gallique et l'extrait

Les valeurs CI_{50} calculées à partir des droites de régression de l'acide gallique ($Y = 0,3247X + 43,029$) et de l'extrait *Mezoneuron benthamianum* : ($Y = 0,2285X + 34,743$) ont révélé une CI_{50} pratiquement trois fois moins élevée au niveau de l'acide gallique $21,47 \pm 0,4 \mu\text{g/mL}$, comparée à l'extrait étudié ($66,77 \pm 0,9 \mu\text{g/mL}$).

Discussion

Les tests de cytotoxicité ont été effectués en comparaison avec la doxorubicine, une référence parmi les molécules anticancéreuses, dont la valeur de CI_{50} sur différentes lignées cellulaires est établie à $1 \mu\text{M}$ ($0,543 \mu\text{g/mL}$) (Lovitt *et al.*, 2018). L'analyse des courbes d'activité des extraits sur les deux lignées a mis en évidence une relation dose-réponse dépendante, indiquant que plus la concentration des extraits augmente, plus la proportion de cellules mortes s'accroît. Ces résultats suggèrent que les extraits testés renferment des composés actifs responsables d'une toxicité cellulaire mesurable, dont l'effet s'intensifie avec l'augmentation de la dose. L'analyse des valeurs de CI_{50} de l'extrait acétatique de *Mezoneuron benthamianum* met en évidence une variabilité de la toxicité selon la lignée cellulaire ciblée. Selon les critères établis par l'Institut National du Cancer (NCI) des États-Unis, la cytotoxicité des extraits bruts est évaluée selon une échelle précise c'est à dire une CI_{50} inférieure à $20 \mu\text{g/mL}$ indique une forte toxicité, une CI_{50} comprise entre 20 et $100 \mu\text{g/mL}$ traduit une toxicité modérée, une CI_{50} entre 100 et $500 \mu\text{g/mL}$ correspond à une toxicité faible, tandis qu'une CI_{50} supérieure à $500 \mu\text{g/mL}$ est considérée comme indiquant une absence de toxicité significative (Suffness & Pezzuto, 1990 ; Kuete *et al.*, 2011 ; Atanasov *et al.*, 2021). Cette classification permet d'évaluer les effets cytotoxiques des extraits en fonction des types cellulaires étudiés. En dépit de ce que le produit de référence

présente une toxicité assez élevée sur les cellules cancéreuses étudiées, il n'en demeure pas moins que les extraits de *Mezoneuron benthamianum* ; testé sur la lignée PC3, a montré une forte toxicité ($CI_{50} = 17,79 \pm 0,09 \mu\text{g/mL}$), tandis que sur les MCF-7, il a présenté une toxicité modérée ($CI_{50} = 44,48 \pm 3,4 \mu\text{g/mL}$).

Une étude menée au Nigeria par Tayo *et al.* (2022) a mis en évidence une forte activité cytotoxique de l'extrait aqueux des feuilles de *Mezoneuron benthamianum* contre les cellules PC3, avec une CI_{50} de $16,60 \pm 0,04 \mu\text{g/mL}$. En revanche, l'extrait hexanique de *Mezoneuron benthamianum* a montré une toxicité modérée sur les MCF-7, avec une CI_{50} de $72 \mu\text{g/mL}$. Ces résultats sont en accord avec les données obtenues dans la présente étude menée en Côte d'Ivoire, confirmant ainsi le potentiel cytotoxique de *Mezoneuron benthamianum* et suggérant qu'elle contient des composés actifs capables d'inhiber la prolifération des cellules PC3 et MCF-7. Ces observations renforcent l'intérêt thérapeutique de cette plante, notamment pour la santé de la prostate, des organes masculins et du sein.

La cytotoxicité variable de *Mezoneuron benthamianum* sur les deux lignées cellulaires étudiées résulte probablement de l'interaction entre facteurs biologiques et chimiques propres à chaque type cellulaire, modulant ainsi l'effet de l'extrait. Ainsi, un même extrait peut présenter une activité marquée sur une lignée tout en étant moins efficace sur une autre. Cette différence de sensibilité pourrait être influencée par la présence ou l'absence de récepteurs spécifiques, par l'expression de mécanismes de résistance, ainsi que par des caractéristiques biologiques intrinsèques des cellules ciblées (Guengerich, 2000). En outre, le microenvironnement cellulaire intégrant des facteurs tels que le pH, le taux d'oxygénation, ainsi que les interactions avec des organites essentiels comme les mitochondries, les lysosomes ou le matériel génétique est susceptible d'influencer la réponse des cellules à l'effet cytotoxique de l'extrait (Emeraux, 2019).

Dans la lutte contre le cancer, plusieurs facteurs interviennent, et la prévention joue un rôle clé. Parmi ces éléments, les antioxydants se distinguent par leur capacité à protéger les cellules contre les dommages induits par les radicaux libres.

Dans cette étude, l'activité antiradicalaire de l'extrait a été évaluée à l'aide des tests de DPPH et ABTS. Concernant le test de DPPH, la CI_{50} de l'extrait de *Mezoneuron benthamianum* ($13,97 \pm 0,9 \mu\text{g/mL}$) était deux fois moins élevée que celle de l'acide ascorbique ($7,09 \pm 0,3 \mu\text{g/mL}$), ce qui dénote que l'activité antioxydante de l'extrait étudié est inférieure à celle de l'acide ascorbique, un antioxydant de référence reconnu pour son fort pouvoir réducteur. Néanmoins, la comparaison de ces résultats avec ceux rapportés par d'autres auteurs indique que les feuilles de *Mezoneuron benthamianum* possèdent une activité antiradicalaire supérieure à celle de ses racines. En

effet, Osamudiamen *et al.* (2020) ont obtenu, avec un extrait à l'acétate d'éthyle des racines de *Mezoneuron benthamianum*, une CI_{50} de 23,70 $\mu\text{g/mL}$, une valeur supérieure à celle observée dans cette étude pour les feuilles ($CI_{50} = 13,97 \mu\text{g/mL}$). Cette différence pourrait être attribuée à des variations dans la teneur en composés antioxydants tels que les polyphénols et flavonoïdes, qui diffèrent selon les parties de la plante. Plus particulièrement, les feuilles, étant directement exposées à la lumière solaire, ont tendance à accumuler davantage de composés antioxydants afin de se protéger du stress oxydatif induit par les rayonnements UV (Enneb *et al.*, 2015 ; Akre *et al.*, 2023).

Dans le prolongement de ces observations, la comparaison des résultats obtenus dans cette étude avec ceux rapportés par Hayat *et al.* (2020) et Monyn *et al.* (2021) met en évidence la forte activité antiradicalaire de l'extrait analysé. En effet, les extraits à l'acétate d'éthyle des feuilles de *Hydrocotyle bonariensis* et de *Marrubium vulgare* ont affiché des valeurs de CI_{50} significativement plus élevées, soit $58,80 \pm 0,3 \mu\text{g/mL}$ et $324,5 \pm 0,66 \mu\text{g/mL}$ respectivement, lors du test au DPPH. Ces résultats suggèrent que *Mezoneuron benthamianum* renferme dans son extrait à l'acétate d'éthyle, des composés antioxydants plus puissants.

Lors d'un test antiradicalaire complémentaire basé sur le radical $ABTS^{\bullet+}$, l'extrait étudié a montré une activité antiradicalaire, avec une CI_{50} de 66,77 $\mu\text{g/mL}$. Ces résultats corroborent ceux obtenus avec le test DPPH, confirmant ainsi la fiabilité des deux méthodes de mesure. Cette cohérence suggère que *Mezoneuron benthamianum* possède une capacité antiradicalaire significative, probablement liée à sa richesse en composés phénoliques et flavonoïdiques. Ces composés sont reconnus pour leur efficacité dans la neutralisation de divers types de radicaux libres, par transfert d'électrons ou d'atomes d'hydrogène (Rice-Evans *et al.*, 1997 ; Apak *et al.*, 2016). La différence de sensibilité observée entre les deux tests peut néanmoins s'expliquer par la nature chimique des radicaux utilisés. Le radical DPPH $^{\bullet}$ est principalement sensible aux antioxydants lipophiles, tandis que le radical $ABTS^{\bullet+}$ est plus réactif avec des antioxydants hydrophiles et amphiphiles (Re *et al.*, 1999 ; Prior *et al.*, 2005). Il est donc possible que certains composés majoritaires dans *M. benthamianum* soient plus efficaces contre le DPPH $^{\bullet}$ que contre l' $ABTS^{\bullet+}$, ce qui expliquerait la différence relative d'efficacité observée selon le test utilisé.

Conclusion

Ce travail vise à valoriser le potentiel cytotoxique de *Mezoneuron benthamianum*, une plante de la flore Ivoirienne utilisée en médecine traditionnelle sur deux lignées cellulaires cancéreuses (PC3 et MCF-7) ainsi que son potentiel antiradicalaire. L'extrait acétate d'éthyle des feuilles de *Mezoneuron benthamianum* s'est révélé particulièrement toxique sur la lignée

PC3 ($CI_{50} = 17,79 \pm 0,09 \mu\text{g/mL}$) et de façon plus modérée sur la lignée MCF-7 ($CI_{50} = 44,48 \pm 3,4 \mu\text{g/mL}$). Les tests de DPPH et ABTS ont mis en lumière la forte capacité antioxydant de l'extrait de *C. benthamiana*. Ces données confirment le double bénéfice de l'utilisation de *Mezoneuron benthamianum* en prévention grâce à son fort potentiel antioxydant et en thérapie anticancéreuse grâce à sa toxicité.

Dans une perspective de développement biologique, il conviendra d'optimiser l'activité des extraits par un fractionnement bioguidé, tout en évaluant leur cytotoxicité sélective vis-à-vis des cellules saines afin de garantir leur efficacité ciblée et leur innocuité. Au plan de la valorisation des savoirs traditionnels locaux, un médicament traditionnel amélioré répondant aux normes pharmaceutiques, à base d'extraits d'acétate d'éthyle de *Annickia polycarpa* et *Mezoneuron benthamianum*, destiné à contribuer à la prise en charge des cancers du côlon et de la prostate sera développé.

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 : Nous exprimons notre sincère gratitude à l'association « ALSACE contre le cancer » pour son soutien financier à cette recherche.

References:

1. Adjanooun, E. & Ake Assi L. (1979). Contribution au recensement des plantes médicinales de Côte d'Ivoire, Centre National de Floristique Abidjan, 358 p.
2. Aké-Assi, L. (1984). Flore de la Côte-d'Ivoire : étude descriptive et biogéographique, avec quelques notes ethnobotaniques, Tome 1, II, III. Thèse de Doctorat de Sciences Naturelles, Université Nationale, FA.ST, Côte-d'Ivoire, 1205 p.
3. Aké, D. S. T., Kouamé, K. B., Okou, O. C., Diakité, D., Ackah, J. A. B. A. & Djaman, J. A. (2023). Tri phytochimique et activité antibactérienne des extraits hydroacétoniques de *Baphia nitida* (Fabaceae) sur *Shigella spp* et *E. coli*, deux entérobactéries impliquées dans les diarrhées infantiles à Daloa, Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 19 (12): 48-68.
4. Ali-Azouaou, S. (2016). Evaluation of the anticancer effects of pharmacological compounds on cancer stem cells and their descendants: Characterization of molecular mechanisms. Thèse de

- Doctorat de Pharmacologie, École doctorale des Sciences de la vie et de la santé, Université de Strasbourg, France, 158 p.
5. Apak, R., Mustafa, Ö., Kubilay, G. & Esra, Ç. (2016). Antioxidant Activity/Capacity Measurement. 1. Classification, Physicochemical Principles, Mechanisms, and Electron Transfer (ET)-Based Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(5) : 997-1027.
 6. Atanasov, A. G., Zotchev, S. B., Dirsch, V. M. & Supuran, C. T. (2021). Natural products in drug discovery: Advances and opportunities. *Natural Reviews Drug Discovery*, 20: 200-216
 7. Békro, A.Y., Janat, A., Mamyrbekova, B. J., Boua, B. B., TRA BI, F. & Ehouan, E. E. (2007). Étude ethnobotanique et screening phytochimique de *Caesalpinia benthamiana* (Baill.) Herend. Et Zarucchi (Caesalpiniaceae). *Sciences & Nature* 4(2): 217-225.
 8. Emeraux, E. (2019). Propriétés biologiques des flavonoïdes : Etude bibliographique et évaluation de l'activité antioxydante. Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Faculté de pharmacie, Université de Lorraine, France, 85 p
 9. Enneb, H., Belkadhi A., Cheour, F. & Ferchichi, A. (2015). Comparison of phenolic compounds and antioxidant power of the henna plant (*Lawsonia inermis* L.). *Journal of a new science*, 20(2): 2286-5314.
 10. Globocan. (2022). Statistics at a glance, 2022: Côte d'Ivoire, 2 p. <https://gco.iarc.who.int/today>.
 11. Guengerich, P. F. (2000). Metabolism of chemical carcinogen. *Carcinogenesis*, 21(3) : 345-351.
 12. Hayat, J., Mustapha, A., Abdelmajid, M., Ali, S., Dit, E. & Saadia, B. (2020). Phytochemical screening, polyphenols, flavonoids and tannin content, antioxidant activities and FTIR characterization of *Marrubium vulgare* L. from 2 different localities of Northeast of Morocco. *Héliyon*, 6(11) : 854-877.
 13. Kabran, G. R., Ambeu, N. C., Mamyrbéko, B. J. A. & Békro Y. A. (2011). CCM d'extraits sélectifs de 10 Plantes utilisées dans le traitement traditionnel du Cancer du Sein en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 63(4): 592-603.
 14. Kuete, V., Benjamin, K., Mahmoud, Y, Igor V., Aimé, G. F., Simplicite T., Stephen, L. & Thomas, E. (2011). Cytotoxicity of some Cameroonian spices and selected medicinal plant extracts. *Journal of Ethnopharmacology*, 134: 803-812.
 15. Lovitt, C. J., Shelper, T. B. & Avery, V. M. (2018). Doxorubicin resistance in breast cancer cells is mediated by extracellular matrix proteins. *BMC cancer*, 18(1) : 41.

16. Monyn, E.D., Yeo, S.O., Kouame, B.A. & Kone, M.W. (2021). Antioxidant activity and chemical composition of extracts from the leaves of *Hydrocotyle bonariensis* comm. *The Journal of Phytopharmacology*, 10(6) : 443-449.
17. OMS. (2023). Journée mondiale contre le cancer 2023. <https://www.afro.who.int/fr/regional-director/speechesmessages/journee-mondiale-contre-le-cancer-2023>. Consulté en Août 2024.
18. Osamudiamen, P. M., Bolaji, B., Oluremi, O. F.T. & Olapeju, O. (2020). A. Effets inhibiteurs des extraits de racine de *Mezoneuron benthamianum* sur les micro-organismes cariogènes buccaux et sur le piégeage des radicaux 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH). *phytoscience Clinique*, 6(49) :1-7
19. Prior, L.R, Xianli, W. & Karen S. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10) : 4290-4302.
20. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10) : 1231-1237.
21. Rice-Evans, C.A., Miller, N.J. & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(7) : 933-956.
22. Rosa, H., Pamela, C., Caroline, F.O., Naira, F.Z.S., Flavio, H.R., Cláudia, M.O.S. & Izabella, T.S. (2020). Cytotoxic effects of a triterpene-enriched fraction of *Cecropia pachystachya* on the human hormone-refractory prostate cancer PC3 cell line. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 130 : 110 -551.
23. Roukia, H., Dehak, K., Mahfoud, H. M. & Mohammed, D.O. (2015). Composition chimique et activité antioxydante des huiles essentielles de *deverra scoparia* coss. & dur. (Apiacées). *Lebanese Science Journal*, 16(2) : 11
24. Suffness, M., Pezzuto, J. M. (1990). Assays related to cancer drug discovery. *Méthodes en biochimie végétale*, 6: 71-133.
25. Tayo, I., Famojuro T. O., Elufioye, O. A., Olajide, M. D. & Adeboye, A. (2022). New cytotoxic compounds from the leaves of *Caesalpinia benthamiana* (Baill.) Herend. & Zarucchi (Fabaceae). *Avicenna Journal Phytomedicine*, 11(1): 54-67.
26. Tepe, B., Dimitra, D., Atalay S, Munevver, S. & Moschos, P. (2005). Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and various

- extracts of *Salvia tomentosa* Miller (Lamiaceae). *Chimie alimentaire*. Tome 90(3) : 333-340.
27. Thieury, C. (2017). Les anticancéreux dans la biodiversité végétale mondiale et en Nouvelle-Calédonie. Thèse pour le diplôme d'Etat de docteur en pharmacie, Université de Caen Normandie, France, 132 p
28. Toktam, M., Toktam, H., Kamali, A., Mohammadi, M., Ghorbani, A., Shakeri, D. A. & Spandidos, A. M. T. (2015). Evaluation of the cytotoxic effects of *Cyperus longus* extract, fractions and its essential oil on the PC-3 and MCF7 cancer cell lines. *Oncology Letters*, 11(2): 1792-1074.
29. Uğur, D., Hatice G., Fatma G. & Ramazan M. (2017). Cytotoxic activities of certain medicinal plants on different cancer cell lines. *Turkish Journal Pharmaceutical Sciences*, 14(3) : 222-230.
30. Zamblé, A., Francoise, M. N., Sevser, S., Thierry, H., Bart, S., Regis, B., Patrick, D., Claude, B. & Francois, B. (2007). Vasoactivity, antioxidant and aphrodisiac properties of *Caesalpinia benthiana* roots. *Journal of Ethnopharmacology* 116(1): 112-119.

Perception de l'évolution du climat et de la vulnérabilité aux épidémies de paludisme et de choléra liées au changement climatique dans les localités de Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména au Tchad

Semingar Ngaryamngaye

Texila American University, Georgetown, Guyana

Franklin Bouba Djourdebbé

Institut de Formation et de Recherche Démographiques (IFORD),

Université de Yaoundé II, Cameroun

Norbert Tanke Dongmo

Texila American University, Georgetown, Guyana

Cameroon Society of Epidemiology, Yaoundé, Cameroun

Lebede Ngartera

Independent Researcher, Pennsylvania, USA-Department of Mathematics,

Université de N'Djaména, Tchad

Mbaiguedem Miambaye

Centre d'Application et de Prévision Climatologique d'Afrique centrale

(CAPC-AC), Douala, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p120](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p120)

Submitted: 04 September 2025

Accepted: 05 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Ngaryamngaye, S., Djourdebbé, F.B., Dongmo, N.T., Ngartera, L. & Miambaye, M. (2025). *Perception de l'évolution du climat et de la vulnérabilité aux épidémies de paludisme et de choléra liées au changement climatique dans les localités de Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména au Tchad*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 120.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p120>

Résumé

L'étude examine la perception des populations de Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména (Tchad) concernant l'évolution du climat et la vulnérabilité aux épidémies de paludisme et de choléra liées aux changements climatiques. Elle est basée sur une enquête représentative menée en 2024 auprès de 1 536 individus. Une analyse secondaire des données combine des approches bivariées et multivariées qui ont permis l'identification des

déterminants démographiques, socioéconomiques, géographiques, climatiques et des perceptions locales.

Les analyses multivariées ont montré que la perception d'une augmentation du paludisme est plus marquée chez les hommes ($ORA \approx 1,4$), les jeunes adultes de 20-35 ans ($ORA \approx 1,6$) et les personnes ayant un niveau d'éducation secondaire ou supérieur ($ORA \approx 1,5$), tandis que celle du choléra est particulièrement élevée chez les ménages à revenus plus élevés ($ORA \approx 1,7$), les personnes mariées ($ORA \approx 1,3$) et les habitants des zones exposées aux inondations ($ORA \approx 1,8$). Les facteurs climatiques, tels que les sécheresses prolongées et les inondations fréquentes, restent également significativement associés à une perception accrue de ces maladies.

Ces résultats multivariés mettent en évidence que la perception des risques sanitaires liés au climat varie selon des caractéristiques sociodémographiques et environnementales spécifiques, soulignant la nécessité de cibler ces facteurs dans les interventions de santé publique et les stratégies de résilience climatique.

Mots-clés: Changement climatique, perception communautaire, paludisme, choléra, vulnérabilité sanitaire, Tchad

Perception of Climate Change Evolution and Vulnerability to Malaria and Cholera Epidemics Related to Climate Change in the Localities of Bol, Fianga, Moundou, and N'Djamena in Chad

Semingar Ngaryamngaye

Texila American University, Georgetown, Guyana

Franklin Bouba Djourdebbé

Institut de Formation et de Recherche Démographiques (IFORD),

Université de Yaoundé II, Cameroun

Norbert Tanke Dongmo

Texila American University, Georgetown, Guyana

Cameroon Society of Epidemiology, Yaoundé, Cameroun

Lebede Ngartera

Independent Researcher, Pennsylvania, USA-Department of Mathematics,

Université de N'Djamena, Tchad

Mbaiguedem Miambaye

Centre d'Application et de Prévision Climatologique d'Afrique centrale

(CAPC-AC), Douala, Cameroun

Abstract

The study examines the perceptions of the populations of Bol, Fianga, Moundou, and N'Djaména (Chad) concerning climate change and vulnerability to malaria and cholera epidemics linked to climate change. Based on a representative survey of 1,536 individuals conducted in 2024, the analysis combines bivariate and multivariate approaches to identify the demographic, socio-economic, geographical, and climatic determinants of local perceptions. The multivariate analyses show that the perception of an increase in malaria is more marked among men ($OR \approx 1.4$), young adults aged 20-35 ($OR \approx 1.6$) and people with secondary or higher education ($OR \approx 1.5$), while that of cholera is particularly high among higher-income households ($OR \approx 1.7$), married people ($OR \approx 1.3$) and residents of flood-prone areas ($OR \approx 1.8$). Climatic factors, such as prolonged drought and frequent flooding, also remained significantly associated with an increased perception of these diseases. These multivariate results highlight that the perception of climate-related health risks varies according to specific socio-demographic and environmental characteristics, underlining the need to target these factors in public health interventions and climate resilience strategies.

Keywords: Climate change, community perception, malaria, cholera, health vulnerability, Chad

Introduction

Au cours des dernières décennies, le changement climatique est devenu l'un des défis mondiaux les plus pressants, affectant à la fois les écosystèmes, la santé humaine et les dynamiques socio-économiques (GIEC, 2021). L'intensification des phénomènes climatiques extrêmes (inondations, sécheresses, vagues de chaleur) ne se limite pas à une altération des équilibres environnementaux, mais exacerbe également la vulnérabilité sanitaire des populations. Dans ce contexte, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2022) considère les maladies infectieuses à transmission vectorielle et hydrique, telles que le paludisme et le choléra, parmi les principales menaces liées aux changements environnementaux contemporains.

Si les pays développés disposent de systèmes de santé relativement robustes pour contenir ces menaces, les pays en développement (PED) demeurent particulièrement exposés en raison de leur forte dépendance aux ressources naturelles, de la faiblesse de leurs infrastructures sanitaires et de leur résilience limitée face aux chocs climatiques (Banque mondiale, 2020). L'Afrique subsaharienne, où se concentre la majorité des cas mondiaux de paludisme et une proportion élevée des épidémies de choléra, illustre cette vulnérabilité (OMS, 2022 ; UNICEF, 2021). Plusieurs études montrent que le réchauffement global y entraîne une expansion des zones à risque de paludisme, tout en favorisant les flambées de maladies hydriques dans les milieux urbains et périurbains confrontés au déficit d'assainissement (Tusting et al., 2019 ; Rebaudet et al., 2021).

Le Tchad, pays sahélien enclavé, se trouve au cœur de ces dynamiques. Caractérisé par une forte variabilité pluviométrique, une urbanisation rapide et des infrastructures sanitaires insuffisantes, il est confronté à une recrudescence des épidémies récurrentes de paludisme et de choléra (Ministère de la Santé Publique, 2022). Le paludisme demeure la première cause de morbidité et de mortalité chez les enfants de moins de cinq ans, tandis que le choléra continue de sévir périodiquement, particulièrement dans les localités riveraines et les grands centres urbains (OMS, 2022). Ces défis compromettent les engagements du Tchad en matière d'Objectifs de développement durable (ODD), notamment l'ODD 3 relatif à la santé et l'ODD 13 relatif à la lutte contre les changements climatiques (ONU, 2015).

Dans ce contexte, l'étude de la perception des populations sur l'évolution du climat et leur vulnérabilité aux épidémies de paludisme et de choléra revêt une importance particulière. Elle permet, d'une part, de documenter les connaissances et représentations sociales locales sur les liens entre climat et santé (un aspect souvent négligé par les études centrées sur les

modèles épidémiologiques globaux) et, d'autre part, d'apporter des éclairages utiles pour la formulation de politiques sanitaires et environnementales mieux adaptées aux réalités locales. L'analyse proposée se focalise sur quatre localités tchadiennes représentatives de contextes écologiques et socio-économiques distincts : Bol (zone lacustre), Fianga (zone soudanienne), Moundou (centre industriel) et N'Djamena (capitale du pays).

En se plaçant à l'intersection des préoccupations scientifiques et politiques actuelles, ce travail vise à combler une lacune de la littérature en analysant, dans le contexte tchadien, la manière dont les populations perçoivent et expérimentent les impacts sanitaires du changement climatique. Plus spécifiquement, l'étude apporte une contribution à ce champ de recherche à travers l'analyse des perceptions relatives à la récurrence du paludisme et du choléra dans quatre villes du Tchad (Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména). L'analyse tient compte de l'influence des caractéristiques démographiques, socioculturelles et socio-économiques des ménages ou des enquêtés, ainsi que de la région de résidence, tout en intégrant le rôle des variables climatiques (pluies, température, événements climatiques extrêmes, etc.). Une meilleure compréhension de ces perceptions locales constitue un enjeu stratégique pour orienter l'élaboration de réponses multisectorielles et renforcer la résilience communautaire face aux épidémies liées au climat.

Contexte, données et méthodes

Zone d'étude et échantillon

Les données de cette étude proviennent d'une enquête auprès des ménages au Tchad, réalisée en 2024 auprès de 1536 individus, sur la base d'un échantillon représentatif. Un sondage en grappes à deux degrés avait été mis en œuvre. L'analyse secondaire des données combine des approches bivariées et multivariées pour identifier les déterminants démographiques, socioéconomiques, géographiques et climatiques des perceptions locales.

L'étude a été réalisée dans quatre localités du Tchad, sélectionnées pour leur représentativité écologique, épidémiologique et socio-économique : Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména. Ces sites couvrent les principales zones bioclimatiques du pays, allant du domaine sahélien sec (Bol et N'Djaména) à la zone soudanienne humide (Fianga et Moundou), offrant ainsi un contraste pertinent pour analyser les perceptions locales du changement climatique et de la vulnérabilité aux épidémies de paludisme et de choléra.

Le choix des sites repose principalement sur la prévalence historique de ces deux maladies (DSIS MSP, 2022). Dans la zone soudanienne, Moundou est reconnue pour la forte endémicité du paludisme, tandis que Fianga connaît des flambées récurrentes de choléra (Yandaï et al., 2017). À l'inverse, dans la zone sahélienne, Bol est particulièrement exposée au choléra, tandis que N'Djaména, la capitale, connaît une recrudescence récente du paludisme. Le

contraste rural/urbain a également été pris en compte afin de saisir les différences de perceptions et de comportements adaptatifs.

Sur le plan géographique et climatique, les quatre localités étudiées offrent une diversité particulièrement propice à l'analyse comparative. Bol (13°27'31"N ; 14°42'53"E), située en bordure du lac Tchad, illustre le profil d'une petite ville sahélienne aride de près de 15 000 habitants, tandis que Fianga (9°54'55"N ; 15°8'15"E), implantée dans une zone soudanienne humide à proximité du lac Fianga, rassemble environ 17 000 habitants. Plus au sud, Moundou (8°34'00"N ; 16°04'59"E) se distingue comme deuxième pôle économique du pays, avec quelque 200 000 habitants établis dans des plaines humides fréquemment exposées aux inondations. Enfin, N'Djaména (12°07'N ; 15°03'E), capitale du pays, se caractérise par un climat aride, recevant moins de 500 mm de précipitations annuelles concentrées sur seulement trois mois (ANAM, 2010).

Au premier degré, le tirage a porté sur les grappes, correspondant aux Zones de Dénombrement (ZD). Selon le nombre de strates définissant la zone d'étude, les grappes ont été sélectionnées de manière systématique et indépendante par l'INSEED, à l'intérieur de chaque strate, à partir de la base de sondage constituée de l'ensemble des ZD. Pour chacune des quatre villes, 16 ZD ont ainsi été retenues, soit un total de 64.

Au second degré, la sélection s'est faite au niveau des ménages et s'est déroulée en deux étapes successives. Dans un premier temps, un dénombrement exhaustif de tous les ménages présents dans chaque ZD a été réalisé. Dans un second temps, 16 ménages éligibles ont été tirés de façon aléatoire et indépendante, sur la base de la liste actualisée, en ne retenant que ceux comptant au moins une femme âgée de 15 à 49 ans et un homme de 15 à 54 ans. Lors du dénombrement, l'ensemble des ménages (éligibles et non éligibles) avaient été recensés, et chaque ménage éligible s'était vu attribuer un identifiant unique. Cette liste actualisée avait servi à la fois au calcul des coefficients de pondération et à la sélection finale des ménages. Le dénombrement avait été réalisé à l'aide de fiches et d'un masque de saisie comportant les variables suivantes : adresse du ménage, statut de résidence, nom et sexe du chef de ménage, nombre de femmes et d'hommes. Le numéro attribué à chaque ménage avait été inscrit à la craie sur la porte afin de marquer leur passage, ce qui avait facilité la collecte et le contrôle de qualité assuré ultérieurement par les superviseurs.

La sélection finale des 16 ménages par ZD avait été effectuée à l'aide de l'application Random Number Generator, sous la responsabilité du chef d'équipe ou du superviseur. Des captures d'écran avaient été archivées pour d'éventuelles vérifications.

Conformément aux exigences de qualité, le seuil de significativité retenu était $\alpha = 5 \%$, correspondant à un quantile de la loi normale centrée

réduite $Z_{\alpha/2} = 1,96$, avec une précision des estimateurs fixée à $\varepsilon = 5 \%$. En raison du manque d'informations fiables sur la prévalence réelle des effets du changement climatique, une proportion de référence $p = q = 50 \%$ avait été retenue pour le calcul de la taille minimale de l'échantillon aléatoire :

$$n = Z_{\alpha/2}^2 p * q / \varepsilon^2$$

Ce calcul avait conduit à une taille minimale de 384 individus à enquêter dans chaque ville (dont 192 femmes et 192 hommes). Pour atteindre ce nombre, il suffisait d'interroger 256 ménages par ville. En effet, la taille moyenne des ménages étant supérieure ou égale à cinq dans toutes les localités étudiées, il était raisonnable d'espérer rencontrer en moyenne 1,5 femme de 15-49 ans et 1,5 homme de 15-54 ans par ménage. Ainsi, l'enquête devait permettre de collecter auprès d'environ 384 personnes par ville (autant de femmes que d'hommes).

Au final, pour les quatre villes étudiées (N'Djaména, Moundou, Bol et Fianga), l'enquête porta sur au moins 768 femmes et 768 hommes, soit un total d'environ 1 536 individus (**Tableau 1**). Ces effectifs se révélèrent suffisants pour estimer de manière robuste l'ensemble des paramètres retenus dans l'étude.

Tableau 1: Récapitulatif de l'échantillonnage par ville

N°	Echantillon					
	Villes	Régions	Nombre de zones de dénombrement	Ménages	Hommes	Femmes
1	N'Djaména	N'Djaména	16	256	192	192
2	Moundou	Logone Occidentale	16	256	192	192
3	Bol	Lac	16	256	192	192
4	Fianga	Mayo Kebbi Est	16	256	192	192
Total				1024	768	768

Méthodes

Deux approches d'analyse ont été mobilisées dans cette étude : une analyse bivariable descriptive et une analyse multivariable explicative.

Dans un premier temps, l'analyse bivariable a permis de décrire la perception de la récurrence du paludisme et du choléra au cours des dix dernières années en fonction des caractéristiques démographiques, socioculturelles, socio-économiques, climato-sensibles et de résidence. À l'aide de tableaux croisés et des tests du khi-deux, les associations entre variables ont été mises en évidence. Le seuil de significativité retenu pour l'interprétation des résultats était fixé à 10 % ($p < 0,10$), afin de tenir compte des incertitudes inhérentes aux données d'enquête.

Dans un second temps, l'analyse explicative a reposé sur des modèles logit. Cette méthode repose sur le principe de la régression logistique binaire, qui permet d'estimer la probabilité qu'un enquêté ait perçu le paludisme ou le choléra au cours des dix années précédant l'enquête, en fonction d'un ensemble de variables explicatives. Plus précisément, le logit modélise la transformation logarithmique du rapport des chances (log-odds) de la perception de la récurrence, ce qui autorise une interprétation en termes de probabilités conditionnelles. Les effets des facteurs démographiques, socioculturels, socio-économiques et de résidence ont été estimés, en contrôlant par les variables climato-sensibles.

Les régressions ont été réalisées sur un échantillon de 1 536 individus âgés de 15 ans et plus. Aucun cas de non-réponse n'a été observé pour les variables d'analyse, garantissant ainsi l'absence de valeurs manquantes. Afin de vérifier la robustesse et la validité des estimations, plusieurs tests ont été conduits. Le test de multicolinéarité, basé sur le calcul des facteurs d'inflation de la variance (Variance Inflation Factor, VIF), a montré des valeurs moyennes de 1,69 pour le modèle relatif au paludisme et de 1,70 pour celui du choléra, ce qui indique une faible corrélation entre les variables explicatives. Le test de spécification de Ramsey RESET a été mobilisé pour évaluer l'adéquation du modèle, tandis qu'une analyse de sensibilité aux valeurs extrêmes a permis de s'assurer que les résultats ne dépendaient pas d'observations atypiques. Compte tenu de la taille relativement restreinte de l'échantillon et de la variabilité intrinsèque des perceptions de la récurrence des maladies, même une multi-colinéarité faible peut toutefois limiter la significativité statistique des coefficients. Pour cette raison, des seuils de significativité de 1 %, 5 % et 10 % ont été retenus. En outre, la stabilité des résultats a été examinée en recourant à des estimations alternatives (régressions probit et logit ordonné), qui ont confirmé la consistance des coefficients. Enfin, l'ensemble des observations a été pondéré afin d'assurer une représentativité adéquate et permettre une inférence valide aux populations des régions étudiées.

Variables

La distribution des variables a été présentée dans la première colonne du Tableau 2. Deux variables dépendantes dichotomiques ont été analysées : la perception de la récurrence du paludisme (oui/non) et celle du choléra (oui/non). Pour expliquer ces perceptions, plusieurs variables explicatives d'intérêt et de contrôle ont été mobilisées. Elles relèvent des dimensions démographiques, socioculturelles, socioéconomiques et contextuelles.

Plusieurs variables démographiques (âge, sexe, état matrimonial), socioculturelles (niveau d'éducation, religion), socioéconomiques (niveau de vie du ménage, statut d'occupation, activité du chef de ménage) et de résidence

(région) susceptibles d'influencer la perception de la récurrence du paludisme et du choléra ont été testées. L'âge de l'enquête a été regroupé en trois modalités : jeunes (15-34 ans), les adultes (35-64 ans) et les personnes âgées (65 ans et plus). Le sexe est une variable dichotomique (masculin et féminin). L'état matrimonial a été regroupé en trois modalités, à savoir les célibataires, les mariés, les séparés/divorcés/veufs. Le niveau d'éducation est regroupé en trois modalités : sans niveau, primaire, secondaire et plus. La religion a été regroupé en trois modalités : chrétiens, musulmans et autres. Quant au niveau de vie du ménage, un indicateur de niveau de vie a été construit à partir de la possession des biens par le ménage, et du confort de l'habitat. Les modalités des variables utilisées dans la construction de l'indicateur de niveau de vie ont été pondérées selon une échelle croissante en fonction de leur valeur économique. Une analyse en composantes principales a été ensuite effectuée sur les variables pondérées. La première composante (qui explique la plus grande part de la variance) a enfin été retenue comme indicateur de niveau de vie. Elle est découpée en trois niveaux : faible, moyen et élevé. Le statut d'occupation est reparti en trois modalités : propriétaires avec titre foncier, propriétaires sans titre foncier et autres. L'activité du chef de ménage est une variable comprenant six modalités : Fonctionnaires, cultivateurs, pêcheurs, commerçants, entrepreneurs et secteur informel. Les quatre modalités de la région de résidence ont été : N'Djaména, Lac, Logone Occidental et Mayo Kebbi Est.

Les variables de contrôle comprennent un certain nombre de variables climatiques perçues. Ce sont la variabilité pluviométrique, la tendance des températures diurnes, la tendance des températures nocturnes, la chaleur des saisons pluvieuses, l'occurrence des inondations, l'intensité des vents et les sécheresses. Toutes ces variables sont dichotomiques (oui et non). Il a été également utilisé comme variables de contrôle la saisonnalité des épidémies (du paludisme ou du choléra) dont les modalités ont été : saison sèche et saison des pluies.

Résultats

Perception du réchauffement climatique

Au-delà des pluies, c'est la chaleur - de jour comme de nuit - qui s'impose dans les récits des enquêtes.

La Figure 1 met en lumière une perception différenciée : 77% des personnes ressentent une hausse des températures en journée, 66% pendant la nuit, tandis que la saison froide est perçue comme inchangée ou modérément adoucie. Cette asymétrie pourrait refléter une intensification du stress thermique dans les périodes déjà chaudes.

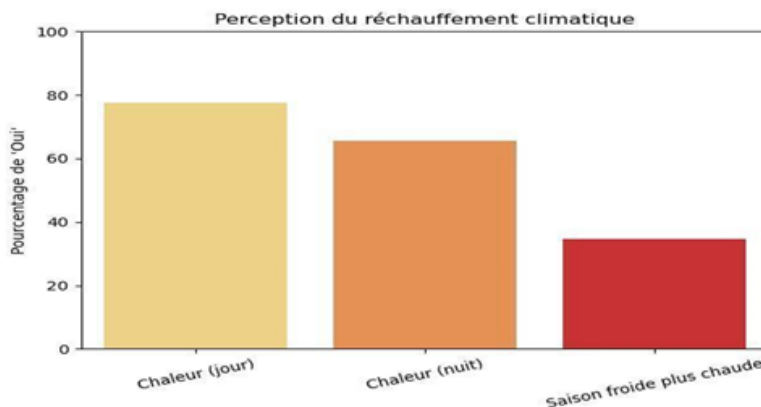


Figure 1 : Perception du réchauffement climatique
(températures de jour, nuit et saison froide)

Perception des événements climatiques extrêmes

Les extrêmes climatiques constituent souvent des déclencheurs de conscience environnementale. Selon 90% des personnes enquêtées, les inondations sont de plus en plus récurrentes et causes d'énormes dégâts, suivies des vents violents (88%). À l'inverse, les sécheresses sont moins redoutées (47%) (voir figure2).

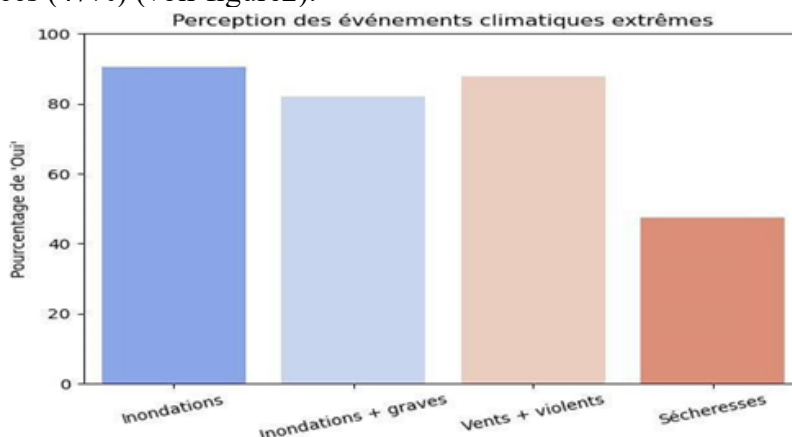


Figure 2 : Perception de l'intensification des aléas climatiques
(inondations, vents, sécheresses)

Perception du choléra selon la saison et le moment

La Figure 3 montre que la quasi-totalité des répondants associe l'apparition du choléra à la saison des pluies, avec un taux de 87%. Cette réponse majoritaire reflète une association intuitive entre conditions hydriques dégradées (inondations, latrines débordées) et prolifération du choléra.



Figure 3 : Saison d'apparition du choléra perçue par les enquêtés

Corrélations entre climat perçu et la saison du choléra

Table 1 : Répartition des saisons d'apparition du choléra selon les perceptions climatiques

Perception climatique	Saison de pluie (%)	Saison sèche (%)
<i>F1. Saisons</i>		
Pluvieuses	87.38	12.62
Sèches	86.42	13.58
<i>F2. Pluies plus variables ?</i>		
Oui	87.01	12.99
Non	90.16	9.84
<i>F7. Intensité des pluies</i>		
Plus faibles	91.87	8.13
Plus fortes	86.53	13.47
<i>F9. Fait-il plus chaud ?</i>		
Oui	86.10	13.90
Non	91.12	8.88
<i>F10. Nuits plus chaudes?</i>		
Oui	84.88	15.12
Non	91.74	8.26
<i>F12. Saison froide plus chaude ?</i>		
Oui	89.85	10.15
Non	85.81	14.19

Lien perçu entre inondations et maladies

La Figure 4 met en lumière les représentations croisées entre aléas climatiques et maladies à transmission hydrique ou vectorielle. Une forte majorité (94%) établit un lien entre inondations et paludisme, contre 66% pour le choléra. Cette asymétrie révèle une perception plus intuitive du rôle des eaux stagnantes dans la transmission vectorielle que dans la contamination bactérienne. Ces résultats renforcent la nécessité d'une communication ciblée sur les risques bactériens post-inondation.

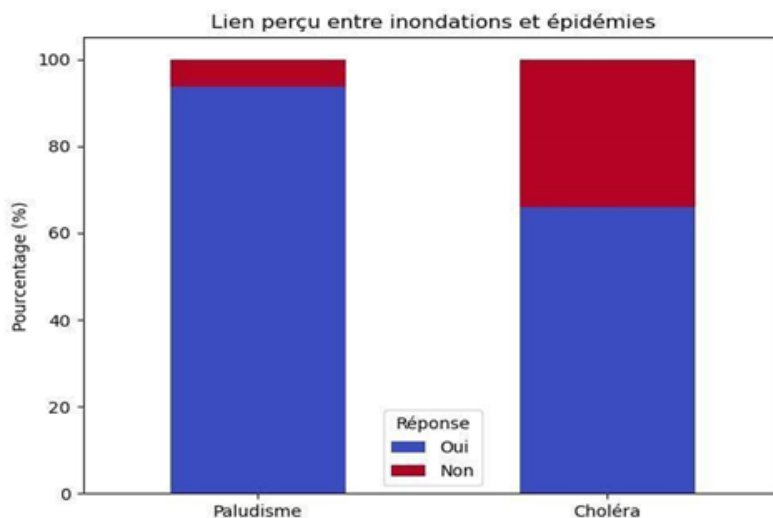


Figure 4 : Lien perçu entre inondations et épidémies (choléra et paludisme)

Recrudescence des inondations et des épidémies au cours des dernières années

Analyse bivariée

Les résultats de l'étude ont montré que la perception de la récurrence du paludisme était significativement associée à l'âge au seuil de 1%. En effet, la perception de la récurrence du paludisme décroît avec l'âge : 60,08 % des jeunes (15-34 ans) déclarent percevoir cette récurrence contre seulement 36,23 % chez les personnes âgées (65 ans et plus). Pour le choléra, les jeunes et adultes présentent une perception relativement faible (16,31 % et 18,47 %), tandis que la perception chute considérablement chez les 65 ans et plus.

La perception de la récurrence du paludisme a été significativement associée au sexe de l'enquêté au seuil de 1%. Les résultats ont indiqué que les hommes ont perçus davantage la récurrence du paludisme (67,71 %) que les femmes (46,22 %). En revanche, pour le choléra, la différence était moins marquée (18,23 % contre 14,19 %) mais reste significative au seuil de 5 %, indiquant que le genre influence la perception de ces maladies, surtout pour le paludisme.

Au niveau bivarié, la perception de la récurrence du paludisme est significativement associée à l'état matrimonial au seuil de 1%. En effet, les mariés ont une perception plus élevée du paludisme (60,20 %) par rapport aux célibataires (45,59 %). Les séparés/divorcés/veufs sont intermédiaires. Pour le choléra, les personnes mariées et séparées/divorcées/veuves ont perçus davantage la récurrence, ce qui peut refléter la responsabilité familiale et l'expérience vécue face aux épidémies.

Les résultats de l'étude montrent également que le niveau d'éducation est statistiquement associé à la perception de la récurrence du paludisme au

seuil de 1%. Alors que pour le choléra, le niveau d'éducation n'est pas significatif. En effet, un niveau d'éducation primaire ou secondaire augmente la perception du paludisme (59,18 % et 59,00 %) L'éducation semble donc renforcer la sensibilité aux maladies les plus fréquentes et visibles comme le paludisme.

La religion n'influence pas significativement la perception du paludisme, mais pour le choléra, les chrétiens présentent une perception légèrement plus élevée que les autres (21,07 %), tandis que les musulmans et autres catégories sont moins sensibles.

Le niveau de vie n'affecte pas significativement la perception du paludisme, mais pour le choléra, un niveau élevé augmente la perception (19,50 %), suggérant que les ménages aisés sont plus attentifs à cette maladie souvent liée aux conditions environnementales et d'hygiène.

Pour le paludisme, les propriétaires sans titre foncier ont perçu davantage la récurrence (69,12 %), alors que les autres ménages ont été moins sensibles. Pour le choléra, la différence n'est pas significative.

La perception du paludisme varie peu selon l'activité du chef de ménage, mais pour le choléra, les fonctionnaires et entrepreneurs présentent une perception plus élevée que les autres, probablement en lien avec l'accès à l'information.

La perception varie fortement selon la région au seuil de 1%. Pour le paludisme, elle est très élevée à Mayo Kebbi Est (73,70 %) et faible dans le Lac et Logone Occidental (46,61 % chacune). Pour le choléra, la perception est très élevée dans Logone Occidental (40,10 %) et faible dans le Lac et Mayo Kebbi Est, reflétant la distribution géographique des épidémies.

La perception du paludisme augmente lorsque les nuits sont plus chaudes (66,18 %) et lors de sécheresses fréquentes (64,37 %). Cette relation statistiquement significative au seuil de 1 %. L'augmentation de l'hivernage chaud réduit la perception du paludisme, tandis que la saison froide plus chaude a un effet modeste. Pour le choléra, la perception est fortement associée aux nuits plus chaudes (24,02 %), aux vents violents et aux sécheresses, ainsi qu'aux épisodes de saison des pluies.

Les pluies plus intenses et plus variables sont associées à une perception accrue du paludisme (58,92 % et 59,59 %) et à une perception contrastée du choléra selon les variables, soulignant l'importance des événements climatiques extrêmes dans la perception des maladies.

Analyse multivariée

Les effets nets confirment que l'âge ont diminué fortement la perception du paludisme et du choléra chez les plus âgés. En effet, les personnes âgées (65 ans et plus) ont 73% moins de chances de percevoir la récurrence du paludisme comparativement à leurs homologues jeunes (15-34

ans). Par contre, il n'existe pas des différences statistiquement significatives entre les adultes (35-64 ans) et les jeunes (15-34 ans) en termes de perception de la récurrence du paludisme. Par ailleurs, les personnes âgées (65 ans et plus) ont 91% moins de chances de percevoir la récurrence du choléra que les (15-34 ans). En revanche, il n'existe pas des différences entre les adultes (35-64 ans) et les jeunes (15-34 ans) en termes de perception de la récurrence du choléra.

Les résultats de l'étude montrent que les femmes ont une probabilité plus faible de percevoir le paludisme ($OR=0,53$), alors que pour le choléra, le sexe n'a pas d'effet significatif.

Concernant l'état matrimonial, les résultats indiquent que les mariés et séparés/divorcés/veufs présentent une perception accrue du choléra ($ORA=2,05$ et $ORA=4,59$), tandis que pour le paludisme, l'effet est modeste.

Les analyses multivariées ont montré que l'éducation primaire augmente significativement la perception du paludisme ($OR=1,64$), mais n'a pas d'effet sur le choléra. Par ailleurs, la religion n'influence pas le paludisme ; pour le choléra, un niveau de vie élevé augmente la perception ($OR=1,54$). Également, être propriétaire sans titre foncier réduit la perception du paludisme ($OR=0,56$), tandis que pour le choléra, aucun effet significatif n'est observé.

La région influence fortement la perception des deux maladies. À Mayo-Kebbi Est, la perception du paludisme est plus élevée ($OR=2,09$), tandis que N'Djaména et Logone Occidental sont moins sensibles ($OR=0,56$ et $0,54$). Pour le choléra, Logone Occidental présente un OR très élevé (7,69), soulignant la concentration spatiale des épidémies.

Pour le paludisme, l'hivernage plus chaud réduit la perception ($OR=0,52$), tandis que les nuits plus chaudes l'augmentent ($ORA=2,24$). Pour le choléra, l'hivernage chaud diminue la perception ($ORA=0,40$), les nuits chaudes augmentent la perception ($OR=2,08$), et la chaleur générale diminue fortement la perception ($ORA=0,17$).

Pour le paludisme, la fréquence et l'intensité des pluies ont un impact significatif sur la perception ($ORA=10,67$ pour la fréquence, $ORA=0,26$ pour l'intensité), tandis que pour le choléra, les pluies plus faibles et l'intensité accrue augmentent la perception ($ORA=0,13$ et $ORA=3,88$), indiquant des réponses différenciées aux phénomènes climatiques selon la maladie. Il est important de préciser que c'est un odds ratio ajusté ORA.

Le Tableau 2 présente les résultats des analyses bivariés et multivariées. Les résultats interprétés ici concernent essentiellement ceux en lien avec les variables démographiques, socioculturelles, socioéconomiques et de résidence.

Tableau 2: Perception de la récurrence du paludisme et du choléra les 10 dernières années selon quelques caractéristiques et effets des facteurs influençant la perception de la récurrence du paludisme et du choléra

Variables	Effectif des enquêtés	Perception de la récurrence du paludisme en %	Perception de la récurrence du choléra en %	Effets nets (Odds ratio Brut) des facteurs associés à la perception du paludisme	Effets nets ((Odds ratio Ajusté) des facteurs associés à la perception du choléra
Age de l'enquêté		***	***		
15-34 ans	521	60,08	16,31	R	R
35-64 ans	877	58,38	18,47	0,83	0,98
65 ans et plus	138	36,23	1,45	0,27***	0,09***
Sexe		***	**		
Masculin	768	67,71	18,23	R	R
Féminin	768	46,22	14,19	0,53***	0,89
Etat matrimonial		***	***		
Célibataires	204	45,59	11,76	R	R
Mariés	1128	60,20	15,60	1,34*	2,05**
Séparés, divorcés ou veufs	204	50,49	24,02	1,27	4,59***
Niveau d'éducation		***	***		
Sans niveau	327	49,24	14,07	R	R
Primaire	392	59,18	8,93	1,64***	0,95
Secondaire et plus	482	59,00	20,56	1,23	1,17
Religion		Ns	***		
Chrétiens	897	57,75	21,07	R	R
Musulmans	520	57,50	8,46	1,20	1,13
Autres	119	48,74	13,45	0,91	1,19
Niveau de vie du ménage		***	Ns		
Faible	499	54,71	11,82	R	R
Moyen	541	56,19	17,56	0,86	1,30
Elevé	496	60,08	19,5	0,94	1,54**
Statut d'occupation		***	Ns		
Propriétaire avec titre foncier	515	57,48	14,37	R	R
Propriétaire sans titre foncier	344	69,12	15,67	1,30	0,88
Autres	587	47,53	18,23	0,56***	0,82
Activité du chef de ménage		Ns	***		
Fonctionnaires	419	62,29	21,48	R	R
Cultivateurs	219	54,79	9,13	0,97	1,04
Pêcheurs	59	57,63	11,86	0,94	0,92
Commerçants	499	54,71	17,64	0,89	0,90
Entrepreneur	68	54,41	26,47	0,74	1,24
Secteur informel	272	55,15	9,56	0,91	0,64
Région de résidence		***	***		
N'Djaména	384	60,94	14,32	R	R
Lac	384	46,61	5,99	0,56***	0,51**
Mayo Kebbi Est	384	73,70	4,43	2,09***	0,46**
Logone Occidentale	384	46,61	40,10	0,54***	7,69***

Hivernage de plus en plus chaud Oui Non	810 725	*** 60,25 53,24	Ns 15,93 16,55	R 0,52***	R 0,40***
Saison froide de plus en plus chaudes Oui Non	582 954	* 56,53 57,23	*** 11,51 19,08	R 1,17	R 1,68***
Inondations de plus en plus fréquentes Oui Non	1361 175	** 58,12 48,00	*** 17,49 6,29	R 0,85	R 0,87
Vents de plus en plus violents Oui Non	1345 191	Ns 56,51 60,21	*** 17,47 7,33	R 1,14	R 0,55*
Sécheresse de plus en plus fréquente les 10 dernières années Oui Non	682 854	*** 64,37 51,05	*** 10,12 21,08	R 0,72***	R 1,23
Saisonnalité du paludisme Saison sèche Saison des pluies	249 1287	Ns 67,07 55,01	NA NA	R 0,62***	NA NA
Saisonnalité du choléra Saison sèche Saison des pluies		NA NA	*** 7,53 17,12	NA NA	R 1,69
Nuits de plus en plus chaudes Oui Non	1128 408	*** 53,63 66,18	*** 13,39 24,02	R 2,24***	R 2,08***
Chaleur de plus en plus élevée Oui Non	1161 375	Ns 57,36 55,73	*** 19,12 7,20	R 0,95	R 0,17***
Fréquence des pluies fortes En augmentation En diminution	1212 324	Ns 56,77 57,72	*** 19,06 5,56	R 10,67***	R 0,13***
Intensité des pluies De plus en plus forte De plus en plus faible	1283 253	*** 58,92 47,04	*** 18,08 6,72	R 0,26***	R 3,88***
Variabilité des pluies Oui Non	1304 232	*** 59,59 42,24	*** 18,10 5,60	R 0,10***	R 1,20
Ensemble	1536	1536	1536	1536	1536
Log de vraisemblance	-	-	-	-856,33176	-474,734
R² (Nagelkerke)	-	-	-	0,1838	0,3024
Statistique du test de Wald (probabilité)	-	-	-	385,65 (***)	411,54 (***)

Discussion et conclusion

Les résultats multivariés montrent que la perception de la récurrence du paludisme et du choléra au Tchad est influencée par une combinaison complexe de facteurs démographiques, socioéconomiques, géographiques et climatiques, illustrant la multi-dimensionnalité des perceptions locales des risques sanitaires liés au climat.

L'étude a mis en exergue le rôle déterminant de l'âge : les personnes âgées perçoivent moins la récurrence du paludisme et du choléra, ce qui peut s'expliquer par une moindre exposition aux activités extérieures et par une mémoire sélective des épidémies passées (Yanda et al., 2006). Cette tendance converge avec des observations en Afrique subsaharienne où la perception des risques environnementaux est plus marquée chez les jeunes adultes (Masese, 2023). Le sexe influence surtout la perception du paludisme, les hommes étant plus sensibles, probablement en raison de leur exposition professionnelle ou sociale accrue aux vecteurs de la maladie (Masese, 2023).

Par ailleurs, l'éducation apparaît comme un facteur clé pour le paludisme : les individus ayant un niveau primaire ou secondaire sont plus conscients de sa récurrence, ce qui traduit la capacité de l'éducation à renforcer la compréhension des signes et dynamiques épidémiologiques (Masese, 2023). Pour le choléra, le niveau de vie du ménage se révèle déterminant : les ménages plus aisés perçoivent une récurrence plus élevée, ce qui pourrait refléter un accès supérieur à l'information sanitaire et aux expériences de prévention (Yanda et al., 2006). Le statut d'occupation et l'activité du chef de ménage influencent également la perception : les propriétaires sans titre foncier et ceux exerçant dans le secteur informel perçoivent plus le choléra, probablement en lien avec des conditions de logement et d'hygiène plus vulnérables (Masese, 2023).

Les personnes interrogées ont perçu une recrudescence des inondations au cours des dernières années ce qui confirme la variabilité de plus en plus accrue des précipitations à partir de la décennie 2011 à 2020 sur la majeure partie du Tchad avec des épisodes des fortes précipitations au cours des dernières années (2015-2023) dans la majeure partie des provinces du Tchad entraînant des graves inondations ayant causé des dommages matériels et des pertes en vies humaines observées au cours des cinq (5) dernières (MEEP, 2019; OCHA, 2022).

Ces variabilités ont été considérées par certains auteurs comme un retour aux conditions normales des précipitations notamment Salack, Muller, and Gaye (2011) qui relèvent pour les régions soudaniennes et sahéliennes du Sahel une tendance à la hausse de la quantité de pluie totale par an.

En effet, la température étant un ressenti direct, les habitants peuvent facilement constater son augmentation à travers des nuits plus chaudes ce qui est conforme aux résultats d'étude de Semingar et al., 2024, qui révèlent une

tendance à la hausse de fréquence des jours chauds (TX90p) et des nuits chaudes (TN90p) durant la période 1996/1997 et 2007, ce qui corrobore les résultats de Mbaiguedem (2012) qui révèlent une persistance de nuits chaudes à partir de 2006 de plus de 20 jours, et aussi les résultats de Bedoum (2013) dont les indices indiquent une augmentation des nuits chaudes au Tchad et en Afrique centrale.

Les résultats de l'étude suggèrent que les mariés et les personnes séparées ou veuves perçoivent plus fortement la récurrence du choléra, ce qui pourrait être lié à la responsabilité familiale accrue et à l'expérience des crises sanitaires dans le cadre domestique. La religion n'a pas montré d'effet systématique sur la perception du paludisme mais exerce un impact faible sur celle du choléra, suggérant que les pratiques religieuses ou communautaires peuvent moduler indirectement la perception des risques sanitaires (Yanda et al., 2017).

La localisation géographique influence fortement la perception des maladies. Les habitants des zones lacustres et urbaines densément peuplées perçoivent le paludisme et le choléra différemment, reflétant l'importance des caractéristiques environnementales et hydrologiques dans la transmission de ces maladies (WHO, 2020). Cette observation concorde avec la littérature indiquant que les zones humides et à forte densité urbaine sont particulièrement vulnérables aux maladies hydriques et vectorielles (Hales et al., 2002 ; Patz et al., 2005).

La perception des modifications climatiques joue également un rôle majeur. L'augmentation de la chaleur nocturne et des hivers plus chauds est associée à une perception accrue de la récurrence du paludisme et du choléra, ce qui s'explique par l'effet des températures élevées sur la prolifération des moustiques et la survie des agents pathogènes (WHO, 2020). Les sécheresses fréquentes augmentent la perception du choléra, probablement en raison de la pression exercée sur les ressources en eau et les conditions d'hygiène, alors que les inondations et vents violents ont un effet différentiel selon la maladie, soulignant la complexité des mécanismes climato-sanitaires. La fréquence, l'intensité et la variabilité des pluies influencent aussi différemment les perceptions : une pluviométrie forte et variable renforce la perception du paludisme, tandis que des pluies plus faibles ou moins fréquentes sont associées à une perception plus élevée du choléra même si la quasi-totalité (87%) des répondants associe l'apparition du choléra une association intuitive entre conditions hydriques dégradées (inondations, latrines débordées) et prolifération du choléra.

Cette perception confirme les résultats de Weill FX, Domman D, Njamkepo E, et al, 2017 et Talavera A, Perez EM et al., 2022 qui révèle que la pauvreté, l'assainissement, le drainage, la qualité de l'eau, la mauvaise santé,

la malnutrition et le comportement humain telles que les pratiques alimentaires, qui pourraient être aggravé par la sécheresse.

Ces constats confirment l'importance de la variabilité climatique comme facteur de perception et de vulnérabilité aux maladies (Hales et al., 2002 ; Patz et al., 2005).

Les enquêtes identifient la saison sèche comme plus propice aux épidémies de choléra, tandis que le paludisme est perçu comme plus récurrent pendant la saison des pluies. Ces perceptions reflètent l'expérience empirique locale et sont cohérentes avec les tendances épidémiologiques observées dans d'autres contextes africains (WHO, 2020).

Cette étude a permis de mettre en évidence la manière dont les populations de Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména perçoivent la récurrence du paludisme et du choléra, en soulignant l'influence des facteurs démographiques, socioéconomiques, géographiques et climatiques. Les perceptions locales reflètent à la fois l'expérience vécue des épidémies et les connaissances des communautés sur les variations climatiques, notamment la chaleur nocturne, la variabilité des pluies et l'occurrence des sécheresses ou des inondations. Ces résultats confirment l'importance de prendre en compte les perceptions communautaires dans l'élaboration des politiques et interventions sanitaires (WHO, 2020 ; Yanda et al., 2017).

Bien que l'étude présente certaines limites, notamment le recours aux déclarations des enquêtes qui peut introduire des biais de mémoire, elle conserve toute sa pertinence en révélant la manière dont les populations perçoivent et interprètent la récurrence des épidémies. De même, le fait qu'elle soit centrée sur quatre localités pourrait restreindre la généralisation des résultats à l'ensemble du Tchad, mais ce choix confère également l'avantage d'ancrer l'analyse dans des contextes contrastés et significatifs, offrant ainsi une meilleure compréhension des dynamiques locales. Également, l'utilisation de variables climatiques perçues peut certes réduire la précision des associations établies, mais elle constitue aussi une force dans la mesure où elle met en avant l'expérience vécue et les savoirs endogènes des communautés, dimensions souvent négligées dans les analyses quantitatives classiques. Enfin, il convient de déplorer l'absence de données qualitatives complémentaires, qui auraient permis d'explorer plus finement les logiques sociales, culturelles et comportementales derrière les perceptions statistiques observées.

Sur le plan pratique et scientifique, ces résultats soulignent la nécessité de renforcer les stratégies d'adaptation aux risques sanitaires en s'appuyant sur une compréhension fine des perceptions locales. Il apparaît important de combiner les connaissances communautaires avec des données épidémiologiques et climatiques objectives afin de concevoir des interventions de prévention plus pertinentes. Les campagnes de sensibilisation et les

programmes de santé publique devraient être adaptées aux contextes spécifiques des communautés, en tenant compte des disparités socioéconomiques et régionales, afin de renforcer la résilience face aux épidémies liées au climat. De même, la planification multisectorielle, intégrant la santé, la gestion de l'eau et de l'assainissement, ainsi que la préparation aux aléas climatiques, apparaît essentielle pour limiter l'impact des épidémies et soutenir des réponses durables et localement appropriées.

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 relative aux participants humains : Cette étude a été approuvée par l'Institut de Formation et de Recherche Démographiques (IFORD), Université de Yaoundé II, Cameroun, et a été conduite dans le respect des principes énoncés dans la Déclaration d'Helsinki.

References:

1. Abiodun, B. J. (2016). Disturbances in precipitation modulating *Anopheles* mosquito populations in West Africa. *Theoretical and Applied Climatology*.
2. Adebayo, T., & Malick, D. (2025). *Climate change as a game changer: Rethinking Africa's food security*. *Nature*, 617(7960), 54–56.
3. Agresti, A., & Finlay, B. (2018). *Statistical methods for the social sciences* (5^e éd.). Pearson.
4. Androga, D. A. (2020). Impact of climate change on malaria in South Sudan. *South Sudan Medical Journal*.
5. Assessment of climate risks, vulnerability of urban health systems in Chad. (2024). *Climate*, 12(1), 5. <https://doi.org/10.3390/cli12010005>
6. Bambara, D., Bilgo, A., Hien, E., Masse, D., Thiombiano, A., & Hien, V. (2013). Perceptions paysannes des changements climatiques et leurs conséquences socio-environnementales à Tougou et Donsin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 74, 8-16.
7. Bank, W. (2020). *Managing social risks: Empower communities to protect themselves*. Washington, DC.
8. Bank, W. (2024). *Chad overview: Development news, research, data*. <https://www.worldbank.org/en/country/chad/overview>

9. Beltran-Peña, A., & D'Odorico, P. (2022). Future food security in Africa under climate change. *Earth's Future*, 10, e2022EF002651. <https://doi.org/10.1029/2022EF002651>
10. Bouba Djourdebbé, F. B. (2015). *Influence des facteurs environnementaux et démographiques dans la cooccurrence de la diarrhée et de la fièvre chez les enfants... Cahiers québécois de démographie*, 44(1), 35-64. <https://doi.org/10.7202/1032148ar>
11. Bouba Djourdebbé, F. B. (2019). *Santé environnementale dans les villes en Afrique subsaharienne: Problèmes conceptuels et méthodologiques. European Scientific Journal*, ESJ, 15(9), 192. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n9p192>
12. Cissé, G., et al. (2022). Health, wellbeing, and the changing structure of communities. In *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. IPCC.
13. Cover, T. M., & Thomas, J. A. (2006). *Elements of information theory* (2^e éd.). John Wiley & Sons.
14. DEEN, J., Mengel, M. A., & Clemens, J. D. (2020). Epidemiology of cholera. *Vaccine*, 38(Suppl 1), A31–A40. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2019.07.078>
15. Diouf, I., et al. (2020). Climate variability and malaria over West Africa. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*.
16. Dingao, D. D. J. (2021). Perception, représentation et attitude vis-à-vis du paludisme dans la ville d'Abéché au Tchad. Mémoire, ENS Abéché.
17. Ermert, V. (2013). Projected climate-driven changes in malaria transmission suitability in East African highlands. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*.
18. Fall, P., Diouf, I., et al. (2023). Impact of climate change on malaria in West Africa: VECTRI-CMIP6 modeling. *Microbiology Research*.
19. FAO. (2021). *The impact of disasters and crises on agriculture and food security: 2021*. Rome.
20. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2020). *The state of food security and nutrition in the world 2020*. FAO.
21. Gelman, A., et al. (2013). *Bayesian data analysis* (3^e éd.). CRC Press.
22. Githeko, A. K., Lindsay, S. W., et al. (2000). Climate change and vector-borne diseases: regional analysis. *Bulletin of the WHO*.
23. Githeko, A. K., et al. (2012). Malaria risk assessment under climate change in Kenyan highlands. *Acta Tropica*.
24. Gyamerah, S., & Ikpe, D. (2021). A review of effects of climate change on agriculture in Africa. *arXiv preprint*.

25. Jutla, A., et al. (2013). Environmental factors influencing epidemic cholera. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 89(3), 597–607.
26. Kaseya, J., Nguessan, A., & Ngalame, E. (2024). Climate change and malaria, dengue and cholera outbreaks in Africa. *BMJ Global Health*, 9(3), e015370. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2024-015370>
27. Lindsay, S. W., & Martens, W. J. (1998). Climate variability and malaria vector range in Africa. *Environmental Health Perspectives*.
28. Martens, P., et al. (1999). Climate change and future populations at risk of malaria. *Global Environmental Change*.
29. Mouchet, J., et al. (1996). Drought and malaria retreat in the Sahel. *Lancet*.
30. Nardo, M., et al. (2005). *Handbook on constructing composite indicators*. OECD. <https://doi.org/10.1787/533411815016>
31. Ngaryamngaye, S., Bouba Djourdebbe, F., & Miambaye, M. (2024). Changement climatique au Tchad: étude des villes de Bol, Fianga, Moundou et N'Djamena. *European Scientific Journal*, 20(18), 82. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p82>
32. Nguele, A., Mbassi, B., & Kaseya, J. (2024). Cholera in sub-Saharan Africa: unveiling neglected drivers. *BMJ Global Health*, 9(3), e015370.
33. Ortiz-Bobea, A., et al. (2020). The historical impact of anthropogenic climate change on global agricultural productivity. *Nature Climate Change*.
34. Patz, J. A., et al. (2002). Regional warming and resurgence of malaria. *Nature*.
35. Patz, J. A., et al. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*.
36. Programme, U.N.D. (2024). *Community-based climate risks management in Chad*. UNDP.
37. Programme, U.N.E. (2021). *Responding to climate change*. UNEP.
38. Programme, W.F. (2024). *Chad – country profile*. WFP.
39. Rigaud, K. K., et al. (2018). *Groundswell: Preparing for internal climate migration*. World Bank.
40. Salack, S., et al. (2012). Analyses multi-échelles des pauses pluviométriques au Niger et au Sénégal. *Sécheresse*, 23, 3–13.
41. Sudharsan, N., et al. (2025). Increasing risk of oppressive heatwaves over India in future warming. *arXiv preprint*.
42. Thomson, M. C., et al. (2017). Rainfall and temperature data use in national malaria programs in Africa. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*.

43. Traoré, N., et al. (2024). Climate variability, malaria incidence and forecasting in Burkina Faso. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
44. UNESCO. (2024). *Changements climatiques et savoirs des peuples autochtones au Sahel*. Paris: UNESCO.
45. Van de Vuurst, P., & Escobar, L. (2023). Climate change and infectious disease: a review of evidence and research trends. *Infectious Diseases of Poverty*. <https://doi.org/10.1186/s40249-023-01094-7>
46. Weill FX, Domman D, Njamkepo E, et al. Genomic history of the seventh pandemic of cholera in Africa. *Science*. 2017;358(6364):785–789.????
47. WHO. (2022). *Mental health as a priority for action on climate change*. Genève: WHO.
48. WHO. (2024). *Climate change and health – fact sheet*. Genève: WHO.
49. WHO. (2024). Malaria resurgence and spread in Mozambique influenced by climate. *Financial Times*.
50. WHO. (2025). *Multi-country cholera outbreak – external situation report #25*. Genève: WHO.
51. Wilcox, R. R. (2017). *Introduction to robust estimation and hypothesis testing* (4^e éd.). Academic Press.

Aspects cliniques et thérapeutiques du strabisme divergent intermittent de l'enfant à Abidjan

*Konan A.J.
Ouattara O.A.S.
Sirima D.M.
Appia G.B.
Kassa M.*

Service d'Ophtalmologie du CHU de Treichville, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p143](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p143)

Submitted: 14 July 2025

Accepted: 11 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Konan, A.J., Ouattara, O.A.S., Sirima, D.M., Appia, G.B. & Kassa, M. (2025). *Aspects cliniques et thérapeutiques du strabisme divergent intermittent de l'enfant à Abidjan*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 143.
<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p143>

Résumé

Introduction : Le strabisme divergent intermittent (SDI) est une entité clinique fréquente en ophtalmologie pédiatrique, associée à des altérations fonctionnelles et esthétiques significatives. Cette étude vise à décrire les caractéristiques cliniques et thérapeutiques du SDI chez l'enfant. **Patients et Méthodes :** Une analyse rétrospective a été menée sur une population pédiatrique d'Afrique subsaharienne dont la taille de l'échantillon était de 132 patients vus en consultation qui présentaient un SDI afin d'évaluer les données sociodémographiques, les caractéristiques du strabisme, les amétropies associées, la stratégie de prise en charge. **Résultats :** La prévalence hospitalière du strabisme de l'enfant était de 9,75% dont 57,74% de SDI. La moyenne d'âge était de $3,47 \pm 2,48$ ans dont 52,8% âgé de 2 à 6 ans. Ce strabisme était précoce dans 35,8% et tardif dans 34,1%. La déviation strabique était unilatérale dans 43,1% associé à une amétropie dans 36,6% et une anisométrie dans 22,8%. On notait un astigmatisme myopique dans 42,3% majoritairement de degré faible à modéré. L'anisométrie astigmatisme représentait 50%. L'amblyopie qui s'y associait dans 14,6% était d'origine fonctionnelle chez 88,9 % des patients. Elle était profonde dans 33,3% et modérée dans 50% des cas. La correction optique totale a été

prescrite chez tous les enfants. **Conclusion :** La relative fréquence élevée du SDI de l'enfant dans notre série et le diagnostic tardif observé soulignent la nécessité d'un dépistage précoce. L'association fréquente du SDI et des vices réfractifs dans notre contexte africain justifie une correction optique totale systématique. La variabilité des approches thérapeutiques reflète l'absence de consensus sur les critères de prise en charge.

Mots-clés: Strabisme divergent intermittent, ophtalmologie pédiatrique, amétropie, traitement, Abidjan

Clinical and Therapeutic Aspects of Intermittent Divergent Strabismus in Children in Abidjan

*Konan A.J.
Ouattara O.A.S.
Sirima D.M.
Appia G.B.
Kassa M.*

Service d'Ophtalmologie du CHU de Treichville, Côte d'Ivoire

Abstract

Introduction: Intermittent divergent strabismus (IDS) is a common clinical condition in paediatric ophthalmology, associated with meaningful functional and aesthetic alterations. This study aims to describe the clinical and therapeutic characteristics of IDS in children. **Patients and Methods:** A retrospective analysis was conducted on a paediatric population in sub-Saharan Africa with a sample size of 132 patients who presented with IDS to evaluate sociodemographic data, strabismus characteristics, associated ametropia, and management strategy. **Results:** The hospital prevalence of strabismus in children was 9.75%, of which 57.74% were IDS. The average age was 3.47 ± 2.48 years, with 52.8% aged between two and six years. This strabismus had an early onset in 35.8% and a late onset in 34.1%. IDS was unilateral in 43.1% of cases, associated with ametropia in 36.6% and anisometropia in 22.8%. Myopic astigmatism was noted in 42.3% of cases, mostly mild to moderate. Anisometropia astigmatism accounted for 50%. Amblyopia, which was associated with it in 14.6% of cases, was functional in 88.9% of patients. It was profound in 33.3% and moderate in 50% of cases. Total optical correction was prescribed for all children. **Conclusion:** The late diagnosis observed highlights the need for early screening. The frequent association of IDS and refractive errors in our African context justifies

systematic total optical correction. The variability of therapeutic approaches reflects the lack of consensus on management criteria.

Keywords: Intermittent divergent strabismus, paediatric ophthalmology, ametropia, treatment, Abidjan

Introduction

Le strabisme divergent intermittent (SDI) anciennement appelé exophorie-tropie est un trouble de l'alignement des yeux, caractérisé par une perte intermittente du parallélisme oculaire (Audren, 2019). Il affecte une proportion significative d'enfants et peut entraîner une amblyopie, une altération de la vision binoculaire, des conséquences psychosociales et esthétiques. Les données épidémiologiques sur ce strabisme sont limitées néanmoins sa prévalence mondiale varie entre 1 et 4 % (Chen- Pei et al., 2016). En Afrique subsaharienne, les données sur la prévalence et la prise en charge du SDI sont rares, justifiant cette étude réalisée à Abidjan dont l'objectif était de décrire les caractéristiques cliniques et thérapeutiques du SDI de l'enfant ivoirien.

Patients et méthodes

Une étude rétrospective monocentrique a été réalisée dans un centre ophtalmologique spécialisé en pathologie infantile à Abidjan. Elle a porté sur des dossiers d'enfants âgé de 0 à 15 ans ayant un SDI sur une durée de 2 ans, de janvier 2021 à décembre 2022, exceptés ceux dont les parents ont manifesté la volonté de ne pas participer à l'étude, de même que tous les dossiers inexploitable. Un examen ophtalmologique complet a été réalisé chez tous les patients et comprenait : un bilan sensoriel avec étude de la vision binoculaire, la mesure de l'acuité visuelle de loin utilisant une échelle adaptée selon le niveau d'éveil de l'enfant. Pour les enfants d'âge préverbal ou non coopératifs, la méthode comportementale a été utilisée : la fixation, la poursuite oculaire, le clignement à la menace. Pour les enfants d'âge verbal, les échelles de Pigassou ou E de Snellen ou de Monoyer ont été utilisées. Pour la vision stéréoscopique, les tests de Lang et le test de TNO (test of Nonverbal Intelligence) ont été utilisés. Le bilan moteur a permis de déterminer le type de déviation strabique (phorie ou tropie) tout en précisant si possible l'angle de déviation et l'œil fixateur. Le bilan anatomique a été réalisé à la lampe à fente, à l'ophtalmoscope ou au casque de Schepens après une dilatation maximale aux collyres mydriatiques en fonction de la compliance de l'enfant. Dans certains cas, nous avons eu recours à un examen sous anesthésie générale. Le bilan réfractif sous cycloplégique était systématique. Le choix du cycloplégique était fonction de l'âge ; avant 1 an : l'usage exclusif de l'atropine et après 1 an : selon que l'enfant soit coopératif nous avons eu à

utiliser le cyclopentolate ou l'atropine aux doses de 0,3 % pour les moins de 3 ans, le dosage 0,5 % entre 3 et 5 ans et celui de 1 % à partir de 5 ans. Pour l'analyse de la sphère qui correspondait à la puissance du verre nécessaire pour corriger l'amétropie, nous avons utilisé l'équivalent sphérique (ES) en considérant un seul œil (œil droit de préférence) car dans l'analyse de la vision, l'œil droit est dominant chez la plupart des individus. Pour l'analyse du cylindre, nous avons utilisé le cylindre de base. L'anisométrie a été considérée comme significative pour une différence de 1,00 dioptrie entre les deux yeux. Les paramètres recueillis incluaient les données sociodémographiques (âge, sexe), les antécédents familiaux de strabisme, les données cliniques : les vices de réfraction associés, les caractéristiques du strabisme (moment de survenue, âge au diagnostic, latéralité), la présence d'amblyopie, son type et sa profondeur et la stratégie thérapeutique adoptée. Les informations ont été recueillies de manière confidentielle à l'aide d'une fiche d'enquête anonyme commentée aux parents en accord avec le responsable de l'établissement sanitaire. Ces présentes considérations éthiques et déontologiques sont en conformité avec les principes de la déclaration d'Helsinki. Les données recueillies ont été analysées avec le logiciel Excel et Epi Info version 7.2.

Résultats

Type de strabisme

L'étude a recensé 416 cas de strabisme infantile représentant une prévalence hospitalière de 9,75%. On notait 213 cas de strabisme divergent dont 57,74 % soit 123 cas de strabisme divergent intermittent (SDI) (figure 1).

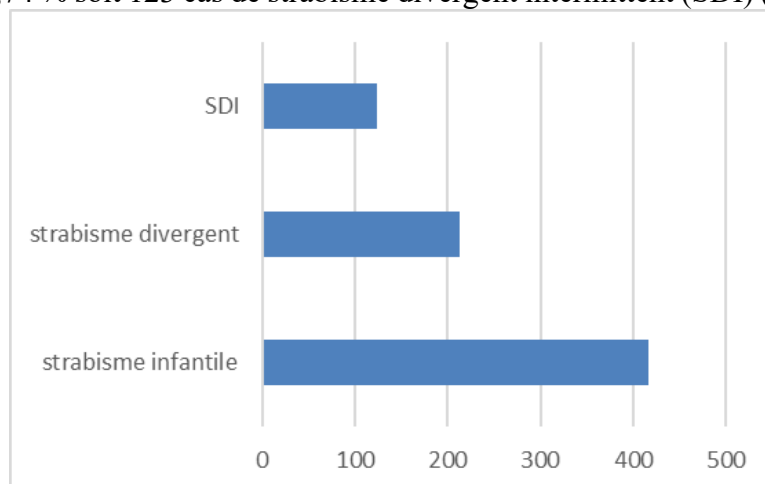


Figure 1 : Répartition des patients selon le type de strabisme

Tranche d'âge

Tableau I : Répartition des patients selon la tranche d'âge

Age au diagnostic	Effectif	Pourcentage
≤ 2 ans	41	33,3
]2 - 6[ans	65	52,8
≥ 6ans	17	13,8
Total	123	100,0

Nous avons colligé autant de fille que de garçon avec un sex-ratio à 1,01. Avec une moyenne d'âge de $3,47 \pm 2,48$ ans et des extrêmes 9 mois et 13 ans, la majorité des patients avait un âge compris entre 2 et 6 ans (52,8%) (Tableau I).

Moment d'installation du strabisme

Tableau II : Répartition des patients selon le moment d'installation du strabisme

Type de strabisme	Effectif	Pourcentage
Précoce (0-1an)	44	35,8
Tardif (après 1 an)	42	34,1
Non précisé	37	30,1
Total	123	100,0

L'antécédent familial de strabisme a été objectivé dans 11,4 %. Ce strabisme était précoce survenant avant 1an dans 35,8% et tardif dans 34,1% (Tableau II). Le strabisme était unilatéral dans 43,1%.

Vices de réfraction associées au strabisme

Il existait un trouble réfractif notamment une amétropie dans 36,6% et une anisométrie dans 22,8 % des cas. L'astigmatisme myopique et l'astigmatisme simple étaient les amétropies les plus fréquentes dans respectivement 42,3% et 37,8% des cas (Tableau III). Selon le degré dioptrique, la myopie faible ou modérée représentait une proportion identique de 41,7% des myopes. On notait une hypermétropie forte chez 75% des hypermétropes et dans 55% des cas, il s'agissait d'astigmatisme faible. Par ailleurs l'anisométrie astigmatique était la forme la plus fréquente (50,0%), suivie de l'anisométrie myopique (28,6%) (Tableau IV).

Tableau III : Répartition des patients selon l'amétropie

Amétropie	Effectif	Pourcentage
Astigmatisme	17	37,8
Hypermétropie	2	4,4
Hypermétropie + astigmatisme	2	4,4
Myopie	5	11,1
Myopie + astigmatisme	19	42,3
Total	45	100,0

Tableau IV : Répartition des patients selon l'anisométrie

Anisométrie	Effectif	Pourcentage
Astigmatisme	14	50,0
Hypermétropie + astigmatisme	1	3,6
Myopie	8	28,6
Myopie + astigmatisme	5	17,8
Total	28	100,0

Amblyopie associée au strabisme

L'amblyopie qui s'y associait dans 14,6% était d'origine fonctionnelle chez la majorité des patients (88,9%). Elle était profonde dans 33,3% et modérée dans 50% des cas (Figure 2).

La correction optique totale a été prescrite dans 100% des cas.

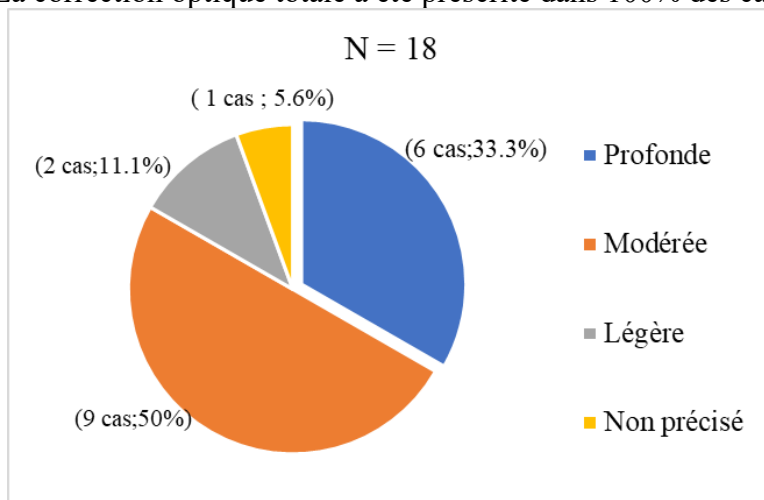


Figure 2 : Répartition des patients selon la profondeur de l'amblyopie

Discussion

Selon la littérature, le strabisme divergent intermittent (SDI) est la forme la plus fréquente de strabismes divergents. (Audren,2019). Malgré ce constat, rares et désuètes sont les études locales portant sur cette thématique. Tout en visant à actualiser nos données, l'objectif de ce travail était de préciser les aspects cliniques et thérapeutiques du SDI à Abidjan. La prévalence hospitalière était de 9,75% et le SDI représentait 57,74 % de l'ensemble des strabismes divergents de l'enfant. Une étude américaine réalisée dans le Rochester Epidemiology Project a noté une prévalence de 1 %. (Audren, 2020). Ming-Leung. (2021), quant à lui évoquait une prévalence de 3% sur un échantillon d'adolescents chinois. Cette différence de fréquence peut être attribuée au biais de recrutement et à la différence méthodologique des études qui ne tenaient pas compte d'une même catégorie d'âge des patients. En effet, notre recrutement a eu lieu dans un service spécialisé pour la prise en charge des pathologies oculaires de l'enfant et du strabisme dans un contexte national

marqué par une insuffisance de strabologues et d'ophtalmo pédiatres, d'où la prévalence plus élevée dans notre série. Aussi les enfants vus étaient majoritairement orientés vers notre pôle de consultation qui constitue une référence afin de prendre en charge le trouble d'alignement oculaire. Avec une quasi égalité (sex-ratio= 1,01) entre les sous populations masculine et féminine, cette étude n'a pas établi de lien corrélation entre le strabisme et le sexe. Par contre, des résultats discordants ont été notés dans la littérature. Une prédominance féminine a été relatée par certains auteurs (Kevin, 2006) et masculine pour d'autres (Son et al., 2022). L'échantillonnage et le type de populations sélectionnées pourraient être des sources de biais à l'origine de ces variations épidémiologiques.

Dans 11,4% des cas, la notion de strabisme familial a été objectivée. Ces données ne corroboraient pas avec les travaux de certains auteurs. En effet, l'étude de Kevin a montré un antécédent familial de l'ordre de 33,2% (Kevin, 2006). Pour Mohny la fréquence d'exophorie dans la parenté était de 23% (Mohny et al., 2003). Le strabisme familial peu élucidé dans notre série s'expliquerait par le caractère rétrospectif de celle-ci où les données sur l'hérédité n'ont toujours pas été correctement renseignées. Toutefois, il a été prouvé que des antécédents familiaux (parents du 1^{er}, du 2^e degré) constituaient des facteurs de risque de strabisme infantile (Leila, 2024). L'étude des cas familiaux serait importante à mener car permettrait à des groupes à haut risque d'être dépistés, luttant ainsi efficacement contre l'amblyopie par la détection et un traitement précoce. Selon l'âge de survenue, le strabisme était précoce dans 51,2%. Cependant ce paramètre n'a pu être précisé chez tous nos patients. Il faut admettre qu'au vu de son caractère inconstant et peu amblyogène, les parents n'étaient toujours pas attentifs à l'expression clinique des premiers signes du SDI. L'âge d'apparition du strabisme donne une indication sur le niveau de développement et de maturation du système visuel binoculaire. Dans les strabismes précoces, la fusion est remplacée par un phénomène de neutralisation, pouvant aboutir à un œil amblyope, et à l'absence définitive de vision stéréoscopique, compromettant ainsi le devenir visuel de ces enfants (Audren, 2020). Le risque d'amblyopie est plus important en l'absence de prise en charge alors que la récupération visuelle connaît un succès si celle-ci est précoce. Le SDI survient à des âges variables, difficile à apprécier, mais très souvent après 2 ans (Audren, 2019). Plus de la moitié de nos patients avaient été diagnostiqués entre 2 et 6 ans (52,8%) avec un âge moyen au moment du diagnostic de 3,47 ans $\pm$ 2,48 ans. A cet âge, la récupération d'une amblyopie coexistante est encore possible. A contrario 13,8% des patients avaient été vus au-delà de 6 ans. Ceci pourrait être un élément péjoratif en faveur du caractère irréversible de l'amblyopie. Le strabisme comporte un risque de perturbations fonctionnelles (amblyopie, perte de la vision stéréoscopique), sociales (privation

professionnelle par déficit des capacités visuelles) et psycho-esthétiques (mauvaise perception de soi, difficulté d'intégration). Tous ces éléments ont un coût certain pour les patients et la société, rendant nécessaire la prise en charge optimale de l'amblyopie et du strabisme. Aussi le strabisme unilatéral dans la majorité des cas (43,1%) favoriserait l'amblyopie. L'intermittence du strabisme autorise des périodes de vision binoculaire. La fréquence de la déviation strabique et l'œil préférentiel sont alors à étudier afin d'évaluer le risque éventuel d'apparition d'une amblyopie. Les vices de réfraction ont été notifiés dans 36,6 % des cas. Ces chiffres montrent l'importance du dépistage des amétropies chez l'enfant strabique. Les amétropies les plus significatives étaient la myopie associée à l'astigmatisme (42,3%) puis l'astigmatisme simple (37,8%). Une étude réalisée par Nicula et al. (1999) en Roumanie avait trouvé une prédominance de l'hypermétropie associée à l'astigmatisme dans 69,7% des cas. Cette différence pourrait s'expliquer par le choix de notre méthode d'étude qui tient compte de la notion de réfraction physiologique chez les enfants de moins de 6 ans, réduisant ainsi la majorité des cas d'hypermétropie constatée dans cette tranche d'âge. Concernant la classification dioptrique des amétropies, la majorité des enfants avait une myopie faible à modérée (83,4%). En cas d'hypermétropie, elle était forte dans 75% des cas et l'astigmatisme faible était le plus représenté dans 55% suivi par l'astigmatisme modéré dans 42% des cas. La prévalence de l'anisométrie était de 22,8%. Cette prévalence est élevée par rapport à la plupart des études réalisées à travers le monde où la prévalence de l'anisométrie varie entre 4 à 7,5% selon le type de population et les critères diagnostiques. De Vries en Grande Bretagne évoquait une prévalence de 4,7% (De Vries, 1985). Borchert dans une étude comparative sur 2 populations infantiles a mis en évidence une prévalence de l'anisométrie d'un degré dioptrique de 4,3% chez les hispaniques versus 4,2% chez les américains noirs (Borchert, 2010). Cette prévalence élevée dans notre étude pourrait s'expliquer par l'absence de dépistage scolaire systématique à différent stade du développement visuel de l'enfant. Ainsi les signes d'appel de déficience visuelle de l'œil amblyope sont en règle général tardivement perçus par l'entourage avec pour corollaire l'augmentation de la proportion d'amétropies profondes rencontrées plus tard de nos consultations. L'anisométrie astigmatique était la forme la plus fréquente de cette série (50,0%), suivie de l'anisométrie sphérique myopique (28,6%). Ces chiffres différaient de ceux de Borchert dominés par une anisométrie hypermétropique dans 70% (Borchert, 2010). Au contraire, Levi a objectivé une légère prédominance d'anisométrie myopique avec 55% des cas de sa série (Levi, 2011).

Le SDI comme tout strabisme est une pathologie amblyogène. En effet, il a été prouvé que le strabisme constitue la cause la plus fréquente d'amblyopie (Birch et al., 2010). L'amblyopie retrouvée dans 14,6% des

patients était due au retard du diagnostic et de la prise en charge. Cette prévalence était élevée comparativement aux travaux de Kevin et Noha qui ont montré respectivement une prévalence de 2,2% et 6,6% (Kevin, 2006 ; Noha, 2009). Par contre une prévalence plus importante de 26% a été relatée par Lajmi (Lajmi et al., 2021). L'amblyopie était fonctionnelle dans 88,9% des cas chez des enfants majoritairement en dessous de 6 ans. Ainsi la récupération pourrait être possible si ceux-ci bénéficiaient d'une rééducation (pénalisation, correction optique) précoce. L'amblyopie était modérée dans la moitié des cas (50%) et profonde dans 33,3%.

Concernant les modalités thérapeutiques, tous nos patients ont bénéficié d'une correction optique totale (COT) effectivement portée dans 96,7% ; ce qui est à encourager. Pour Nicola en Roumanie, la COT a été prescrite chez 51,5% des patients (Nicula et al., 1999). Des essais prospectifs randomisés sur le SDI sont en cours pour mieux comprendre l'évolution naturelle de cette pathologie afin de déterminer l'approche thérapeutique la plus appropriée (Audren, 2020; Bergholz, 2015). La variabilité thérapeutique est le reflet de l'absence de consensus sur les critères de prise en charge optimale. Le caractère variable de ce type de strabisme, les difficultés de classification du SDI, les doutes quant à son évolution naturelle et l'introduction récente d'outil de quantification du contrôle rendent les études sur les traitements du SDI difficiles à être comparées entre elles (Audren, 2020). La plupart des auteurs recommandent un traitement en cas de SDI mal contrôlé, même si la qualité du contrôle n'est généralement pas quantifiée. Néanmoins la prise en charge médicale est une urgence fonctionnelle face au risque d'apparition d'une amblyopie. Ainsi tout patient strabique doit porter la correction optique totale obtenue après mesure de la réfraction objective sous cycloplégique. Le traitement chirurgical n'est indiqué qu'en cas de persistance du strabisme malgré le port de la correction. La limite de l'étude due à son caractère rétrospectif, nous inspire à mener des études ultérieures de cohorte multicentrique afin d'approfondir les particularités du strabisme de l'enfant africain.

Conclusion

Le strabisme divergent intermittent est fréquent chez l'enfant africain sub-saharien. La forme précoce relativement importante reste surtout associée à des anomalies réfractives. Il est donc nécessaire d'en assurer une prise en charge efficiente par la correction optique totale afin de lutter contre l'amblyopie et favoriser une récupération durable du strabisme. L'amélioration des stratégies thérapeutiques nécessite une approche multidisciplinaire impliquant les ophtalmologistes, les orthoptistes voire les pédiatres. Aussi, une sensibilisation accrue des parents et des professionnels de santé sur l'importance du diagnostic précoce et du suivi est essentielle.

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. Audren F. (2019). Les strabismes divergents intermittents. SFO ; 42(1) :1007-1019.
2. Audren F. (2020). Strabisme divergent intermittent. In : EMC Ophtalmologie Motilité oculaire, strabisme et amblyopie. 4e éd. Paris : Elsevier ; p. 1-11.
3. Bergholz R, Salchow DJ. (2015). Intermittierende Exotropie (Intermittent Exotropia). Klin Monbl Augenheilkd; 232 (10):1165-73.
4. Birch EE, Holmes JM. (2010). The clinical profile of amblyopia in children younger than 3 years of age. JAAPOS; 14 (6): 494-7.
5. Borchert M. (2010). Anisometropia in Hispanic and African American Infants and Young Children. American Academy of Ophthalmology; 117 (1): 148-53.
6. Chen-wei P, Hui Z, Jia-Jia Y, Hui D, Jing B, Ji Chen, Rong-Bin Y, Hu L. (2016). Epidemiology of Intermittent Exotropia in Preschool Children in China. Optom Vis Sci. Jan; 93(1):57-62.
7. De Vries J. (1985). Anisometropia in children: analysis of a hospital population. British Journal of Ophthalmology, 69: 504-07.
8. Kevin J. (2006). The Course of Intermittent Exotropia in a Population-Based Cohort, American Academy of Ophthalmology; 113: 1154–1158.
9. Lajmi H, Ben Yakhlef A, El Fekih L, Lahdhiri MH, Hmaied W. (2021). Outcomes of intermittent exotropia surgery. J Fr Ophtalmol ; 44 (7) : 1001-1007.
10. Leila M. (2024). Strabisme [consulté le 26/02/2025]. Disponible sur : le manuel MSD : strabisme (www.msmanuals.com).
11. Levi D M. (2011). Visual deficits in anisometropia. Vision Research; 51 (1): 48–57.
12. Ming-Leung MA. (2021). Thérapie visuelle de l'exotropie intermittente : une série de cas. Journal of Optometry; 14(3): 247-253.
13. Mohney BG, Huffaker RK. (2003). Common forms of childhood exotropia. Ophthalmology; 110: 2093-2096.

14. Nicula C, Nicula D, Vlăduțiu C. (1999). Considerații terapeutice în strabisme le divergente intermitente [The therapeutic aspects in intermittent divergent strabismus]. *Oftalmologia*; 49 (4): 73-7.
15. Noha S. (2009). Postoperative outcomes in children with intermittent exotropia from a population-based cohort. *J AAPOS*; 13 (1): 13: 4-7.
16. Son S, Kim WJ. (2022). The association between level of control and exodeviation after the monocular occlusion test in pediatric patients with intermittent exotropia. *Korean J Ophthalmol*; 36 (4): 350-355.

Estimation de la densité des ligneux avec des images drones dans les écosystèmes Sahéliens du Sénégal

Ramata Talla

Diara Sylla

Ndiabou Faye

Moustapha Bassimbé Sagna

Département Biologie végétale

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar-fann, Senegal

Observatoire Homme-Milieux international de Tessékéré, CNRS

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Senegal

Aly Diallo

Observatoire Homme-Milieux international de Tessékéré, CNRS

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Senegal

Département d'agroforesterie

Université Assane SECK de Ziguinchor, Diabir-Ziguinchor, Senegal

Oumar Sarr

Département Biologie végétale

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar-fann, Senegal

Aliou Guisse

Département Biologie végétale

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar-fann, Senegal

Observatoire Homme-Milieux international de Tessékéré, CNRS

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Senegal

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p154](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p154)

Submitted: 05 June 2025

Accepted: 03 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Talla, R., Sylla, D., Faye, N., Sagna, M.B., Diallo, A., Sarr, O. & Guisse, A. (2025). *Estimation de la densité des ligneux avec des images drones dans les écosystèmes Sahéliens du Sénégal*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 154.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p154>

Résumé

Les avancées récentes des drones et du traitement des données permettent aujourd'hui de produire des images hautes résolution et des modèles 3D utiles pour évaluer les attributs des arbres. Cette étude a été menée

à Widou thiengoly dans la localité du Ferlo, Nord du Sénégal, avec comme objectif général d'appliquer une approche photogrammétrique pour la mesure de la densité des tiges (tiges/ha) avec des images drones. Une méthode de l'approche arbre basée sur un modèle numérique de hauteur d'une zone d'étude de 10 hectares a été mise en œuvre, ce modèle a été construit à partir d'images obtenues par des drones. Au total, 92 arbres de référence ont été comptés dans le cadre de cette étude et l'algorithme a détecté 75 arbres, ce qui donne une précision supérieure à 90 % (score F de 0,93). Dans l'ensemble, l'algorithme a manqué 10 arbres (erreurs d'omission) et a faussement détecté 3 arbres (erreurs de commission), ce qui donne un compte total de 88 arbres. Cette étude suggère que l'algorithme de filtrage des maxima locaux combiné avec des tailles de fenêtre optimale, appliqués sur un Modèle Numérique de Hauteur construit par photogrammétrie est capable d'effectuer des comptages d'arbres avec une précision acceptable ($F > 0,90$) dans la zone sahélienne.

Mots-clés: Drone, densité, écosystèmes, Sahel, Sénégal, Ferlo

Estimation of Woody Plant Density Using Drone Imagery in the Sahelian Ecosystems of Senegal

Ramata Talla

Diara Sylla

Ndiabou Faye

Moustapha Bassimbé Sagna

Département Biologie végétale

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar-fann, Senegal

Observatoire Homme-Milieux international de Tessékéré, CNRS

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Senegal

Aly Diallo

Observatoire Homme-Milieux international de Tessékéré, CNRS

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Senegal

Département d'agroforesterie

Université Assane SECK de Ziguinchor, Diabir-Ziguinchor, Senegal

Oumar Sarr

Département Biologie végétale

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar-fann, Senegal

Aliou Guisse

Département Biologie végétale

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar-fann, Senegal

Observatoire Homme-Milieux international de Tessékéré, CNRS

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Senegal

Abstract

Recent advances in drone technology and data processing now make it possible to generate high-resolution images and 3D models that are useful for assessing tree attributes. This study was conducted in Widou Thiengoly, in the Ferlo area of northern Senegal, with the overall objective of applying a photogrammetric approach to measure stem density (stems/ha) using drone imagery. A tree-based method was implemented on a Digital Height Model covering a 10-hectare study area, constructed from drone images. In total, 92 reference trees were counted during the study, and the algorithm detected 75 trees, resulting in an accuracy above 90% (F-score of 0.93). Overall, the algorithm missed 10 trees (omission errors) and falsely detected 3 trees (commission errors), giving a total count of 88 trees. This study suggests that the local maxima filtering algorithm, combined with optimal window sizes and applied to a photogrammetrically derived Digital Height Model, can perform tree counts with acceptable accuracy ($F > 0.90$) in the Sahelian zone.

Keywords: Drone, density, ecosystems, Sahel, Senegal, Ferlo

Introduction

Les arbres jouent un rôle très important dans la conservation des eaux, des sols et de la biodiversité par leurs fonctions agro écologiques (Isaac, 2024). Ils constituent un élément crucial pour le fonctionnement de l'écosystème, et ont des impacts non négligeables sur les cycles biogéochimiques, en particulier ceux de l'eau et du carbone (Diallo *et al.*, 2011 ; Ndiaye *et al.*, 2013).

A l'heure actuelle, les politiques forestières visent à assurer la gestion durable des forêts en conciliant les fonctions économiques, sociales et écologiques. Cependant, la planification forestière est une activité complexe qui doit tenir compte des différents niveaux d'échelle (arbre individuel, peuplement, paysage), des différents niveaux d'intervention (stratégique, opérationnel) et des différents objectifs (récolte, biodiversité, modélisation des feux de forêt, etc.) (Bergseng *et al.*, 2015). Cette complexité, liée à la multiplicité des échelles et des objectifs à concilier, impose le recours à de nouvelles méthodologies pour les programmes d'inventaires forestiers (White *et al.*, 2015). Afin d'œuvrer pour la gestion durable de l'écosystème forestier et réussir la planification forestière, le gestionnaire doit disposer d'un panel d'informations caractérisant l'ensemble de la forêt (Leclère *et al.*, 2018). Ces informations devraient être précises, peu coûteuses, géo localisées, à large échelle et renouvelables et doivent renseigner sur la composition de la forêt, son potentiel récréatif et, son potentiel de production en bois.

Grâce à la photogrammétrie, l'acquisition d'images aériennes multispectrales à très haute résolution (précision décimétrique voire centimétrique) (Lisein *et al.*, 2013) permet la production d'ortho-images et de données 3D (Dandois *et al.*, 2013). Cette technique constitue ainsi avec les drones, une solution intéressante étant donnée leur coût réduit, leur flexibilité opérationnelle, leur capacité à voler sous la couverture nuageuse et à produire des images de très haute résolution, de l'ordre du centimètre par pixel. Le traitement de ces images grâce aux techniques photogrammétriques de *S-f-M* « *Structure from motion* » (Agisoft LLC. 2014) nécessitant peu d'expertise, a permis des applications dans le domaine forestier (Tang and Shao, 2015) ; (Lisein *et al.*, 2013). L'évolution récente de ces techniques ouvre de nouvelles possibilités pour la caractérisation géométrique des houppiers ou de la canopée des forêts tropicales et permet de calculer avec une grande précision la canopée et la hauteur de chaque arbre d'une forêt et donc d'estimer la densité de cette dernière. Ces possibilités permettraient de remplacer les mesures de terrain fastidieuses et souvent peu précises.

Ainsi, pour estimer avec précision la densité des arbres, surtout pour les arbres de petite taille, l'utilisation de résolutions spatiales plus élevées (images drone) que celles généralement obtenues à partir d'images satellitaires est souvent recommandée (Clark *et al.*, 2004) ; (Read *et al.*, 2003). Les applications pionnières des drones en forêt tropicale ont porté sur l'estimation, à l'échelle des parcelles, des paramètres de la structure forestière en utilisant des indices de télédétection dérivés du MNS (Messinger *et al.*, 2016) ; (Ota *et al.*, 2015) et, dans quelques cas rares, d'ortho-images (Bourgoin *et al.*, 2020). Davantage d'études sont donc nécessaires pour explorer le potentiel des drones et des ortho-images pour la caractérisation de la ressource forestière, notamment à l'échelle de l'arbre. Afin de combler ces limites, notre étude s'appuie sur des paramètres dendrométriques mesurés sur le terrain pour calibrer et valider une approche par photogrammétrie appliquée aux images drones, en vue de caractériser la structure des arbres et d'estimer leur densité à l'échelle de la parcelle.

Cette étude a été menée dans une savane arbustive à arborée de structure simple, c'est-à-dire homogène constituée que par quelques espèces bien connues au sahel. L'objectif général de ce travail est de caractériser le taux de détection des arbres en stéréo et donc la mesure de la densité des tiges (tiges/ha).

Matériel et méthodes

Plan d'échantillonnage et données d'inventaires sur le terrain

Base de sondage et choix du site d'étude

Avant de se rendre sur le terrain, un site de 100 ha a été préalablement sélectionné sur base de Google Earth Satellite (Google, 2015). Ce site a été géolocalisé (les quatre cotés) à partir de cartes issues de l'image satellites sur Google Earth. Les coordonnées géographiques de chacun de ces points sont prises depuis le laboratoire et insérées dans le GPS (Figure 1).

La sélection de la zone d'échantillon a été effectuée de manière à représenter la variabilité de la densité forestière retrouvée dans ces milieux. Le choix de ce site se justifie par l'abondance des deux espèces ligneuses : *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir et *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile prises en compte dans cette étude.

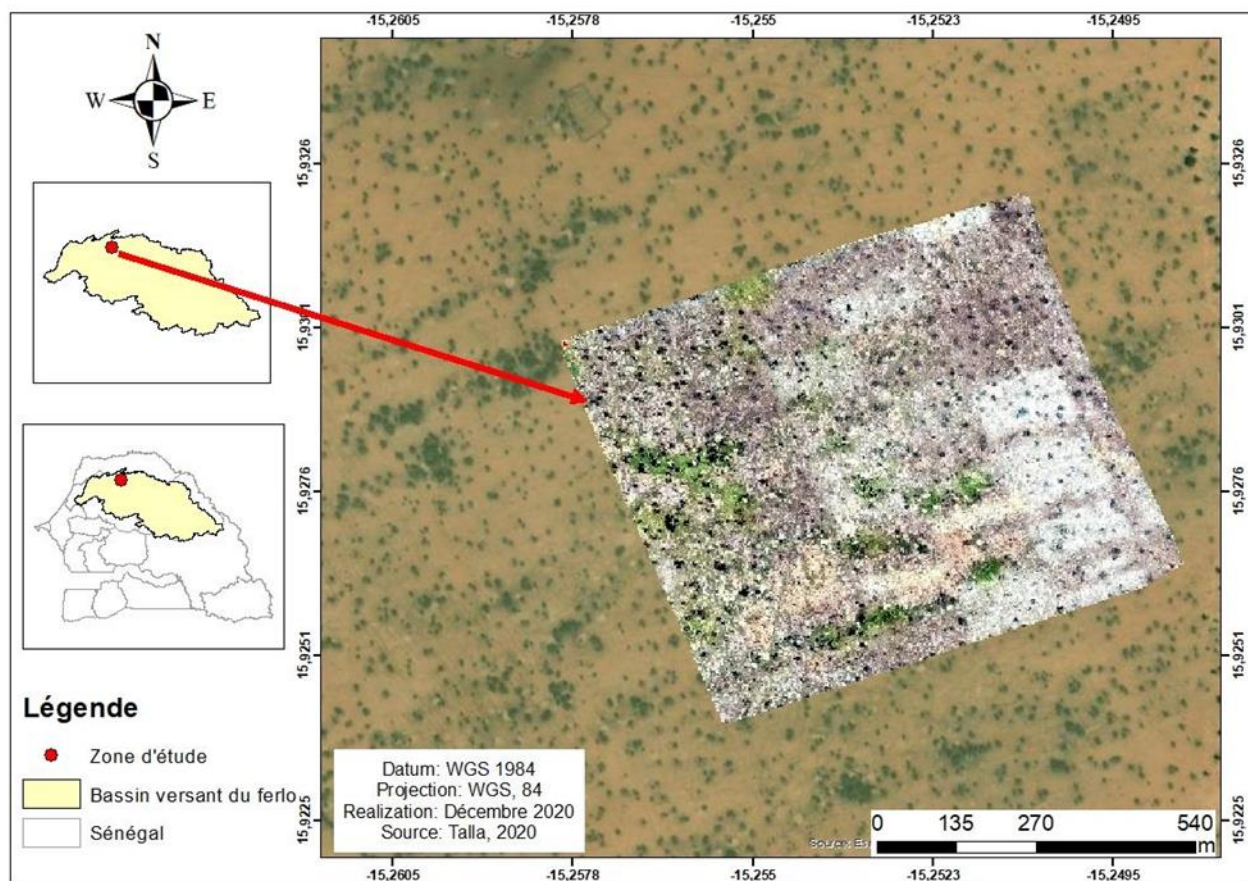


Figure 1 : Site d'étude

Données d'inventaires sur le terrain

Une étude de terrain a été réalisée afin de recueillir les informations réelles sur les arbres. Une placette de 10 ha a été choisie et un échantillonnage intégral y a été effectué (Iizuka et al., 2018). L'identification botanique des individus a été réalisée en suivant la nomenclature de l'APG IV (Angiosperm Phylogeny Group IV, 2016). Seuls les individus dont le diamètre à la base était supérieur ou égal à 3,5 cm ont été pris en compte. Des mesures dendrométriques ont ensuite été effectuées. Les paramètres biophysiques collectés pour chaque arbre incluent : les coordonnées géographiques, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP), la hauteur totale (H), les deux diamètres du houppier mesurés selon des orientations fixes (Nord-Sud et Est-Ouest), ainsi que l'état sanitaire de l'arbre (vivant ou mort).

Acquisition des images drone

Matériel

Un drone à voilure DJI – Phantom 4 Pro+ (Version UE) a été utilisé pour cette étude (figure 2). Il est équipé d'une nacelle vidéo 4K en version Black Edition noir mat (figure 2) et d'un capteur CMOS produisant des images de 12 millions de pixels (4000 x 3000) dans les bandes spectrales rouge, verte et bleue. Le Phantom 4 pro pèse 1388g (moins de 2 kg) pour 1 mètre d'envergure et est doté d'une propulsion électrique propulsant l'appareil à une vitesse maximum de 72 km/h. Phantom 4 pro peut voler à une altitude maximum de 6000 m au-dessus du niveau de la mer. Son temps de vol approximatif est de 30 minutes (<https://www.dji.com/phantom-4-pro> consulté le 20 avril 2020). Les vols sont entièrement automatisés, du décollage à l'atterrissage (atterrissage sur le ventre). Son système de pilote automatique est équipé d'une centrale inertielle (gyroscopes et baromètre) ainsi que d'un GPS atteignant une précision de quelques mètres (<https://www.dji.com/phantom-4-pro> consulté le 20 avril 2020).



Figure 2 : Drone DJ Phantom 4 Pro

Méthodes

Collecte de données

La préparation de la prise de vue aérienne a été effectuée avec une station de contrôle au sol en définissant les paramètres de vol suivants : délimitation de la zone rectangulaire à couvrir, hauteur de vol (entre 100 et 750 mètres au-dessus du niveau du sol), recouvrement des images (le recouvrement latéral étant de même valeur que le recouvrement longitudinal), ainsi que la direction et le sens du décollage et de l'atterrissage.

Les plans de vol ont été programmés avant le départ pour la mission de terrain avec l'application mobile Pix4Dcapture (Pix4D SA, Lausanne, Suisse) sur iPad Air (iOS 13.1.1, Apple Worldwide Developers Conference). Les vols se sont déroulés au mois d'août et ont débuté chaque

jour à 10h00 GMT+2 afin de limiter les effets d'ombrage, dans des conditions météorologiques optimales (ensoleillement stable et élévation solaire suffisante).

Le drone a décollé à partir du point de contrôle au sol situé au centre du dispositif. La hauteur du premier vol a été fixée à 50 mètres, soit environ 30 mètres au-dessus de la végétation dominante du site (savane arborée avec des arbres de 3 à 6 m de hauteur en moyenne). Cette hauteur a été choisie afin d'augmenter la résolution spatiale des images tout en assurant un bon appariement (Pix4D, 2019 ; Dandois et al., 2015 ; Fraser and Congalton, 2018 ; Thibaut, 2019).

La zone couverte en stéréoscopie représentait plus de 100 ha pour chaque parcelle. Afin d'assurer une bonne corrélation pour la génération d'un modèle numérique de surface (MNS) de qualité, un recouvrement d'images de 70 % a été appliqué, aussi bien longitudinalement que latéralement.

Traitement photogrammétrique des images

Les photos collectées (3048 photos) ont été traitées avec le logiciel de modélisation 3D Agisoft (Metashape) Version 1.6.2 build 10247 (Agisoft LLC, Saint-Petersbourg, Russie) qui est utilisable sur les systèmes d'exploitation : Microsoft Windows; Linux; macOS (Agisoft LLC, 2018).

Agisoft Metashape Pro est un logiciel de traitement photogrammétrique automatisé d'images numériques. Il génère automatiquement des nuages de points denses classifiables et des modèles polygonaux texturés en 3D. Le logiciel permet aussi de produire des orthomosaïques géoréférencées, des modèles numériques de surface (MNS), de terrain (MNT) et de hauteur (MNH), ce dernier étant également appelé modèle numérique de canopée (MNC) (Agisoft LLC, 2014). Les données générées peuvent être traitées et interprétées directement dans Metashape ou intégrées dans des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Ce programme est utilisé dans le cadre d'autres études (Gonçalves et Henriques, 2015) ; (Panagiotidis et al., 2017).

Pour la création d'orthomosaïques géoréférencées, de modèles numériques de surface (MNS), de modèles numériques de terrain (MNT) et de modèles numériques de Hauteur (MNH), le processus complet de traitement photogrammétrique est divisé en plusieurs étapes :

(a) alignement automatique et manuel des photos ; (b) placement guidé des GCP ; (c) optimisation sur base des positions relatives des photos et actualisation sur base des positions des GCP afin de géoréférencer au mieux le modèle ; (d) construction du nuage de points dense ; (e) classification des points sols ; (f)-(g)-(h) génération des MNT, MNS et orthomosaïque. La classification des points sols est basée sur l'algorithme progressif TIN. L'algorithme nécessite qu'on lui précise trois paramètres : i) maximum angle

(deg), ii) distance maximale (m), et iii) taille de la cellule (m). Le premier fixe une limite d'angle entre le MNT et la courbe reliant le point d'intérêt à un point de la classe *sol* ; le deuxième fixe une distance maximale entre le point d'intérêt et le MNT ; le dernier correspond à la taille des cellules du processus de classification des points *sol* et constitue l'étape préparatoire de cette classification (Agisoft LLC, 2018).

Un Modèle Numérique de Hauteur (MNH) a été produit en soustrayant le Modèle Numérique de Terrain au Modèle Numérique de Surface ($MNS - MNT = MNH$) (Lisein et al., 2013) ; Ce modèle fournit des informations sur la hauteur des objets se trouvant au-dessus de la surface du sol.

Le MNS représente la hauteur des éléments naturels de la surface, et le MNT est une représentation mathématique de la surface du sol qui contient les données d'élévation du terrain sous la forme d'une grille rectangulaire dans laquelle une valeur d'élévation unique est attribuée à chaque pixel (Lisein et al., 2013).

Détection automatique des arbres individuels

Il est important d'obtenir un décompte d'arbres le plus précis possible, car plusieurs variables forestières en dépendent (densité, biomasse, surface terrière, etc.) (Pouliot et King, 2005).

Cette partie a été réalisée suivant une méthodologie basée sur l'article de (Mohan et al., 2017). Elle consiste en un quadrillage de la zone d'étude, chaque carré faisant 25 m de côté et 10% de ses carrés ont été sélectionnés de manière aléatoire.

Au sein de chacun d'eux, le nombre de houppiers visibles a été compté sur base de l'orthomosaïque et du MNH. Ensuite, une approche de détection des arbres individuels (approche *arbre*, *Individual Tree Detection* (ITD)) a été faite afin d'isoler les apex des arbres. Cette approche passe par un algorithme matriciel d'identification filtrant les maxima locaux (Thibaut, 2019). Les paramètres d'établissement des maxima locaux ont été déterminés à l'aide de l'outil de statistiques filtre-focal dans ArcGIS version 10.4.1. Ce filtre morphologique est choisi pour identifier la valeur du pixel la plus élevée sur la cime de l'arbre à partir du MNH (Navarro et al., 2019). Le nombre de maxima détecté dans chaque carré issu de la sélection aléatoire a été relevé pour chaque itération. Pour chaque carré et chaque itération, une comparaison entre le nombre d'arbres comptés manuellement et le nombre d'arbres détectés par l'algorithme a été faite.

Cependant, il est possible que l'algorithme de détection des maxima locaux détecte des apex d'arbres qui ne le sont pas (FN pour fausse négative, erreur d'omission) et ne détecte pas des apex d'arbres alors qu'ils le sont (FP pour fausse positive, erreur de présence). Les arbres correctement détectés sont

considérés comme des vrais positifs (TP pour true positive) (Mohan et al., 2017).

A la manière de l'étude de (Mohan et al., 2017), pour la taille de fenêtre optimale, trois paramètres ont été calculés pour évaluer la performance de la détection des apex des arbres sur la base d'un algorithme de détection des maxima locaux appliqués au MNH :

- le rappel (recall, r),
- la précision (precision, p) et
- le score F (F-score, F)

Selon les équations suivantes :

$$r = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$p = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$F = 2 * \frac{r * p}{r + p}$$

Le paramètre F correspond à la moyenne harmonique entre r et p et va renseigner sur la précision globale de l'algorithme. r informe sur la mesure de la détection à proprement parlé et p sur la mesure des arbres correctement détectés. Ensuite, un shapefile représentant les positions des pixels de proximité a été généré en fichiers .txt en utilisant le logiciel ArcGIS version 10.4.1 (ESRI, Redlands, CA, USA), et chaque arbre a été marqué avec un numéro d'identification unique.

Estimation du nombre d'arbres individuel

Une méthode itérative a été effectuée basée sur la méthodologie de (Mohan et al., 2017) afin de comparer le nombre d'arbres détectés par l'algorithme et ceux comptés visuellement sur la base de l'orthomosaïque et sur le terrain. Afin d'évaluer les performances de l'algorithme de détection maximale locale, le taux de rappel, la précision et le score F ont été calculés. Bien qu'une grande surface ait été générée (couvrant toute la parcelle), les arbres échantillonnés individuellement provenaient d'une surface relativement plus petite (10 ha) ; par conséquent, les zones d'intérêt ont été extraites pour une analyse plus approfondie (figure 3).

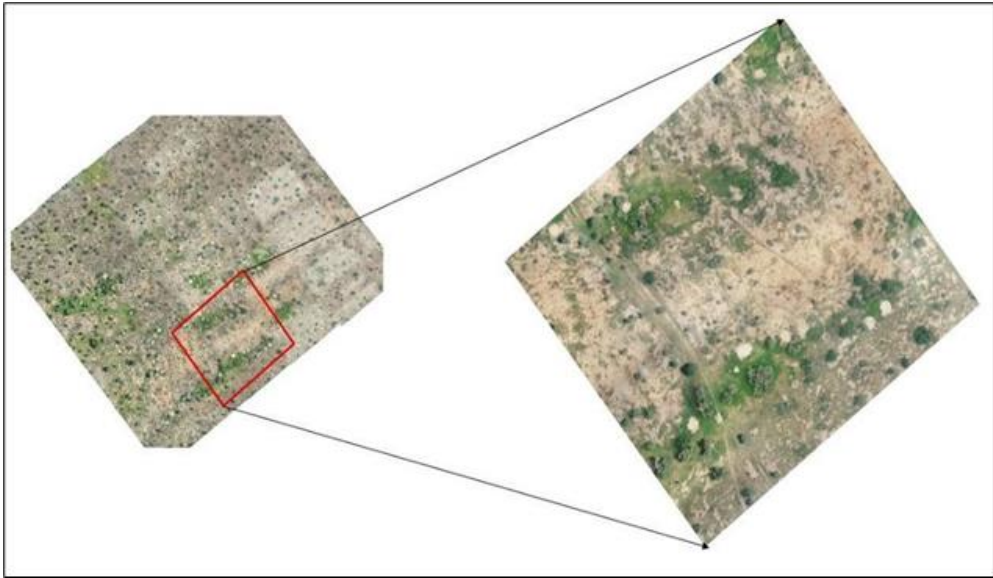


Figure 3 : Zone extraite pour l'analyse

Résultats

Génération des modèles photogrammétriques orthomosaïques géoréférencées, de modèles numériques de surface (MNS), de modèles numériques de terrain (MNT) et de modèles numériques de Hauteur (MNH)

L'orthomosaïque, générée à partir de 3 048 clichés collectés sur le site (figure 4), présente une résolution de 1,17 cm, tandis que celle du modèle numérique de surface (MNS) atteint 1,28 cm. Il s'agit d'une orthophotographie aérienne ou drone, géoréférencée et produite par photogrammétrie, couvrant une superficie d'environ 600×600 m. Elle permet de distinguer avec précision la végétation arborée et herbacée et met en évidence la répartition spatiale des ligneux, généralement isolés, de densité faible à moyenne et disposés de manière hétérogène.

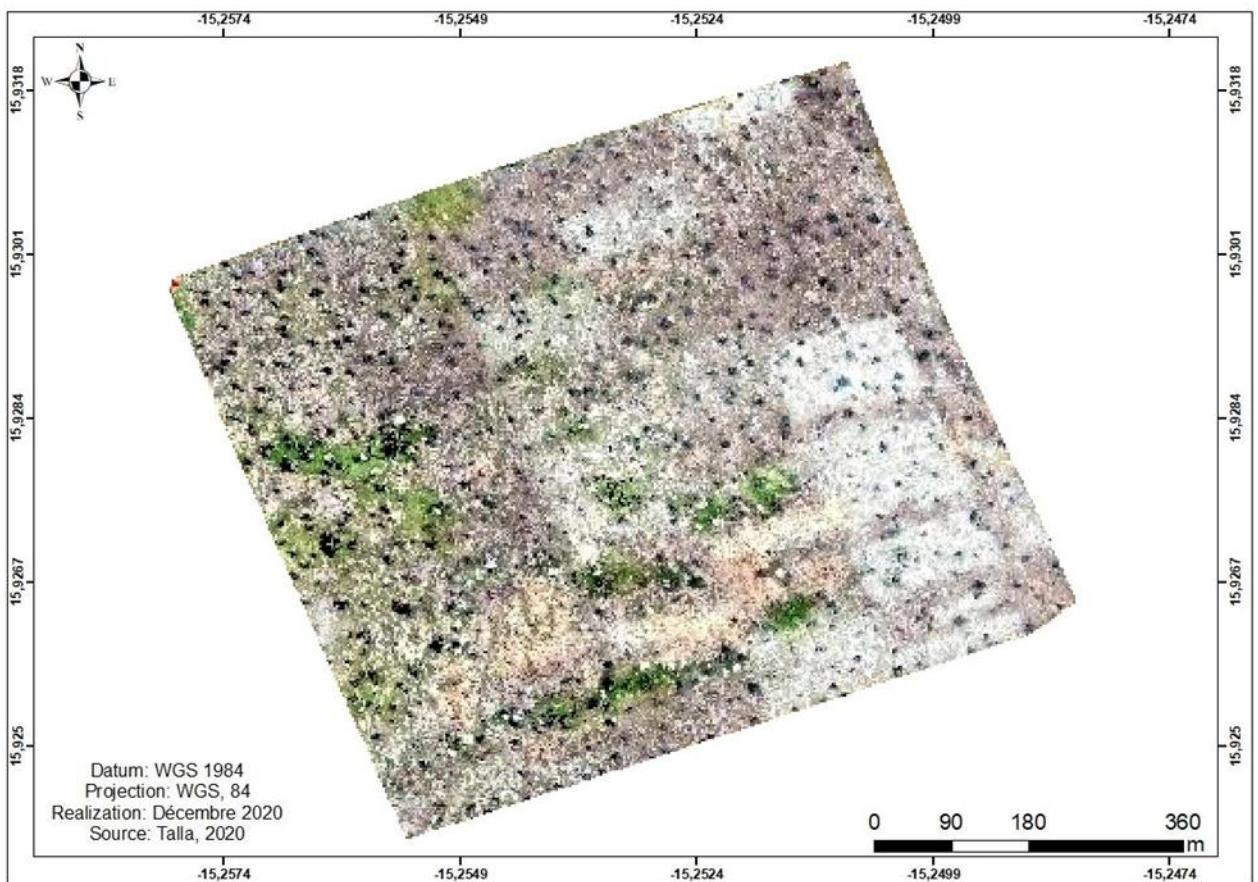


Figure 4 : Orthomosaique géoréférencée de la zone d'étude

Les modèles numériques de surface, de terrain et de hauteur (MNS, MNT et MNH) issus de la reconstruction photogrammétrique des images acquises par drone sont illustrés à la planche 1. Le MNS permet de voir le relief avec la végétation, le MNT restitue uniquement la topographie du sol, et le MNH révèle la structure et la distribution en hauteur de la végétation ligneuse.

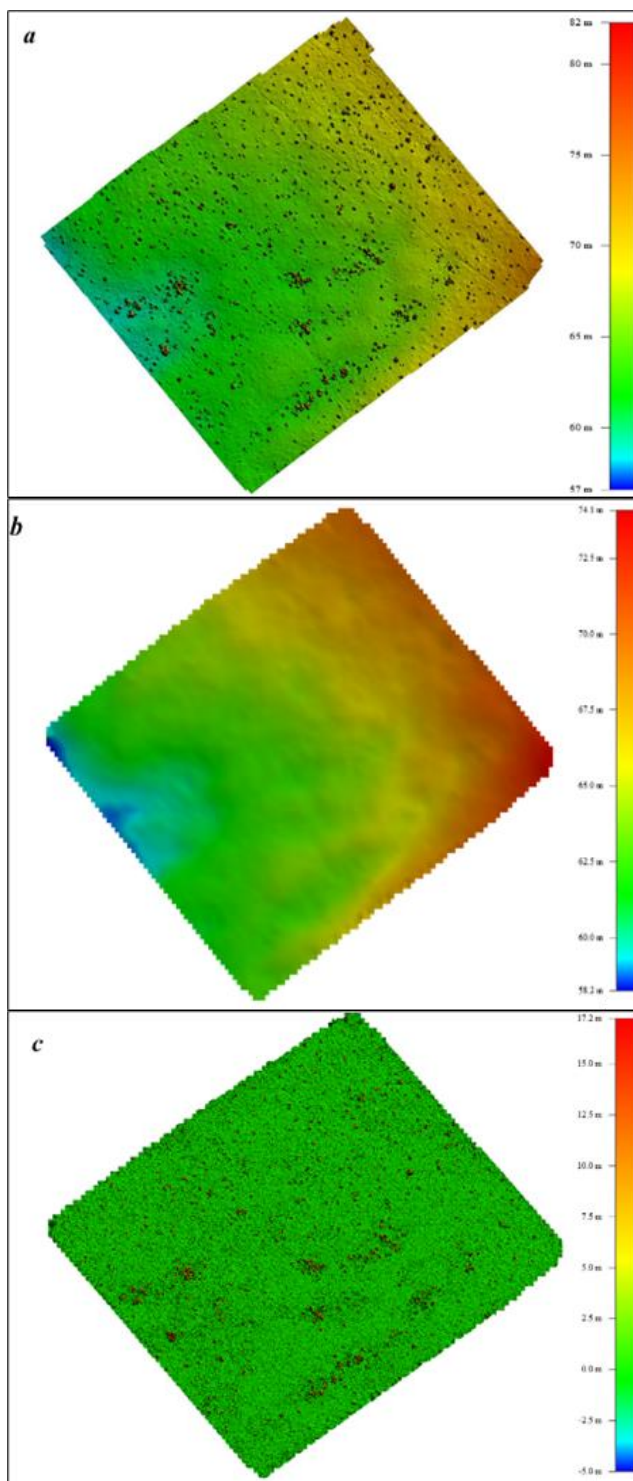


Planche 1 : (a) Modèle Numérique de Surface (b) Modèle Numérique de terrain et (c) Modèle Numérique de Hauteur pour site A. La hauteur maximale est de 17m

Performances de l'algorithme

Les performances de l'algorithme, présentées dans le tableau I, révèlent une valeur globale de corrélation r de 0,97 (variant entre 0,85 et 1) et une précision p de 0,90 (comprise entre 0,72 et 1). Sur les 92 arbres de référence, 81 % ont été correctement détectés, tandis que 10 arbres ont été omis et 3 ont été identifiés à tort, indiquant que la sous-détection reste plus marquée que la sur-détection.

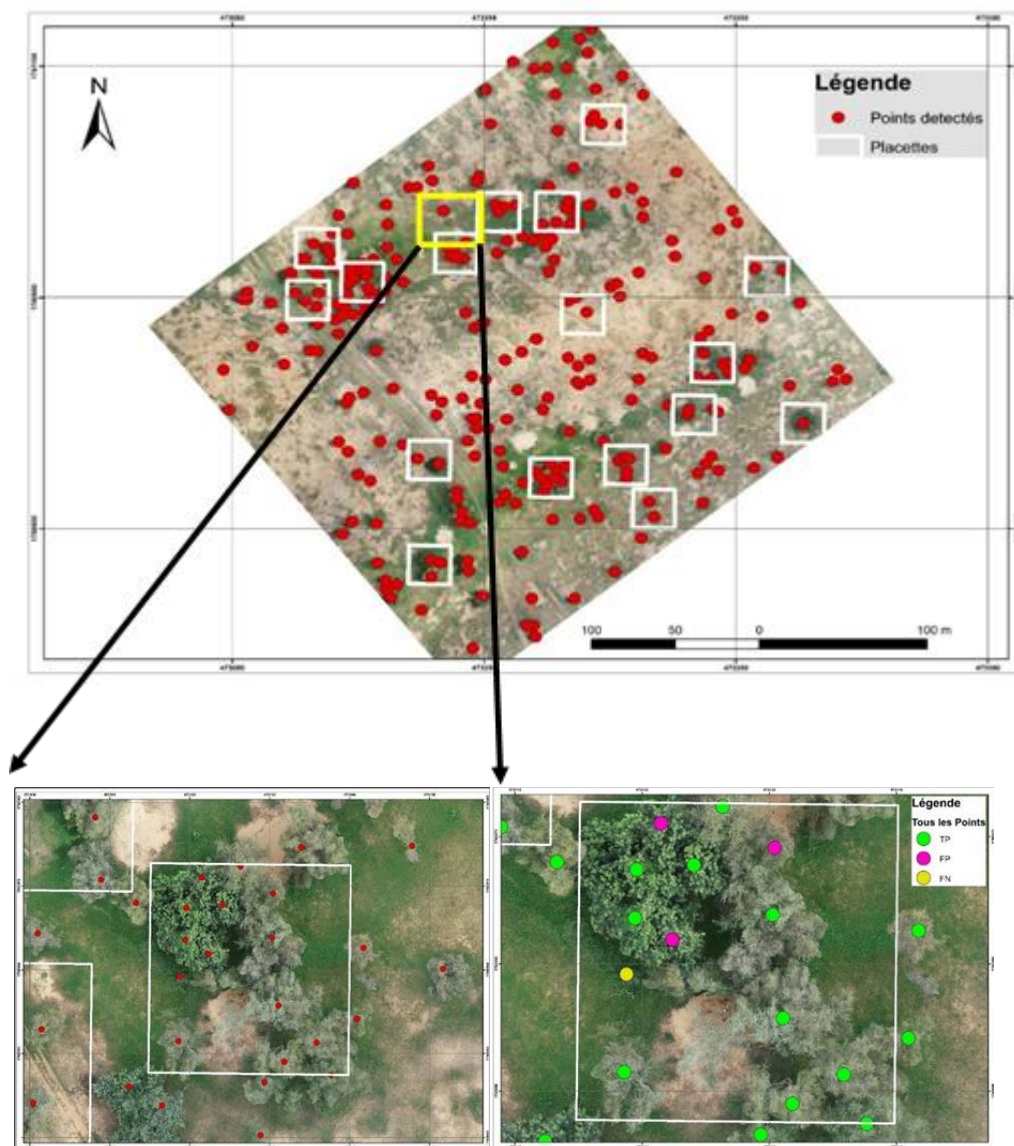
Tableau I : Résultats de l'évaluation de la précision de détection d'arbres individuels pour une taille de fenêtre sélectionnée (23 pixels $\times$ 23 pixels) sur les 16 carrés de 25 m de côté.

Num	N	N algo	TP	FP	FN	r	p	F
12	5	4	4	1	0	1	0,8	0,88
22	5	4	4	1	0	1	0,8	0,88
38	7	6	6	1	0	1	0,85	0,92
59	2	2	2	0	0	1	1	1
63	3	3	0	0	0	1	1	1
72	12	13	8	3	1	0,88	0,72	0,8
86	5	3	3	0	0	1	1	1
88	7	6	6	0	1	0,85	1	0,92
92	14	14	13	1	1	0,92	0,92	0,92
96	4	3	3	1	0	1	0,75	0,85
99	2	2	2	0	0	1	1	1
105	4	4	4	0	0	1	1	1
123	5	4	4	1	0	1	0,8	0,88
132	7	7	7	0	0	1	1	1
154	7	6	6	1	0	1	0,85	0,92
159	3	3	3	0	0	1	1	1
Totale	92	88	75	10	3	0,97	0,90	0,93

Les faux positifs (FP), les faux négatifs (FN), les vrais positifs (TP), le rappel (r), la précision (p) et le score F (F) pour une taille de fenêtre de 25m *25 m et chaque carré d'identifiant ID ; où N est le nombre d'arbres comptés visuellement et N algo le nombre d'arbres détectés par l'algorithme.

La densité d'arbres observée et calculée dans la zone d'étude à partir du modèle numérique de hauteur est de 8,8 arbres par hectare. Les résultats les plus précis ont été obtenus principalement dans des sous-parcelles d'essai allant de 3,2 à 14 arbres par ha. En moyenne, 81 % des arbres ont été détectés correctement, avec des erreurs de commission et d'omission limitées à 3 % et 10 % respectivement, avec un score F de 0,93. En revanche, l'algorithme n'a détecté que 0,66% des arbres dans la sous-parcelle 72 avec un score F de 0,8. La commission associée et les erreurs d'omission étaient respectivement de 8,3 % et 25 % (Planche 2).

Planche 2 : Détection d'arbres individuels à partir d'un modèle de hauteur de la canopée (CHM) dérivé d'un drone



Points rouges représentent les cimes des arbres détectées dans la zone d'étude au niveau du peuplement (A), et au niveau de la placette (placette 72) (B).

Discussion

Durant la dernière décennie, de nombreuses études ont souligné le potentiel de la technologie de télédétection en foresterie (Mohan et al., 2017). Grâce à leur faible coût et à leurs performances rapides par rapport aux méthodes traditionnelles, les drones ont été utilisés pour estimer le nombre d'arbres, les hauteurs et les dimensions des canopées (Sadhasivam et al., 2019

; Thibaut, 2019 ; Mohan et al., 2017 ; Zarco-Tejada, 2014 ; Puttock et al., 2015 ; Wallace et al., 2014).

Dans le cas de notre étude, l'algorithme utilisant le MNH pour identifier les maxima locaux a permis d'atteindre une précision de 81 % (75 arbres détectés sur 92), avec un score F de 0,93. Cette performance peut être expliquée par la qualité de l'orthomosaïque obtenue dans des conditions météorologiques optimales (ciel dégagé, absence de vent) (Dandois et al., 2015), ainsi que par la structure relativement simple des formations végétales du Ferlo. La sous-détection (10 %) observée s'explique par la présence d'arbres de petite taille aux houppiers peu distincts, souvent masqués par des arbres voisins plus grands (Lim et al., 2015). À l'inverse, les cas de sur-détection (3 %) résultent de confusions dans la segmentation des houppiers.

Les résultats obtenus sont cohérents avec ceux de la littérature. Par exemple, (La et al., 2015 ; Vauhkonen et al., 2010) ont obtenu une précision globale de 91,6 % avec des erreurs d'omission et de commission respectivement de 5,7 % et 2,7 %. (Kattenborn et al., 2019) ont rapporté des précisions variant de 86,1 % à 98,2 % selon le type de forêt. Les études basées sur le LiDAR montrent également des résultats comparables, avec des précisions supérieures à 80 % (Silva et al., 2015). Toutefois, certaines études présentent des scores F plus faibles que le nôtre (0,76 et 0,86 respectivement (Thibaut, 2019 ; Mohan et al., 2017)), ce qui souligne l'importance des conditions locales (densité, structure verticale des peuplements, hétérogénéité des houppiers, qualité des images) (La et al., 2015 ; Vauhkonen et al., 2010 ; Wulder et al., 2003).

Conclusion

Il convient de souligner que les drones ont le potentiel de fournir de nombreuses informations sur la cartographie des variables forestières (telles que la densité, le couvert forestier, le volume et la biomasse d'un peuplement, etc.)

Cette étude suggère que l'algorithme de filtrage des maxima locaux combiné avec des tailles de fenêtres optimales, appliqués sur un Modèle Numérique de Hauteur construit par photogrammétrie est capable d'effectuer des comptages d'arbres avec une précision acceptable ($F > 0,90$) dans la zone sahélienne.

Ensuite, afin d'évaluer la qualité de mesure de la hauteur et du diamètre de la couronne des arbres dérivés du modèle, une régression linéaire simple entre ces mesures et les mesures sur le terrain a été ajustée pour sous-échantillonner 92 arbres, et leurs R^2 respectifs étaient de 0,94 et 0,74. Par conséquent, il est considéré comme correct de mesurer la hauteur et le diamètre de la couronne des arbres grâce à l'imagerie par drone en milieu savanicole. Ainsi, ce travail révèle le potentiel futur des drones et des

traitements de photogrammétrie basés sur la surveillance des forêts sahéliennes, et suggère que les recherches futures devraient se concentrer sur le développement de modèles prédictifs pour l'estimation de la biomasse aérienne et du volume des tiges à partir d'images de drones.

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 : Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du Labex DRIIHM, programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-11-LABX-0010.

References:

1. Agisoft LLC. (2014). *Tutorial beginner level: Orthomosaic and DEM generation with Agisoft PhotoScan Pro 1.3 with ground control points* (14 p). Agisoft LLC.
2. Agisoft LLC. (2018). *Agisoft PhotoScan user manual* (121 p). Agisoft LLC.
3. Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV). (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1–20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
4. Bergseng, E., Ørka, H. O., Næsset, E., & Gobakken, T. (2015). Assessing forest inventory information obtained from different inventory approaches and remote sensing data sources. *Annals of Forest Science*, 72(1), 33–45. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0400-5>
5. Bourgoïn, C., Betbeder, J., Couteron, P., Blanc, L., Le Roux, R., & Cornu, G. (2020). UAV-based canopy textures assess degraded structures in human-modified Amazonian forest. *Ecological Indicators*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106236>
6. Brundtland, G. H. (1987). Our common future—Call for action. *Environmental Conservation*, 14(4), 291–294. <https://doi.org/10.1017/S0376892900016855>
7. Clark, D. B., Castro, C. S., Alvarado, L. D. A., & Read, J. M. (2004). Quantifying mortality of tropical rain forest trees using high-spatial resolution satellite data. *Ecology Letters*, 7(1), 52–59. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00547.x>

8. Dandois, J. P., & Ellis, E. C. (2013). High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. *Remote Sensing of Environment*, 136, 259–276. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.04.005>
9. Dandois, J. P., Olano, M., & Ellis, E. C. (2015). Optimal altitude, overlap, and weather conditions for computer vision UAV estimates of forest structure. *Remote Sensing*, 7(10), 13895–13920. <https://doi.org/10.3390/rs71013895>
10. Diallo, A., Faye, M. N., & Guissé, A. (2011). Structure des peuplements ligneux dans les plantations d'*Acacia senegal* L. Wild dans la zone de Dahra Ferlo, Sénégal. *Revue d'Écologie*, 66, 415–427.
11. Fraser, B. T., & Congalton, R. G. (2018). Issues in unmanned aerial systems data collection of complex forest environments. *Remote Sensing*, 10(6), 908. <https://doi.org/10.3390/rs10060908>
12. Gonçalves, J. A., & Henriques, R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 104, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009>
13. Google. (2015). *Imagerie satellite dans Google Earth*. <https://www.google.com/earth>
14. Isaac, M. E., Sinclair, F., Laroche, G., Awokuse, T., Baral, H., Bayala, J., Bisseleua, D., ... & van Noordwijk, M. (2024). The ties that bind: How trees can enhance agroecological transitions. *Agroforestry Systems*, 98, 2369–2383. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01014-6>
15. Kattenborn, T., Eichel, J., & Fassnacht, F. E. (2019). Convolutional neural networks enable efficient, accurate and fine-grained segmentation of plant species and communities from high-resolution UAV imagery. *Scientific Reports*, 9, 17656. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53797-9>
16. La, H. P., Eo, Y. D., Chang, A., & Kim, C. (2015). Extraction of individual tree crown using hyperspectral image and LiDAR data. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(4), 1078–1087. <https://doi.org/10.1007/s12205-013-0460-7>
17. Leclère, L., & Tech, G. A. B. (2018). *Apport de la télédétection aérienne à très haute résolution pour la caractérisation qualitative et quantitative de la ressource forestière: Application à un massif forestier feuillu en Ardenne belge* (Mémoire de master, Université de Liège, 96 p).
18. Lim, Y. S., La, P. H., Park, J. S., Lee, M. H., Pyeon, M. W., & Kim, J. I. (2015). Calculation of tree height and canopy crown from drone images using segmentation. *Journal of the Korean Society of*

- Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 33(6), 605–614. <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2015.33.6.605>
19. Lisein, J., Pierrot-Deseilligny, M., Bonnet, S., & Lejeune, P. (2013). A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery. *Forests*, 4(4), 922–944. <https://doi.org/10.3390/f4040922>
 20. Lizuka, K., Yonehara, T., Itoh, M., & Kosugi, Y. (2018). Estimating tree height and diameter at breast height (DBH) from digital surface models and orthophotos obtained with an unmanned aerial system for a Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*) forest. *Remote Sensing*, 10(1), 13. <https://doi.org/10.3390/rs10010013>
 21. Messinger, M., Asner, G. P., & Silman, M. (2016). Rapid assessments of Amazon forest structure and biomass using small unmanned aerial systems. *Remote Sensing*, 8(8), 615. <https://doi.org/10.3390/rs8080615>
 22. Mohan, M., Silva, C. A., Klauberg, C., Jat, P., Catts, G., Cardil, A., Hudak, A. T., & Dia, M. (2017). Individual tree detection from unmanned aerial vehicle (UAV) derived canopy height model in an open canopy mixed conifer forest. *Forests*, 8(9), 340. <https://doi.org/10.3390/f8090340>
 23. Navarro, J. A., Algeet, N., Fernández-Landa, A., Esteban, J., Rodríguez-Noriega, P., & Guillén-Climent, M. L. (2019). Integration of UAV, Sentinel-1, and Sentinel-2 data for mangrove plantation aboveground biomass monitoring in Senegal. *Remote Sensing*, 11(1), 77. <https://doi.org/10.3390/rs11010077>
 24. Ndiaye, O. (2013). *Caractéristiques des sols, de la flore et de la végétation du Ferlo, Sénégal* (Thèse de doctorat unique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 114 p).
 25. Ota, T., Ogawa, M., Shimizu, K., Kajisa, T., Mizoue, N., & Yoshida, S. (2015). Aboveground biomass estimation using a structure from motion approach with aerial photographs in a seasonal tropical forest. *Forests*, 6(11), 3882–3898. <https://doi.org/10.3390/f6113882>
 26. Panagiotidis, D., Abdollahnejad, A., Surový, P., & Chiteculo, V. (2017). Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8–10), 2392–2410. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1264028>
 27. Pix4D. (2019). *Pix4Dmapper 4.5 user manual*. Pix4D SA. <https://support.pix4d.com>
 28. Pouliot, D. A., King, D. J., & Pitt, D. G. (2005). Development and evaluation of an automated tree detection–delineation algorithm for

- monitoring regenerating coniferous forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(1), 2332–2345. <https://doi.org/10.1139/x05-146>
29. Puttock, A. K., Cunliffe, A. M., Anderson, K., & Brazier, R. E. (2015). Aerial photography collected with a multirotor drone reveals impact of Eurasian beaver reintroduction on ecosystem structure. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3(3), 123–130. <https://doi.org/10.1139/juvs-2015-0015>
30. Read, J. M., Clark, D. B., Venticinque, E. M., & Moreira, M. P. (2003). Application of merged 1-m and 4-m resolution satellite data to research and management in tropical forests. *Journal of Applied Ecology*, 40(3), 592–600. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00814.x>
31. Sadhasivam, N., Dineshkumar, C., Rahaman, S. A., & Bhardwaj, A. (2019). Estimation of forest tree heights and crown diameter using high-resolution images from UAV: A case study of Kalesar, Haryana. In *International conference on unmanned aerial system in geomatics* (pp. 253–263). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17804-6_21
32. Silva, C. A., Crookston, N. L., Hudak, A. T., & Vierling, L. A. (2015). rLiDAR: An R package for reading, processing and visualizing LiDAR (light detection and ranging) data (Version 0.1, 24 p). <http://cran.r-project.org/web/packages/rLiDAR/index.html>
33. Tang, L., & Shao, G. (2015). Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of Forestry Research*, 26(4), 791–797. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0088-y>
34. Thibaut, Q. (2019). *Structure d'une forêt claire de type miombo par imageries drone et satellitaire* (Travail de fin d'études, Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, 70 p).
35. Vauhkonen, J., Korpela, I., Maltamo, M., & Tokola, T. (2010). Imputation of single-tree attributes using airborne laser scanning-based height, intensity, and alpha shape metrics. *Remote Sensing of Environment*, 114(6), 1263–1276. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.01.016>
36. Wallace, L., Lucieer, A., Malenovsky, Z., Turner, D., & Vopěnka, P. (2016). Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests*, 7(3), 62. <https://doi.org/10.3390/f7030062>
37. White, J. C., Stepper, C., Tompalski, P., Coops, N. C., & Wulder, M. A. (2015). Comparing ALS and image-based point cloud metrics and modelled forest inventory attributes in a complex coastal forest environment. *Forests*, 6(10), 3704–3732. <https://doi.org/10.3390/f6103704>

38. Wulder, M. A., Dechka, J. A., Gillis, M. A., Luther, J. E., Hall, R. J., Beaudoin, A., & Franklin, S. E. (2003). Operational mapping of the land cover of the forested area of Canada with Landsat data: EOSD land cover program. *The Forestry Chronicle*, 79(6), 1075–1083. <https://doi.org/10.5558/tfc791075-6>
39. Zarco-Tejada, P. J., Diaz-Varela, R., Angileri, V., & Loudjani, P. (2014). Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European Journal of Agronomy*, 55, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.01.004>

Diversité et activités des termites terricoles dans le jardin botanique Stanislas Lisowski de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani, République Démocratique du Congo

Lionge Mongenzo Diaz

Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables,
Université de Kisangani, République Démocratique du Congo

Choula Fridolin

Department of Biology, Higher Teacher Training College,
The University of Bamenda, Cameroon

Mubenga Onésime

Laboratory of Ecology and Management of Animal Resources,
Faculty of Science, University of Kisangani, Democratic Republic of Congo

Kasaka Léon

Alebadwa Serge

Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables,
Université de Kisangani, République Démocratique du Congo

Heumou Cyril Roméo

Department of Biology, Higher Teacher Training College,
The University of Bamenda, Cameroon
Laboratoire de Zoologie, Département de Biologie et Physiologie Animale,
Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p175](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p175)

Submitted: 07 August 2025

Accepted: 10 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Lionge, M.D., Choula, F., Mubenga, O., Kasaka, L., Alebadwa, S. & Heumou, C.R. (2025). *Diversité et activités des termites terricoles dans le jardin botanique Stanislas Lisowski de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani, République Démocratique du Congo*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 175.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p175>

Résumé

Les termites sont l'une des composantes les plus importantes de la macrofaune des sols africains. Considérés comme les ingénieurs de l'écosystème, ils construisent des monticules remarquables appelées

termitières dans les écosystèmes naturels. De juin à septembre 2022, les investigations ont été menées pour suivre l'évolution et l'activité écologique des termites du jardin botanique Stanislas Lisowski de l'université de Kisangani, RD Congo. Ce jardin a été divisé en 4 quadrats. Après l'observation systématique de chaque termitière, 10 individus de la caste des soldats de chaque termitière ont été collectés et identifiés; l'identification de l'espèce d'arbre sur laquelle la termitière était attachée, et le prélèvement d'une partie de la termitière pour les analyses physico-chimiques et granulométriques ont été effectués. Les résultats ont révélé 78 termitières avec 55 (70,5%) actives contre 23 (29,5%) éteintes. Un total de 2 familles (Termitidae et Rhinotermitidae) et 4 sous familles (Macrotermitinae, Termitinae, Rhinotermitinae et Cubitermitinae) ont été identifiées. Les Familles des Termitidae et Rhinotermitidae étaient représentées respectivement par 6 et 1 genres. La disposition des termitières était liée au type d'arbre. Ainsi, 5 genres de Termites avaient des nids adossés au pied des arbres appartenant à 8 espèces regroupées en 5 familles. Les *Macrotermes* étaient adossés sur trois espèces d'arbre (*Ficus recurvata*, *Pseudospondias microcarpa* et *Allophylus africanus*) ; les *Promirotermes* sur deux (*Borassus aethiopium* et *Ficus recurvata*) ; les *Rhinotermes* sur deux (*Pachyelasma tessmanii* et *Tetrorchidium didymostemon*) les *Cubitermes* sur *Arenga pinnata* et les *Malaysiicapritermes* sur *Terminalia superba*. Les sols des termitières ont présenté un pH légèrement acide à neutre, soit 6,5 pour les *Macrotermes* et *Promirotermes* et 7,1 pour *Malaysiicapritermes*. La Texture du sol des termitières a été complètement modifiée et les proportions de sable, de limon et d'argile varient avec les genres de termites.

Mots-clés: Diversité, Termites, Termitières, Physico-chimiques, Texture, Kisangani

Diversity and Activities of Subterranean Termites in the Botanical Garden Stanislas Lisowski of the Faculty of Science of the University of Kisangani, Democratic Republic of Congo

Lionge Mongenzo Diaz

Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables,
Université de Kisangani, République Démocratique du Congo

Choula Fridolin

Department of Biology, Higher Teacher Training College,
The University of Bamenda, Cameroon

Mubenga Onésime

Laboratory of Ecology and Management of Animal Resources,
Faculty of Science, University of Kisangani, Democratic Republic of Congo

Kasaka Léon

Alebadwa Serge

Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables,
Université de Kisangani, République Démocratique du Congo

Heumou Cyril Roméo

Department of Biology, Higher Teacher Training College,
The University of Bamenda, Cameroon

Laboratoire de Zoologie, Département de Biologie et Physiologie Animale,
Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun

Abstract

Termites are one of the most important components of African soil macrofauna. Considered ecosystem engineers, they built remarkable structures, termite mounds, in many natural ecosystems. From June to September 2022, investigations were done to assess the entomofauna evolution of ground-dwelling termites and their activity in the Botanical gardens of Stanislas Lisowski of the University of Kisangani in RD Congo. The garden was divided into 4 quadrats. After a Systematic search, 10 individuals of the soldier caste were collected from each termite mound for identification purposes. The tree species on which the termite mounds were attached were identified, and part of the ground was collected for physicochemical and granulometry analyses. Results reveal 78 termite mounds in the study area, divided into two states: the active ones accounted for 55 (70.5%) of the mounds inspected, against 23 (29.5%) for the extinct ones. A total of 2 families (Termitidae and Rhinotermitidae); 4 subfamilies: Macrotermitinae, Termitinae, Rhinotermitinae, and Cubitermitinae were found. The Family Termitidae was represented by 6 genera and 1 genus. The

termites' mounds distribution was related to the type of tree. Of the 7 genera of identified Termites, 5 had nests attached to the trunk of the trees. That is a total of 8 vegetable species gathered in 5 families. In the garden, *Macrotermes* were found on three species of trees: *Ficus recurvata*, *Pseudospondias microcarpa* and *Allophylus africanus*; *Promicrotermes* attached to *Borassus aethiopium* and *Ficus recurvata*; *Rhinotermes* attached to *Pachyelasma tessmanii*, *Tetrorchidium didymostemon*; *Malaysiocapritermes* attached to *Terminalia superba*. Soils of termite mounds present a pH slightly acidic to neutral. That is 6.5 for *Macrotermes* and *Promicrotermes*, and 7.1 for *Malaysiocapritermes*. The soil Texture, sand, silt, and clay were completely modified from one termite genus to another.

Keywords: Diversity, Termites, Termite mounds, soil Texture, Physico-chemical properties, Kisangani

Introduction

Les changements d'utilisation des terres sont à l'origine de modifications des flux de matière et d'énergie qui provoquent la disparition de nombreuses espèces et entraînent leurs substitutions par d'autres espèces ayant des traits différents. En général, l'ensemble de ces modifications provoque de fortes variations dans les propriétés des écosystèmes et leur fonctionnement (Sala et al., 2000 ; MAE, 2005). Les effets provoqués sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes peuvent être directs ou indirects, et les conséquences varient en fonction de l'intensité, de la régularité et de l'étendue de ces changements. Les jardins botaniques sont des laboratoires vivants qui offrent la possibilité d'étudier les relations entre les plantes et leurs environnements et surtout, ils constituent un habitat privilégié pour certaines espèces animales comme les insectes et plus précisément les insectes du sol. Les organismes du sol sont essentiels au fonctionnement des écosystèmes naturels et gèrent la productivité des terres. Ils maintiennent les conditions du sol favorables à la croissance des plantes. Les termites sont des ingénieurs écosystémiques qui modifient la composition du sol et l'hydrologie (Jones, 1990). Leurs associations avec des symbiotes jouent un rôle important dans la digestion et la décomposition de la matière organique. Elles occupent donc une place importante dans le cycle des éléments. Les termites jouent un rôle important dans le transport et la décomposition de la biomasse sèche et fraîche. La densité et la distribution spatiale des termitières épigées dépendent de la diversité et de l'activité des groupes de termites présents (Davies et al., 2003), des types de végétation (Tano et Lepage, 1993 ; Black et Okwakol, 1997), des pratiques d'aménagement des écosystèmes (Barros et al., 2002 ; Attignon et al., 2005). Dans le but de combler le manque de données sur les insectes de la litière dans la cuvette centrale congolaise, nous nous sommes fixés comme

objectif dans ce travail d'étudier l'écologie des termites du jardin botanique Stanislas Lisowski de la Faculté des Sciences à Kisangani. Plus spécifiquement nous avons fait : i. l'inventaire des termites terricoles du jardin botanique ii. l'analyse de la structure spéciale des termitières en relation aux espèces végétales présentes et iii. l'évaluation de l'activité écologique des termites sur la structure de sol.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

Le jardin botanique Stanislas Lisowski, crée en 1975, est situé sur le campus de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani. Cette Université est située dans la partie orientale de la cuvette centrale congolaise à cheval sur l'équateur. Ses coordonnées géographiques sont 0°30'Nord, 25°12'Est, avec une altitude moyenne de 396 m (Nshimba, 2008). Kisangani possède un climat équatorial de type Af de la classification de Koppen (Kottek et al., 2006). Les précipitations moyennes restent élevées toutes l'année (1750 mm/an), mais sa répartition n'est pas uniforme. On y observe des fléchissements des précipitations entre décembre-février et juin-août. La moyenne de précipitations du mois le plus sec avoisine 60 mm (Trochain, 1980). Les sols sont en général de type ferrallitique, sablo-argileux et acides, riches en fer et alumine. Ils sont profonds et fortement lessivés par les eaux pluviales et renferment beaucoup de combinaisons à base de sable subissant une altération par lessivassions ou dissolution (Amundala, 2014). L'humidité relative annuelle varie de 79,6% à 84%. Le jardin couvre une superficie de 7 076 m² (116 m de long et 61 m de large). Il est constitué des arbres forestiers de la région de Kisangani notamment (*Terminalia superba*, *Piptadeniastrum* ou *Pericopsis elata*) et une végétation herbacée aux alentours du jardin (Figure 1).

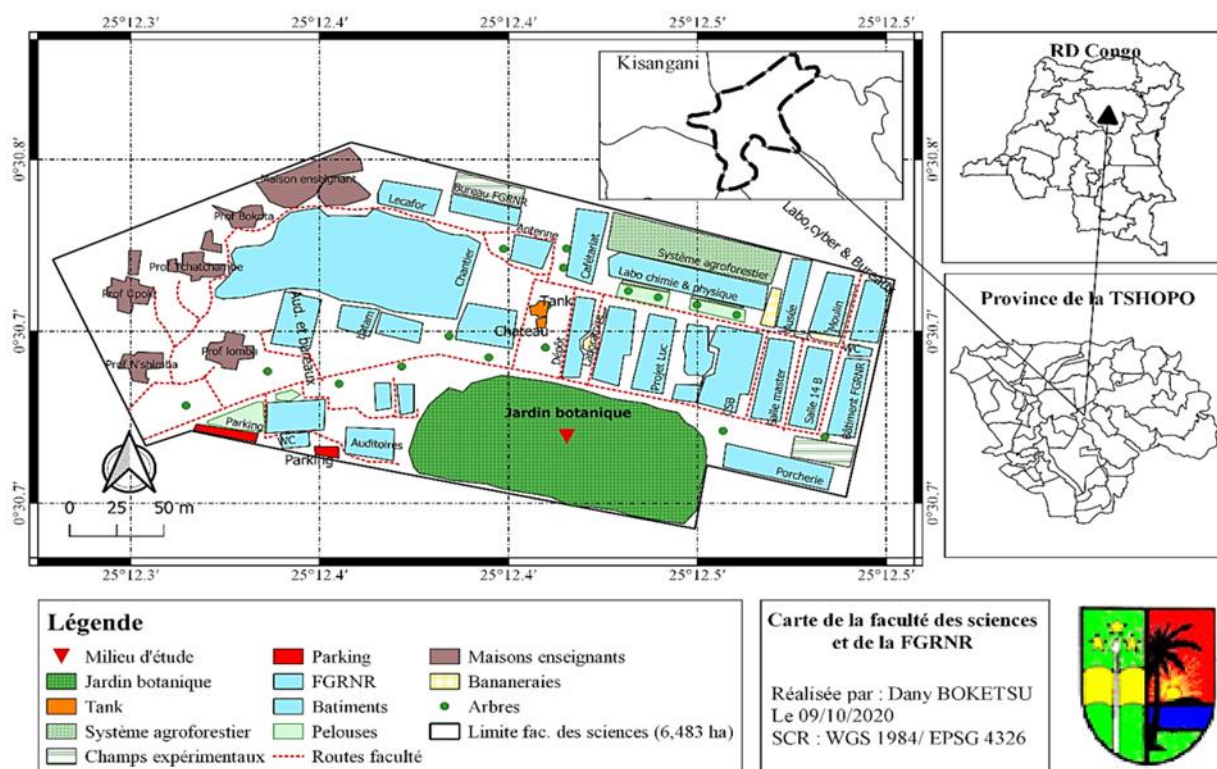


Figure 1 : Jardin botanique Stanislas Lisowski situé sur le Campus de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani

Méthode d'échantillonnage des termites

Pour mener cette étude, le jardin a été divisé en 77 parcelles de (7,70 m x 6,40 m) séparées les unes des autres par des allées de 1m de largeur, regroupées en 4 quadrats. Pour échantillonner les termites, chaque quadrat a été inspecté pour la recherche de la présence ou de l'absence des termitières. En présence d'une termitière, le nid était partiellement cassé à une profondeur de 5 cm et au moins 10 individus de la caste des soldats étaient prélevés. Les ouvriers n'ont pas été prélevés par manque d'une clé d'identification spécifique à cette caste. Les spécimens ont été conservés dans des tubes à essai contenant de l'alcool à 70% sur lesquels il était inscrit le numéro du quadrat et l'espèce d'arbre située juste à côté (attachée) de la termitière pour différencier les propriétés pédologiques des termitières avec ou sans arbre à côté.

Identification des Termites

Les spécimens récoltés ont été identifiés au laboratoire des invertébrés du Centre de Surveillance de la Biodiversité de l'Université de Kisangani

(CSB) jusqu'au niveau du genre. Ils ont été observés au microscope binoculaire de marque Nikon SM2 745. A cet effet, les clés d'identification de Kalleshwaraswamy et al. (2013), Sobotnik & Dahlsjo (2017) et Ndiaye (2014) ont été utilisées. Les éléments considérés pour cette identification étaient la présence ou l'absence de la fontanelle, les dimensions et la forme de la tête, la disposition des mandibules et le nombre d'article antennaire. Pour vérifier l'impact de l'anthropisation sur les termites terricoles dans le jardin botanique, le jardin botanique a été divisé en quatre secteurs, le bloc Nord – Est, Nord – Ouest, Sud – Est et Sud – Ouest (Figure 2). Le nombre des termitières a été comparé entre ces différents blocs en fonction de l'intensité de la perturbation humaine (fréquentation). En effet, les blocs Nord-Est et Sud-Est sont considérés comme étant les moins fréquentés relativement aux blocs Nord-Ouest et Sud-Ouest.

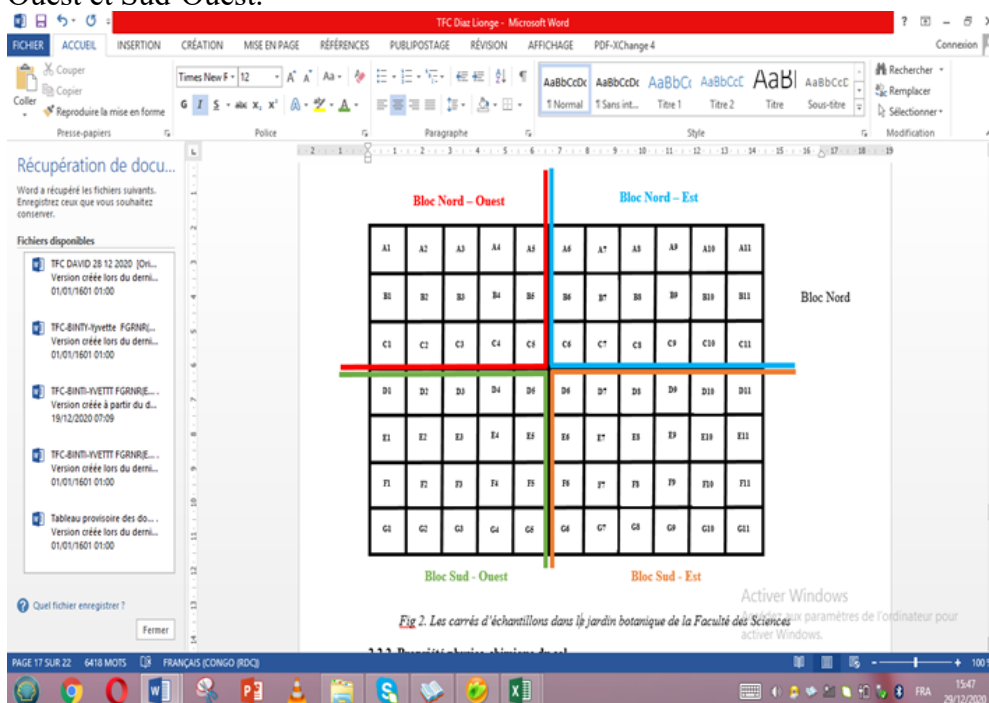


Figure 2 : Subdivision en parcelles et des quadrats du Jardin Botanique Stanislas Lisowski

Analyse des propriétés physico-chimiques du sol

Les échantillons des sols ont été prélevés sur les termitières permettant ainsi d'évaluer la concentration des différents éléments physico- chimiques. Le prélèvement a été fait à 5 cm de profondeur du sol sur les termitières par la méthode de diagonale (FAO, 1978 ; Girard et al., 2011). Les paramètres physico-chimiques des sols ont été étudiés par les méthodes concernées : la granulométrie par sédimentation successive, le pH par potentiométrie, le

phosphore assimilable par Bray 2, ainsi que le carbone organique par Walkey et Black (Van Ranst et al.,1983).

Analyse des données

Les indices écologiques mesurés suivants ont été mesurés dans cette étude :

L'abondance relative

L'abondance relative représente le nombre d'individu par unité d'espace pour un genre par rapport au nombre total d'individus tous genres confondus. Cet indice, exprimé en pourcentage, a été calculé selon la formule de Barbault (1997):

Avec :

$$Ai = \frac{ni}{N} \times 100 \quad Ai = \frac{ni}{N} \times 100$$

Ai : représente l'abondance relative ;

ni : effectif du genre ;

N : effectif total de tous les genres mis ensemble.

L'indice de Shannon

L'indice de Shannon a été utilisé pour vérifier la diversité des genres de termites dans chaque bloc et celle du jardin toute entière. Cet indice est calculé par la formule ci-après :

$$H' = - \sum (pi * \ln(pi))$$

H' : indice de Shannon

i : une espèce du milieu

s : richesse spécifique = nombre de genre

Pi : Fréquence relative de l'espèce

$$pi = \frac{ni}{N} \quad pi = \frac{ni}{N}$$

Les données de cette étude ont été traitées sous Microsoft Excel 2019. Le logiciel R (v. 4.0.1) a aidé pour les tests statistiques des paramètres environnementaux et spécifiques (RDA).

Résultats

Diversité de termites

Les résultats ont révélé 78 termitières avec 55 (70,5%) actives contre 23 (29,5%) éteintes. Sur l'ensemble des 55 termitières actives, les termites issus de 22 termitières ont été identifiés et les termitières non identifiées n'avaient pas assez d'individu de la caste de soldat disponible lors de leur prélèvement. Les termites identifiées dans les 22 termitières effectivement échantillonnées, sont groupées en: deux (02) familles (les Termitidae et les Rhinotermitidae); quarter (04) sous familles (Macrotermitinae, Termitinae, Rhinotermitinae et Cubitermitinae) et sept (07) genres. La Famille des

Termitidae était représentée par 6 genres dont *Macrotermes*, *Promicrotermes*, *Cubitermes*, le *Pericapritermes*, et *Capritermes* et *Malaysiicapritermes*. La famille des Rhinotermitidae avait un seul genre, celui des *Rhinotermes* (Tableau 1).

Tableau 1 : Genres de termites récoltés au jardin botanique et nombre de termitières dans les blocs

Familles	Sous familles	Genres	Nombre de termitières				
			BNE	BNO	BSE	BSO	Total
Termitidae	Macrotermitinae	<i>Macrotermes</i>	1	2	2	2	7
Termitidae	Termitinae	<i>Promicrotermes</i>	5	0	0	0	5
Rhinotermitidae	Rhinotermitinae	<i>Rhinotermes</i>	0	0	3	2	5
Termitidae	Cubitermitinae	<i>Cubitermes</i>	1	0	1	0	2
Termitidae	Termitinae	<i>Pericapritermes</i>	0	0	1	0	1
Termitidae	Termitinae	<i>Capritermes</i>	0	0	1	0	1
Termitidae	Termitinae	<i>Malaysiicapritermes</i>	0	0	0	1	1
Total			7	2	8	5	22

BNE : Bloc Nord-Est, BNO : Bloc Nord-Ouest, BSO : Bloc Sud-Ouest, BSE : Bloc Sud-Est

Richesse générique des termites dans les différents blocs du jardin Stanislas Lisowski

Le tableau 2 indique que la diversité des termites était plus élevée dans le bloc Sud-Ouest comme l'indique l'indice de Shannon (0,13) suivi du bloc Sud-Est (0,10). Les blocs Nord-Ouest et Nord-Est étaient les moins diversifiés avec respectivement un indice de Shannon de 0,08 et 0,06.

Tableau 2: Biodiversité comparée entre les quadrats

Quadrats	Richesse spécifique	Abondance relative (%)	Indice de Shannon
Nord-Est	3	25,00	0,06
Nord-Ouest	1	8,33	0,08
Sud-Est	4	33,33	0,10
Sud-Ouest	4	33,33	0,13
Total	12	100	0,36

Distribution des termitières dans le jardin botanique

Deux états de termitières épigées ont été trouvés, soit 55 termitières actives et 23 termitières éteintes. Dans le bloc Nord – Est, il y'avait 21 termitières actives et 5 termitières éteintes. Dans le bloc Nord-Ouest il y avait 5 termitières actives et 3 éteintes. Le bloc Sud-Est avait 20 termitières contre 8 éteintes et le bloc Sud-Ouest hébergeait 9 termitières actives contre 7 éteintes. Les termitières actives ont représenté 70,5% du nombre total des termitières rencontrées contre 29,5% pour les termitières éteintes (Tableau 3).

Tableau 3 : Distribution des termitières dans les différents blocs du jardin botanique S. Lisowski

Termitières	BNE	BNO	BSO	BSE	Total	Fréquence (%)
T.A	21	5	9	20	55	70,5
T.E	5	3	7	8	23	29,5
Total	26	8	16	28	78	100

BNE : Bloc Nord-Est, BNO : Bloc Nord-Ouest, BSO : Bloc Sud-Ouest, BSE : Bloc Sud-Est
T.A : Termitière Active, T.E : Termitière Éteinte

Préférence des termites pour certaines essences d'arbres

Sur les 7 genres de Termites identifiés dans le jardin botanique, 5 avaient des nids construits ou adossés au pied des arbres. Soit un total de 20 termitières sur 22 termitières identifiées étaient adossés sur 08 espèces végétales regroupées dans 6 familles. Dans le jardin, les Macrotermes étaient attachés à trois espèces d'arbre : *Ficus recurvata*, *Pseudospondias microcarpa* et *Allophylus africanus* ; le genre *Promirotermes* était en relation avec *Borassus aethiopium* et *Ficus recurvata* ; *Rhinotermes* était en relation avec *Pachyelasma tessmanii*, *Tetrorchidium didymostemon* et *Malaysiocapritermes* était en relation avec *Terminalia superba* (Tableau 4).

Tableau 4 : Répartition des genres de termites sur les espèces végétales

FT	Genres	EV	NT	FV
Termitidae	Cubitermes	<i>Arenga pinnata</i>	2	Arecaceae
Termitidae	Promirotermes	<i>Borassus aethiopium</i> , <i>Ficus recurvata</i>	5	Arecaceae Moraceae
Termitidae	Macrotermes	<i>Allophylus africanus</i> , <i>Ficus recurvata</i> , <i>Pseudospondias microcarpa</i>	7	Sapindaceae Moraceae Acacardiaceae
Rhinotermitidae	Rhinotermes	<i>Pachyelasma tessmanii</i> <i>Tetrorchidium didymostemon</i>	5	Fabaceae
Termitidae	Pericapritermes	-	1	-
Termitidae	Capritermes	-	1	-
Termitidae	Malaysiocapritermes	<i>Terminalia superba</i>	1	Combretaceae

FT : Famille de termite, EV : Espèce végétale, FV : Famille Végétale,
NT : Nombre de termitières

Analyses physico-chimiques du sol des termitières

Les sols de toutes les termitières présentent un pH acide. Toutefois, les termitières de Macrotermes et Promirotermes étaient légèrement acides par rapport aux autres avec un pH de 6,5 et la termitière de Malaysiocapritermes avait un pH basique (pH=7,1).

En ce qui concerne les composantes physiques du sol, la termitière de Capritermes avait le taux le plus élevé de sable (49%), suivi de Macrotermes (46%), Pericapritermes (35%) et Malaysiocapritermes (34%). Le taux de limon le plus élevé a été trouvé dans les termitières de Promirotermes (14,2%), suivi de Cubitermes (14,0%), Malaysiocapritermes (5,0%) et Pericapritermes (2%). Pour l'argile, le taux le plus élevé a été trouvé dans les termitières de Pericapritermes (63%), suivi de Malaysiocapritermes (61%) et ceux ayant un taux d'argile faible était celui de Promirotermes (44,8%) et celui de Macrotermes (46%).

La moyenne la plus élevée de carbone organique dans le sol de termitière se trouvait chez le Promirotermes (3,8 ppm) et le Rhinotermes (3,4 ppm). Néanmoins ceux ayant un taux faible se trouvait chez le Malaysiocapritermes (1,1 ppm) et le Pericapritermes (1,6 ppm).

Pour le phosphore assimilable, le taux le plus élevé se trouvait chez les Malaysiocapritermes (16,9 ppm) et les Rhinotermes (16,2 ppm) (Tableau 5).

Tableau 5 : Quelques caractéristiques physico-chimiques du sol des termitières en fonction du genre de termite

Genres de termites	pH	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Carbone (ppm)	Phosphore (ppm)
Macrotermes	6,5	46,0	8,0	46,0	3,1	16,3
Promirotermes	6,5	41,0	14,2	44,8	3,8	16,3
Rhinotermes	6,7	41,2	10,2	48,6	3,4	16,2
Cubitermes	6,8	38,5	14,0	47,5	1,9	15,8
Capritermes	6,7	49,0	4,0	47,0	3,1	15,9
Pericapritermes	6,4	35,0	2,0	63,0	1,6	15,9
Malaysiocapritermes	7,1	34,0	5,0	61,0	1,1	16,9

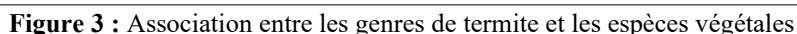
Caractéristiques physico-chimiques moyennes des sols de termitière selon les blocs

Partant des résultats exposés dans le tableau 6 ci-après, il est à remarquer que le bloc Sud-Est enregistre un pH élevé (6,9) par rapport aux autres étant suivi par le bloc Nord-Est (6,7), du bloc Sud-Ouest (6,6) et le bloc Nord-Ouest conclu avec niveau faible (6,5).

Pour le sable, la moyenne la plus élevée a été celle du bloc Nord-Ouest (52,0%) suivi du bloc Sud-Ouest (42,5%). Pour clore, les valeurs moyennes les plus élevées ont été obtenues avec les blocs Nord-Est et Sud-Est (respectivement 41,1% et 40,1%). En ce qui concerne le limon, la moyenne la plus élevée se trouvait dans le bloc Nord-Est (12,4%) suivi du bloc Sud-Ouest (10,2%). Les valeurs les plus faibles ont été observées dans les blocs Sud-Est et Nord-Ouest (respectivement 7,7% et 7,5%). Du côté d'argile, le bloc Sud-Ouest (52,1%) présentait le plus grand pourcentage, suivi du bloc Sud-Ouest (47,3%) pour clore avec le bloc Nord-Est et Nord-Ouest (41,1% et 40,1%). La plus grande moyenne de carbone organique (CO) en particule par million dans

Tableau 6 : Quelques caractéristiques physico-chimiques des sols suivant le bloc

Les genres Cubitermes (Cu) et Malaysiocapritermes (Mal) sont respectivement associés aux espèces *Arenga pinnata* (B) et *Terminalia superba* (H). Les autres genres de termites étudiés ont présenté des associations avec plus ou moins deux espèces végétales. Il s'agit de : Macrotermes (Ma) avec les espèces *Allophylus africana* (A), *Ficus recurvata* (D) et *Pseudospondias microcarpa* (F); Promirottermes (Pro) avec les espèces *Borassus aethiopum* (C) et *Ficus recurvata* (D) ainsi que Rhinotermes (Rhi) avec les espèces *Pachyelasma tessmanii* (E) et *Tetrorchidium didymostemon* (I). Les genres Capritermes (Ca) et Pericapritermes (Pe) n'ont pas présenté d'association avec les espèces végétales (Figure 3).



Allophylus africana (A), *Arenga pinnata* (B), *Borassus aethiopum* (C), *Ficus recurvata* (D), *Pachyelasma tessmanii* (E), *Pseudospondia microcarpa* (F), *Terminalia superba* (G), *Tetrorchidium didymostemon* (H). Ca, Cu, Ma, Mal, Pe, Pro et Rhi respectivement les genres Capritermes, Cubitermes, Macrotermes, Malaysiicapritermes, Pericapritermes, Promirotermes et Rhinotermes.

Les images ci-dessous illustrent la manière dont les termitières étaient attachées aux arbres. Ces termitières hypogées sont construites à même le tronc, généralement à une hauteur allant de quelques cm à près de deux mètres. Elles peuvent envelopper partiellement ou totalement le tronc formant des mottes de terres massives ou en colonnes suivant la forme de l'arbre. Le matériau qui est un mélange de terre, salive et de matières organiques forme une pâte résistante qui adhère étroitement à l'écorce des arbres. Elles montrent clairement l'interaction entre la structure des termitières et les arbres (Figure 4).



A



B

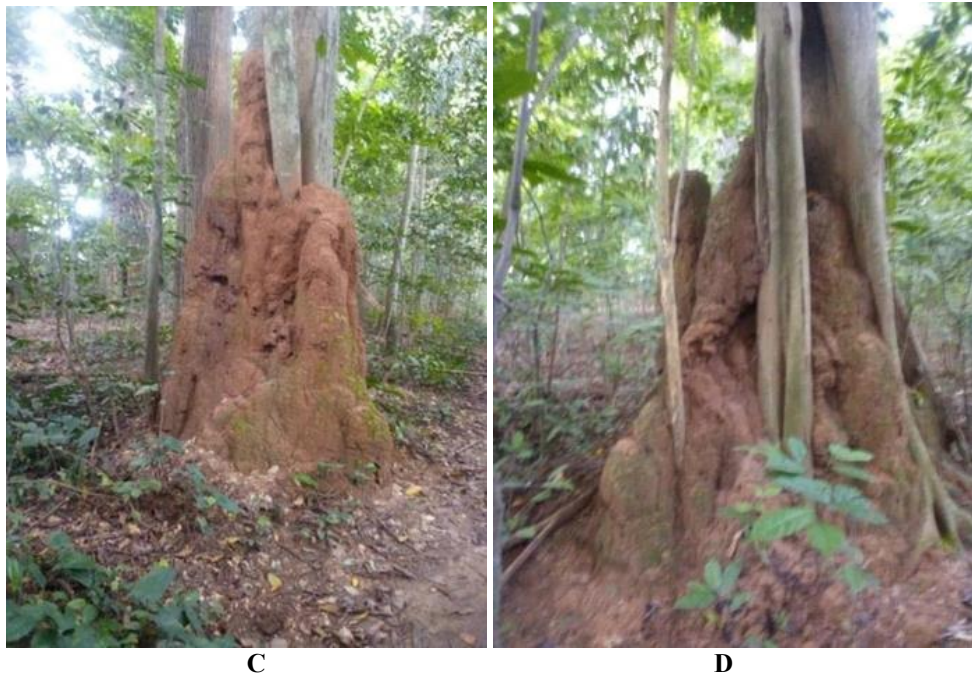


Figure 4 : Association termitières arbres (*Combretum lokele* A et B. *Ficus recurvata* C et D), dans le jardin botanique Stanislas Lisowski, Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani RD Congo

Effet des propriétés du sol sur la fréquence des termites dans le jardin Stanislas

Les deux premiers axes de l'analyse de redondance (RDA) expriment 93,87% de la variabilité totale (RDA1=77.5% et RDA2=16.37%). Trois variables édaphiques ont discriminé la fréquence de Termites, à savoir le sable, le limon et le pH (Figure 3). De ces trois variables, les propriétés texturales (sable et limon) sont les plus discriminantes (Figure 5).

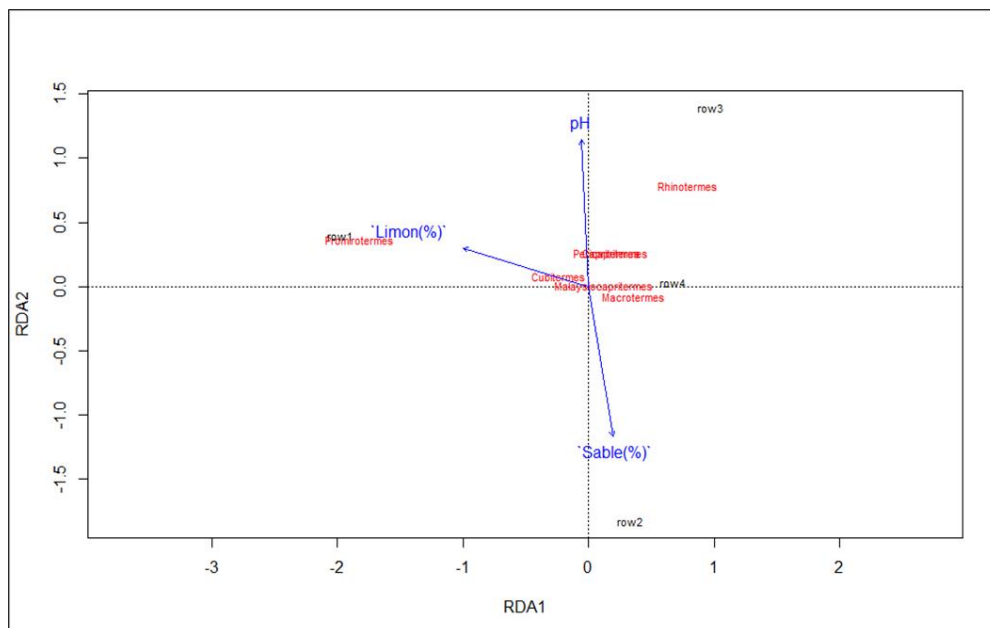


Figure 5 : Variables édaphiques discriminant la fréquence des genres de termites dans le jardin botanique Stanislas Lisowski Les blocs Nord-Est (Row 1), Nord-Ouest (Row 2), Sud-Est (Row 3) et Sud-Ouest (Row 4)

Discussion

Sur l'ensemble des 7 genres recensés, 4 genres (Promirotmes, Rhinotermes, Capritermes et Malaysiocapritermes) ont été identifiés pour la première fois dans la région de Kisangani. L'indice de diversité de Shannon calculé est de 0,36, ce qui traduit une diversité spécifique relativement faible. En effet, cet indice est bien inférieur à l'indice de Shannon maximal théorique ($H'_{\max} = 2,48$), qui aurait été atteint en cas de distribution parfaitement équitable des genres. Par conséquent, bien que la richesse générique soit modérée, la faible valeur de l'indice de Shannon indique une répartition déséquilibrée des genres et une dominance de certains espèces dans les quadrats étudiés.

Les études se rapportant sur la densité des termitières épigées font état d'informations similaires. Nye (1955) remarque une diminution spectaculaire des densités après défrichement d'une forêt près d'Ibadan au sud du Nigéria. Dans la même région, Lal (1987) affirme pourtant que les densités peuvent augmenter après la mise en jachère. Tano et Lepage (1993) et Tano (1993) parviennent aux mêmes conclusions en Côte d'Ivoire.

Un vaste inventaire des nids de Macrotermes en Tanzanie montre que la distribution des termitières semble peu dépendante de l'utilisation agricole des sols (Jones, 1990). Enfin, les paramètres climatiques seraient de bons indicateurs de la répartition de certaines espèces. Pomeroy (1977) montre, en

Ouganda, que les densités des nids de *Macrotermes bellicosus* et *Macrotermes Subhyalinus* sont corrélés à la pluviométrie et à la température annuelle.

Des études faites auparavant dans la Réserve Forestière de Yoko rive gauche de Kisangani, Danabiko (2013) a identifié 24 espèces appartenant à 4 sous-familles et une famille. Dans la Réserve Forestière de Masako, Soki (1994) a récolté 75 espèces de Termites appartenant à deux familles (Rhinotermitidae et Termitidae) dont 43 espèces ont été signalées pour la première fois. La richesse spécifique était de 47 et l'indice de Shannon était de 3,36. La grande différence en termes du nombre de genres récoltés serait due à l'étendue prospectée, 400 ha dans le cas de Soki (1994) contre 0,70 ha dans notre cas. Quant à l'étude de Danabiko (2013), la différence serait due à la diversité des substrats prospectés (monticules de sol, troncs d'arbres et litières) contrairement à la présente étude qui était focalisée seulement sur les termitières érigées.

Les résultats sur la structure spatiale indiquent que trois genres de termite (*Macrotermes*, *Promicrotermes* et *Rhinotermites*) avaient présenté une association multiple avec plus d'une espèce végétale. Par contre, deux genres de termite (*Cubitermes* et *Malaysiocapritermes*) étaient associés à une seule espèce végétale et deux genres (*Pericapritermes* et *Capritermes*) n'ont pas montré d'association. Une telle association entre les espèces ligneuses et les termites à nids érigés a été observée dans la sous-famille des Macrotermitinae en Afrique et en Asie (Wood, 1996). Holt & Lepage (2000) et Fleming & Loveridge (2003) ont montré que les termitières supportent une végétation ligneuse et herbacée assez distinctes du paysage environnant (Spain & McIvor, 1988). De ce fait, Logan et El Bakri (1990) s'interrogent si les termitières jouent un rôle positif ou négatif sur la végétation. Par ailleurs, l'association entre les termitières et les espèces ligneuses a suscité des discussions sur le rapport entre le termite constructeur et les espèces végétales : qui précède l'autre ? Ouédraogo (1997), dans un écosystème subsahélien, a trouvé une densité des espèces du genre *Boscia* 10 fois plus élevée sur les termitières de *Macrotermes*, 3,5 fois plus élevée pour *Pterocarpus lucens* et l'espèce *Acacia ataxacantha* a été trouvée sur les termitières seulement.

L'analyse du pH du sol dans le jardin botanique révèle une acidité faible, avec des valeurs proches de la neutralité dans l'ensemble des blocs (pH compris en 6,5 et 6,9). Selon Bachelier (1977), dans sa mise au point sur l'action des termites dans le sol, le pH des termitières est généralement proche de celui du sol adjacent, et tend à se situer également autour de la neutralité. Ces observations confirment que les conditions chimiques du sol du jardin sont compatibles avec celles fréquemment rencontrées dans les habitats à termitière. Le pourcentage d'argiles et de limons dans les termitières s'explique par la préférence de ces matériaux par les termites. La préférence de l'argile découle non seulement de la facilité de transport des grains par les ouvriers

mais aussi par le rôle que l'argile joue dans la stabilité des termitières selon Jouquet et al. (2004).

La teneur élevée en carbone s'explique par l'accumulation de matière organique fécale issue de la digestion et l'incorporation de salive par les termites pendant les activités de construction (Lee & Wood, 1971). Le phosphore avait une tendance d'élévation qui dépendait du taux de l'argile dans la termitière. Moins la teneur en argile était élevée, plus la teneur du phosphore était élevée dans la termitière.

Les résultats sur l'effet des propriétés du sol sur la fréquence des termitières ont montré que trois variables édaphiques ont discriminé la fréquence de termites, à savoir le sable, le limon et le pH. De ces trois variables, les propriétés texturales (sable et limon) sont les plus discriminantes. Il n'y a pratiquement pas de travaux qui comparent les effets des propriétés du sol sur la fréquence des termites. Par conséquent, les présents résultats constituent une nouvelle vue sur cet aspect.

Conclusion

Au total 22 spécimens des termites ont été identifiés appartenant à 7 genres (*Macrotermes*, *Promicrotermes*, *Rhinotermes*, *Cubitermes*, *Capritermes*, *Pericapritermes* et *Malaysiicapritermes*) pour 4 sous-familles (*Macrotermitinae*, *Termitinae*, *Rhinotermitinae*, *Cubitermitinae*) et 2 familles (*Termitidae* et *Rhinotermitidae*). Quatre (4) genres (*Promicrotermes*, *Rhinotermes*, *Capritermes* et *Malaysiicapritermes*) sont pour la première fois retrouvés à Kisangani.

Sur 07 genres de termites identifiés, 05 ont leurs termitières adossées sur les troncs d'arbres. Les termites modifient la structuration des sols et notamment les variables édaphiques à savoir le sable, le limon et le pH. De ces trois variables, les propriétés texturales (sable et limon) sont les plus modifiées. Cette activité des termites dans la restructuration des sols pourrait être exploitée dans le domaine de l'agriculture.

Nous suggérons pour les prochains travaux de fournir des efforts élevés en avançant sur les différents types des termitières non prises en compte par ce travail et d'élargir les champs d'actions dans l'étude des propriétés physico-chimiques des termitières.

Remerciements : Nous remercions la Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, Université de Kisangani et à travers elle le laboratoire de pédologie dont la contribution pour le présent travail a été significative.

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. Amundala D. (2014). Ecologie de population des Rongeurs (*Rodentia mamalia*) dans une perspective de gestion des espèces nuisibles aux cultures dans la région de Kisangani (R.D.Congo)Thèse, Université de Kisangani, 266p.
2. Attignon S.E., Lachat T., Sinsin B., Nagel P. and Peveling R. (2005). Termite assemblages in a West-African semi-deciduous forest and teak plantations. *Agric. Ecosyst. Environ.* 110 : 318-326.
3. Bachelier G. (1977). Mise au point sur l'action des termites dans les sols, *Sciences du sol Bullertin* de l'A.F.E.S.70-74.
4. Barbault R. (1997). *Écologie générale : structure et fonctionnement de la biosphère* 4th éd. Masson, Paris, 286p.
5. Barros E., Pashanasi B., Constantino R. & Lavelle P.(2002). Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biol. Fertil. Soils* 35 :338-347.
6. Black H.I.J. & Okwakol M.J.N. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agro ecosystem function in the tropics : the role of termites. *Appl. SoilEcol.* 6 :37-53.
7. Danabiko M. (2013). *Contribution à l'étude de la biodiversité des termites de la réserve forestière de la Yoko (Kisangani, RD Congo)*. TFC, Université de Kisangani, 45 p.
8. Davies R.G., Eggleton P., Jones D.T., Gathorne-Hardy F.J. & Hernandez L.M. (2003). Evolution of termite functional diversity : analysis and synthesis of local ecological and regional influences on local species richness. *J.Biogeogr.* 30 :847-877.
9. FAO, (1978). Cadre pour l'évaluation des sols. *Bulletin Pédologique de la FAO* n°32. 64p.
10. Fleming P.A., & Loveridge P.J. (2003). Miombo woodland termite mounds: resource islands for small vertebrates ?, *J. Zool., London*, 259, 161-168.
11. Girard M.C., Schvartz C. & Jabiol B. (2011) *Etudes des sols. Description, cartographie, utilisation*, Dunod, Paris, 27p
12. Holt J.A. & Lepage M. (2000). Termites and soil properties In : *Termites ; Evolution, Sociability, Symbioses, Ecology* (Abe T., Bignel D.E. and Higashi M., Eds), Kluwer Academic Publi., Dordrecht, pp. 389-407.

13. Jones J.A. (1990), Termites, soil fertility and carbon cycling in dry tropical Africa : a hypothesis. *Journal of Tropical Ecology* 6 : 291-305. Cross Ref Google Scholar
14. Jouquet, P., Tessier, D., & Lepage, M. (2004). The soil structural stability of termites nests: roles of clays in *Macrotermes bellicosus* (Isoptera, Macrotermidae) mound soils. *European Journal of Soil Biology*, 40 (1), 23-29
15. Kalleshwaraswamy, C.M., Nagaraju, D.K. & Viraktamath, C.A. (2013). Illustrated identification key to common termite (Isoptera) genera of south India, *Biosystematica* 7 (1), 11-21.
16. Kottke W., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Ruben F. (2006). *World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated*, *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 259-263
17. Lal R. (1987). Termite. *Tropical Ecology and physical edaphology*, New York, pp. 337-422.
18. Lee & T.G.Wood (1971), *Termites and soils*, Academic Press, London, 251 p.
19. Logan J.W.M., & El Bakri A. (1990), Termite damage to date palms (Phoenix dactylifera L.) in northern Sudan with particular reference to the Dongola District. *Trop. Sci.*, 30 : 95-108.
20. MAE (2005), *Ecosystems and Human Wellbeing : Synthesis*. C. Island Press. Washington (DC)
21. Ndiaye A.B. (2014). Contribution à la connaissance des termites (Isoptera) du Sénégal : Systématique et Ecologie, Thèse, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 257.
22. Nshimba, H. (2008). *Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbiye à Kisangani*, R.D.Congo, Thèse, Université Libre de Bruxelles, 272 p.
23. Nye, P.H. (1955), Some soil-forming processes in the humid tropics. IV. The action of the soil fauna. *Journal of Soil Science*, 6 : 73-83.
24. Ouédraogo P.(1997). Rôle des termites dans la structure et la dynamique d'une brousse tigrée soudano sahelienne. Thèse, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 282 pp.
25. Pomeroy D.E. (1977). The distribution and abundance of large termite mounds in Uganda. *J.Appli. Ecol.* 14 : 465-476.
26. Sala O.E., Chapin III F.S., Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Hueneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M., Leroy, Poff N., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M. & Wall D.H. (2000), Global biodiversity scenarios for the year 2100, *Science*, n°287, p.1770-1774.

27. Sobotnik J., & Dahlsjö C.A.L. (2017). Isoptera, In Reference module life sciences. Elsevier ; ISBN : 978-0-12-809633-8 10.1016/B978-0-12-809633-8.02256-1. CroosRef Google Scholar
28. Soki, K. (1994). *Biologie et écologie des termites (Isoptère) des forêts ombrophiles du Nord-est du Zaïre (Kisangani)*. Thèse ès Sciences, ULB, 316p.
29. Spain, A.V & McIvor, J.g. (1988), *The nature of herbaceous vegetation associated with termitaria in north-easter Australia*, Journal of Ecology, 76 : 181-191.
30. Tano Y. (1993). Les termitières épigées d'un bassin versant en savane soudanienne : Répartition et dynamique des nids, rôle sur les sols et le végétation. Université Nationale de Côte d'Ivoire, Adidjan, 239 p.
31. Tano Y. & Lepage M. (1993). Les termitières: dynamique des nids épigés et interactions avec les composantes du milieu. In : *Structure et fonctionnement d'un petit bassin versant de savane humide* (ORS-TOM, Etudes et Thèses, Eds). pp 105-116 .
32. Trochain, J.L. (1980). Ecologie végétale de la zone intertropicale non désertique, Université Paul Sabatier Toulouse.
33. Van Ranst, E. (1983). Evaluation des terres dans les régions tropicales au Cameroun en particulier. Thèse, Centre Universitaire de Dschang, ENSA, Yaoundé. 107 p.
34. Wood T.G. (1996), The agriculture importance of termites in the tropics. *Agr. Zool. Rev.* 7: 117-155

Enquête ethnobotanique sur les variétés de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) commercialisées dans le district de Korhogo, au nord de la Côte d'Ivoire

Libra Michel Archange, Maître Assistant

Bamba Mandoué Stéphanie, Maître Assistante

Laboratoire de Biotechnologie et Valorisation des Agroressources et Substances Naturelles, Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo, Côte d'Ivoire

Ettien Kouassi Pascal, Maître Assistant

Institut des Sciences Anthropologiques et de Développement, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p195](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p195)

Submitted: 25 June 2024

Accepted: 06 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Libra, M.A., Bamba, M.S. & Ettien, K.P. (2025). *Enquête ethnobotanique sur les variétés de niébé (Vigna unguiculata (L.) Walp.) commercialisées dans le district de Korhogo, au nord de la Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 195.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p195>

Résumé

Le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) est une légumineuse essentielle pour les populations à faibles revenus en Afrique subsaharienne, car il offre une source importante de protéines moins chère. Malgré son importance alimentaire, sa culture dans le district de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire, est encore peu valorisée. Cette étude a pour objectif de recenser les variétés de niébé produites et commercialisées dans ce district à travers une enquête ethnobotanique. Dans le cadre de cette recherche, la méthode de collecte des données s'est appuyée sur une étude quantitative et qualitative auprès de vingt-deux (22) commerçants recensés sur les différents marchés visités. Les résultats ont montré que trois variétés de niébé (blanc, rouge et noir) sont cultivées et commercialisées dans le district de Korhogo. Par ailleurs, il ressort des enquêtes une adaptation de ces variétés de Niébé aux conditions socioenvironnementales et culturelles locales. En outre, une représentativité genrée, ethnique et des tranches d'âge des enquêtées intervenant dans la commercialisation du niébé sur les marchés du district de Korhogo, a été

établie. Enfin, avec des différences notables dans les habitudes de commercialisation et les prix pratiqués entre les différents acteurs, la recherche indique que les populations d'ethnie senoufo et malinké sont les acteurs de la filière Niébé avec une hégémonie de la population senoufo. En définitive, les données collectées pourraient contribuer à une meilleure organisation de la filière Niébé et à améliorer l'accès des populations locales, vu que le Niébé contient des protéines essentielles à la nutrition.

Mots-clés: Etude ethnobotanique, variétés de niébé, sénoufo, Korhogo, Côte d'Ivoire

Ethnobotanical survey of Cowpea varieties (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Marketed in the Korhogo district, northern Côte d'Ivoire

Libra Michel Archange, Maître Assistant

Bamba Mandoué Stéphanie, Maître Assistante

Laboratoire de Biotechnologie et Valorisation des Agroressources et
Substances Naturelles, Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo,
Côte d'Ivoire

Ettien Kouassi Pascal, Maître Assistant

Institut des Sciences Anthropologiques et de Développement,
Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

The cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is an essential legume for low-income populations in sub-Saharan Africa as it is a valuable and affordable source of protein. Despite its dietary importance, the cultivation of cowpeas in the Korhogo district in northern Côte d'Ivoire remains undervalued. This study aims to identify the cowpea varieties produced and marketed in the district by conducting an ethnobotanical survey. For this study, data were collected through a quantitative and qualitative analysis of twenty-two traders identified in various markets visited. The results showed that three varieties of cowpea (white, red and black) are cultivated and sold in the Korhogo district. Furthermore, the surveys revealed that these varieties have adapted to the local socio-environmental and cultural conditions. Additionally, the gender, ethnicity and age of respondents involved in cowpea marketing in Korhogo district markets were analysed. Finally, notable differences in marketing habits and prices were observed between different stakeholders, indicating that the Senufo and Malinke ethnic groups are the

main players in the cowpea sector, with the Senufo population holding the upper hand. Ultimately, the collected data could contribute to the more effective organization of the cowpea sector and improved access for local populations, given that cowpeas contain essential nutritional proteins.

Keywords: Ethnobotanical study, cowpea varieties, Senoufo, Korhogo, Côte d'Ivoire

Introduction

Le niébé, également connu sous le nom de “haricot à œil noir“ ou “Cowpea“ en anglais, est une plante légumineuse appartenant à la famille des Fabacées/Légumineuses, au genre *Vigna* et à l'espèce *Vigna unguiculata* (L) Walp. (Swamy, 2023). Originnaire d'Afrique subsaharienne, sa culture a été vulgarisée en Asie, en Amérique Latine, aux Etats Unies et en Europe où elle s'est adaptée aux conditions climatiques (Ofem *et al.* 2025; Dairo, 2024; Naiker *et al.*, 2019). Le niébé est résistant à la sécheresse et adapté aux conditions arides, ce qui explique sa prévalence dans les régions arides et semi-arides de l'Afrique de l'Ouest. Le niébé est cultivé aussi bien pour ses graines que pour ses gosses immatures et ses feuilles utilisées comme légume vert. Les principaux producteurs de cette légumineuse en Afrique de l'Ouest sont le Nigéria, le Niger, le Ghana, le Burkina Faso, le Mali et le Bénin. En Côte d'Ivoire, le niébé est majoritairement cultivé dans le nord du pays et représente la deuxième légumineuse après l'arachide. Il constitue une culture de rente pour les populations (Akanza *et al.*, 2020). Cependant, sa culture demeure marginale par rapport aux autres cultures vivrières comme les céréales (maïs, riz, mil), les racines et tubercules (igname, patate douces, manioc) au niveau national. La production nationale de niébé se situerait entre 20.000 et 30.000 tonnes par an (Akanza *et al.*, 2020; N'gbesso, *et al.*, 2013). Aussi, afin de combler le déficit de production, la Côte d'Ivoire importe par an 5.858 tonnes de niébé du Burkina et du Mali (Akanza *et al.*, 2020).

Sur le plan nutritionnel, les graines de niébé sont riches en protéines (Appiah *et al.*, 2011). Elles contiennent une quantité importante d'acides aminés indispensables tels que la leucine, la lysine, la phénylalanine, l'isoleucine la thréonine, la méthionine et le tryptophane (Martinez *et al.*, 2013 ; Hedjal-chebheb, 2014). De plus, ils contiennent des minéraux (fer, zinc), des fibres alimentaires, de l'amidon et des vitamines (notamment B1, B6, folates) (Naiker *et al.*, 2019 ; Oyeyinka *et al.* 2021 ; Baluku *et al.*, 2018 ; Jans *et al.*, 2021). Ce qui montre que le niébé est un atout majeur dans la sécurité alimentaire et la nutrition, en particulier en Afrique subsaharienne.

De nos jours, la cherté de la vie et le coût de plus en plus élevé de la viande et du poisson conduisent les populations à faibles revenus à rechercher de nouvelles sources de protéines moins chères. Face à cette situation, les

légumineuses apparaissent comme une alternative compte tenu de leur coût moins élevé et de leur potentiel protéique. Aussi la consommation de niébé pourrait compenser la carence en protéine animale pour les populations à faibles revenus (Likibi *et al.*, 2020 : Young & pellette, 1994).

Par ailleurs, malgré quelques travaux réalisés sur le le niébé en Côte d'Ivoire (Anzara *et al.*, 2023), il n'existe pas de données sur les variétés de niébé commercialisées dans le district de Korhogo bien que perceptibles sur les marchés locaux. Aussi, cette étude a-t-elle été entreprise pour répertorier les différentes variétés de graines de niébé secs produits et commercialisées, évaluer la préférence de variété de la population locale et indiquer les raisons socioenvironnementales et culturelles qui fondent la culture et la réussite des ces légumineuses dans le district de Korhogo. En définitive, ce travail est une contribution à l'établissement de base de données pour la filière niebé dans le district de Korhogo dans le nord de la Côte d'Ivoire.

Matériel et méthodes

Matériel

Matériel technique

- Le matériel technique utilisé comprend:
- Un block note
- Un stylo à bille
- Un téléphone portable android de marque Infinix (fabriqué en Chine)
- Une moto de marque KTM (fabriquée en Chine)
- Une fiche d'enquête (questionnaire) comprenant les sections suivantes: Voir fiche d'enquête

FICHE D'ENQUETE DESTINEE AUX VENDEURS DE NIEBE

Nom de l'enquêteur :

Date de l'enquête :/...../.....

Heure de début.....

Heure de fin.....

Département de

Commune de

Quartier

1. Identité de l'enquêté

1.1 Nom de l'enquêté

1.2 Sexe de l'enquêté 1=Masculin ☐ 2=Féminin ☐

1.3 Age de l'enquêté :ans

1.4 Ethnie de l'enquêté.....

2. Sources d'approvisionnement du niébé

- 2.1 Variété/couleur du niébé :.....
2.2 Provenance : Village...../Ville.....
2.3 Mode d'approvisionnement.....
2.4 Sexe du livreur 1=Masculin ☐ 2=Féminin ☐
2.5 Sous quelle forme le niébé est livré ? Gousses vertes ☐ / Gousses séchées ☐ / Grains ☐
2.6 Prix d'achat.....

3. Commercialisation du niébé dans les marchés.

- 3.1 Sexe du vendeur 1=Masculin ☐ 2=Féminin ☐
3.2 Sous quelles formes le niébé est vendu dans les marchés ? Gousses vertes ☐ / Gousses séchées ☐ / Grains ☐
3.3 Mode de commercialisation du niébé dans les marchés : En gros ☐ / Demi gros ☐ / En détaille ☐
3.4 Prix d'achat par kilogramme.....
3.5 Prix d'achat par boîte.....
3.6 Quelle variété est plus vendue.....
3.7 Quelle variété est plus appréciée par le consommateur ?.....

4. Mode de transformation du niébé

Grains entiers ☐ / Beignets ☐ / Pâte ☐ / Farine ☐ / Semoule ☐
Autres (préciser).....

Matériel biologique

Le matériel biologique étudié est constitué de grains secs de niébé (*Vigna unguilata* (L.) Walp.) cultivés et commercialisés dans le district de Korhogo au nord de la Côte d'Ivoire.

Champ géographique

Le choix du district de Korhogo se justifie par un certain nombre de constats. Le district est une zone de production de culture vivrière notamment le niébé. En effet, l'enquête a été menée sur les marchés urbains et péri urbains des communes du district de Korhogo. Il s'agit des marchés de situés dans les quartiers de Haoussabougou, Banaforo, Belle-ville et Karakoro.

Champ sociologique

L'enquête a été menée auprès de commerçants sur les marchés urbains et péri urbains du district de Korhogo, notamment dans les quartiers de Haoussabougou, Banaforo, Belle-ville et dans la commune de Karakoro. Le nombre total de personnes interrogées est de vingt-deux (22). Cet échantillon désigne l'ensemble des vendeurs rencontrés sur les différents marchés visités du district de Korhogo notamment sur les marchés de Haoussabougou, Banaforo, Belle-ville et Karakoro. Cependant lors des visites des marchés du

nouveau quartier de Korhogo, de Napié et de Tioro, il n'a pas été rencontré de commerçants de Niébé. Ce qui pourrait expliquer le nombre réduit de personnes interrogées. L'enquête s'est déroulée du 27 Mai 2023 au 1^{er} Juillet 2023.

Méthodes

La collecte de données s'est appuyée sur une méthode qualitative et quantitative.

Méthode quantitative

Une fiche d'enquête sous forme d'un questionnaire a été établie à l'effet de recueillir des informations relatives à la commercialisation du niébé. Ceci a consisté à déterminer :

- Le statut sociodémographique des enquêtés ;
- Les sources d'approvisionnement des grains secs de niébé ;
- Les variétés de niébé commercialisées ;
- Les prix bord champ et au détail des grains secs de niébé ;
- Les préférences des consommateurs ;
- Les modes de consommation des grains secs de niébé

Fréquence de citation

L'indice pour évaluer la crédibilité des informations recueillies a été réalisé selon l'expression mathématique établie par Schrauf & Sanchez (2008).

$$FC = \frac{n}{N} \times 100$$

n : représente le nombre de personnes interrogées ;

N : représente le nombre total de personnes interrogées

FC : fréquence de citation

Méthode qualitative

Une enquête qualitative a été convoquée pour appréhender les marqueurs socioculturels et environnementaux explicatifs de la prédominance des senoufos dans la production et la commercialisation du niébé dans cette zone nord de la Côte d'Ivoire.

Des entretiens et des observations directes ont été utilisés pour le recueil également des données. Au fur et à mesure que les commerçants se présentaient et acceptaient de participer, ils étaient enquêtés et ce sans tri. La taille de l'échantillon a été arrêtée après saturation dans les réponses, leur hétérogénéité étant épuisée.

L'utilisation des méthodes quantitatives et qualitatives permet d'obtenir des données plus complètes dans une recherche. En effet, vu la taille de l'échantillon (22 enquêtés), une approche mixte a été jugée nécessaire. Ce qui a permis de combiner, d'une part, une analyse quantitative pour le traitement des données sociodémographiques des intervenants dans la commercialisation du niébé dans le district de Korhogo et d'autre part, une analyse qualitative en vue d'interpréter et de comprendre les marqueurs socioculturels et environnementaux ayant favorisé l'implantation de cette légumineuse dans cette zone de la Côte d'Ivoire.

Traitement des données

Les données quantitatives issues de l'enquête ont été analysées par statistiques descriptives. Le logiciel Excel 2013 a été utilisé pour calculer les moyennes arithmétiques, les écart-types et les pourcentages puis de réaliser les diagrammes et les figures. Quant aux données documentaires et qualitatives, nous avons procédé à une analyse de contenu.

Résultats et discussion

Adaption de la culture du niébé aux conditions socioenvironnementales et culturelles locales

Selon Agnissan (2012), en raison donc de la vénération dont jouie la terre, le paysan senoufo sait qu'elle ne peut être exploitée à des fins agricoles sans accomplir au préalable un certain nombre de rites expiatoires pour neutraliser les esprits maléfiques et de sacrifices propitiatoires pour solliciter les faveurs des esprits bienfaisants. Les rites agraires deviennent les lieux de pratiques sociales qui organisent une coordination intégrative de l'écologique et du religieux se déployant dans plusieurs cycles temporels (Agnissan, 2012),. La culture du niébé s'inscrit donc dans un savoir-faire agricole ancestral, avec des pratiques adaptées aux conditions locales et culturelles, se conformant aux rites agraires en pays senoufo. Ces pratiques sont indispensables à une bonne productivité du niébé dans cette zone selon les enquêtés. En d'autres termes, les variétés de niébé sont adaptées au terroir senoufo notamment les techniques de culture et les périodes de semis et de récolte en raison de la végétation et du climat propices de cette zone.

Etude socociodemographique des intervenants dans la commercialisation du niébé dans le district de Korhogo

Représentativité hommes-femmes dans la livraison du niébé sur les marchés du district de Korhogo

Le tableau 1 et la figure 2 montrent les proportions d'hommes et de femmes impliquées dans la livraison du niébé sur les différents marchés du district de Korhogo. Les résultats indiquent que ces proportions varient en

fonction du sexe. Les grains de niébé sont principalement transportés des villages aux marchés urbains environnants grâce à des tricycles motorisés, pour leurs capacités de transport. De plus, les résultats ont révélé que 57,14% des hommes sont responsables majoritairement de la collecte et de la livraison des grains de niébé sur les différents marchés. Les femmes ne représentent que 42,86%. Ce déséquilibre est attribué à la pénibilité de cette activité, qui est traditionnellement considérée comme plus adaptée aux hommes.

Tableau 1: Répartition hommes-femmes dans la livraison du niébé sur les marchés du district de Korhogo

Sexe	Proportion
Masculin	57,14%
Féminin	42,86%.

Source: données d'enquête (2023)

Représentativité homme-femme dans la commercialisation du niébé sur les différents marchés du district de Korhogo

La figure 1 met en évidence la domination des femmes dans la commercialisation du niébé sur les marchés urbains du district de Korhogo, avec une proportion de 64% contre 36% pour les hommes. Cette présence féminine élevée est en accord avec d'autres études, notamment celles menées par Diarra et ses collaborateurs en 2017 sur les opportunités de marché des cultures vivrières en Côte d'Ivoire. De plus, la Fédération Nationale des Sociétés Coopératives des Vivriers de Côte d'Ivoire (FENSCOVICI) indique que 70% de ses membres sont des femmes, comme l'a également souligné Coulibaly en 2019. En Côte d'Ivoire, la commercialisation des produits vivriers est traditionnellement une activité exercée par les femmes, ce qui explique sans doute l'importance du rôle féminin dans la commercialisation du niébé, un produit vivrier essentiel dans cette zone nord du pays.

Tableau 2: Répartition hommes-femmes dans la commercialisation du niébé sur les marchés du district de Korhogo

Sexe	Proportion (%)
Masculin	36
Féminin	64

Source: Données d'enquête (2023)

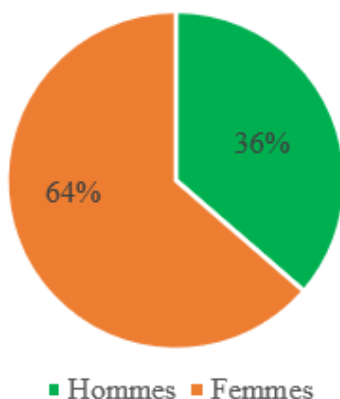


Figure 1: Représentativité des hommes et femmes dans la commercialisation du niébé

Représentativité des groupes ethniques opérant dans la commercialisation du niébé dans le district de Korhogo

La figure 2 présente la proportion des groupes ethniques impliqués dans la commercialisation des grains secs du niébé dans le district de Korhogo. Les résultats montrent une prédominance de la population d'ethnie Senoufo (73%) parmi les acteurs, tandis que la population d'ethnie Malinké n'en représente que 27%. Ces résultats suggèrent que les Senoufo et les Malinké sont les principaux acteurs de la filière niébé dans la région. La prédominance des Senoufo peut être attribuée au fait qu'ils représentent la population autochtone majoritaire et à leur vocation commerciale, notamment dans les milieux urbains, malgré les valeurs traditionnelles des Malinké dans le domaine du commerce, comme l'a montré Yéo (2018).

Plusieurs marqueurs culturels expliquent le fait que les populations senoufos s'adonnent plus à cette culture que les autres peuples. En effet, le niébé est considéré comme un mets cérémoniel pour les senoufos. Aussi, les repas familiaux à base de niébé évoquent des souvenirs, des traditions familiales, des moments de partage et d'échange sociaux chez les senoufos selon les personnes enquêtées.

La Prédominance des Senoufo dans la culture du niébé traduit également le fait que ce peuple essentiellement cultivateur, entretient des pratiques agricoles spécifiques liées aux cultures maraichères en général à travers certains rites agraires (Agnissan, 2012).

Tableau 3 : Répartition hommes-femmes dans la commercialisation du niébé sur les marchés du district de Korhogo

Sexe	Proportion (%)
Masculin	36
Féminin	64

Source: Données d'enquête (2023)

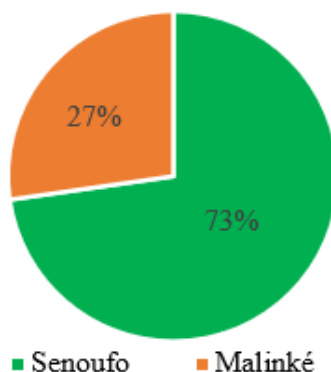


Figure 2: Proportion des enquêtés par groupe ethnique

La proportion des femmes et des hommes au niveau de chaque groupe ethnique est illustrée par la figure 2. Au niveau de la population senoufo, sur 16 personnes enquêtées, les femmes exerçant dans la commercialisation des grains de niébé représentent 68,75% contre 31,23% pour les hommes tandis qu'au niveau des populations malinké, nous observons une parité entre les femmes et les hommes sur un échantillon de six (06) personnes enquêtées.

Tranche d'âge des personnes opérant dans la commercialisation du niébé dans le district de Korhogo

L'âge des personnes enquêtées et opérant dans la commercialisation des grains secs de niébé par groupe ethnique est indiqué le tableau 1. L'âge des personnes enquêtées varie d'un groupe ethnique à l'autre. Au niveau de la population senoufo, l'âge des hommes (05 personnes) varie de 30 à 62 ans tandis que celui des femmes (11 personnes) varie de 27 à 61 ans. Au niveau de la population Malinké, l'âge des hommes (03 personnes) varie entre 29 et 33 ans quand celui des femmes (03 personnes) varie de 29 et 41 ans. La population Malinké exerçant dans la commercialisation du niébé est plus jeune que la population Senoufo exerçant dans ce domaine d'activité.

Tableau 4 : Age des personnes enquêtées par groupe ethnique

Genre	Age par groupe ethnique	
	Senoufo	Malinké
Homme	30-62 ans	29-33 ans
Femme	27-61 ans	29-41 ans

Source: Données d'enquête (2023)

Variétés de grains de niébé commercialisées dans le district de Korhogo

La figure 3 présente les résultats de l'enquête sur les variétés de grains secs niébé commercialisées dans le district de Korhogo. Il a été identifié trois variétés majeures : blanche, rouge et noire.

Ces résultats sont compatibles avec les observations de Tchumou *et al.* (2017) dans la région du Sud-Est de la Côte d'Ivoire et de Morojele et Mbewe (2014) en Zambie, qui ont également relevé une variété de pigmentation chez les grains de haricot. Nos données montrent que les grains de niébé blanc sont les plus commercialisés (44%), suivis des grains de niébé rouge (39%) et enfin des grains de niébé noir (17%). Cette répartition suggère que les consommateurs accordent plus d'attention aux grains de niébé blanc qu'aux autres variétés en raison de son goût selon les personnes enquêtées.

Tableau 5: Variétés de grains de niébé commercialisées dans le district de Korhogo

Variétés de niébé	Proportion (%)
Niébé blanc	44
Niébé rouge	39
Niébé noir	39

Source: Données d'enquête (2023)

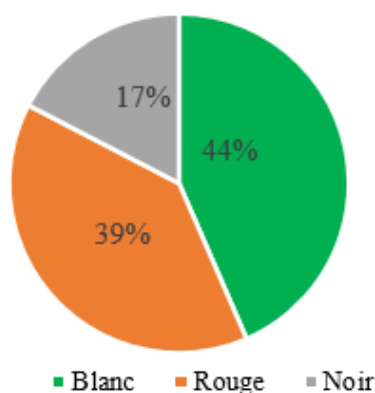


Figure 3: Variétés de niébé commercialisées

Prix unitaires moyens pratiqués

Les prix unitaires moyens pour les grains de niébé ont été établis dans le tableau 2. Les résultats ont montré que les prix des grains de niébé blanc sont les plus élevés, suivis par les grains de niébé rouge et les grains de niébé noir. Les prix bord champ varient significativement, avec des moyennes de 2210 FCFA, 1266 FCFA et 1062 FCFA pour les grains de niébé blanc, rouge et noir respectivement pour une cuvette de cinq (05) kilogrammes (5 dm^3). Les prix de détail sont également plus élevés pour les grains de niébé blanc, avec des moyennes de 635 FCFA et 1295 FCFA par kilogramme et par boîte respectivement. Ces prix varient en fonction de la variété, de la saison et du lieu de vente. Les fluctuations des prix sont attribuables au rapport entre l'offre et la demande, ce qui est confirmé par d'autres études, notamment celle menée des grains de haricot par Kanyama *et al.* (2019) en République Démocratique du Congo. Aussi, lors d'une pénurie au cours de l'intersaison, les prix tendraient à être plus élevés.

Tableau 6 : Prix bord champ et de détail des variétés de niébé commercialisés dans le district de Korhogo

Variétés	Prix d'achat moyen en francs CFA		
	Bord champ	Détail / Kg	Détail / boîte
Blanc	2210±160,51	635±147,29	1295±292,92
Rouge	1266,67±167,71	366,67±152,58	733,33±305,16
Noir	1062,50±249,38	312,50±85,39	612,50±165,20

Source: Données d'enquête (2023)

Préférence des consommation des personnes enquêtées

La préférence des consommateurs pour les différentes variétés de niébé est illustrée par la Figure 4. L'étude a montré que 81,82% des personnes interrogées préfèrent les grains de niébé blanc contre 17,64 % pour les grains de niébé rouge et 4,54% pour les grains de niébé noir. Cette préférence élevée des consommateurs pour les grains de niébé blanc est à mettre à l'actif de leurs propriétés organoleptiques à la cuisson. Ces résultats sont en accord avec ceux de Kinyanjui *et al.* (2015) et Njoroge *et al.*, (2015) qui ont indiqué que les grains de niébé blanc et rouge sont les plus consommés en Côte d'Ivoire. Par ailleurs, les personnes enquêtées sont unanimes à reconnaître que même consommés en petite quantité, les différentes variétés de niébé procurent une satiété en dépit des flatulences qu'elles engendrent.

Tableau 7: Préférence des consommation des personnes enquêtées

Variétés de niébé	Proportion (%)
Niébé blanc	81,82
Niébé rouge	17,64
Niébé noir	4,54

Source: Données d'enquête (2023)

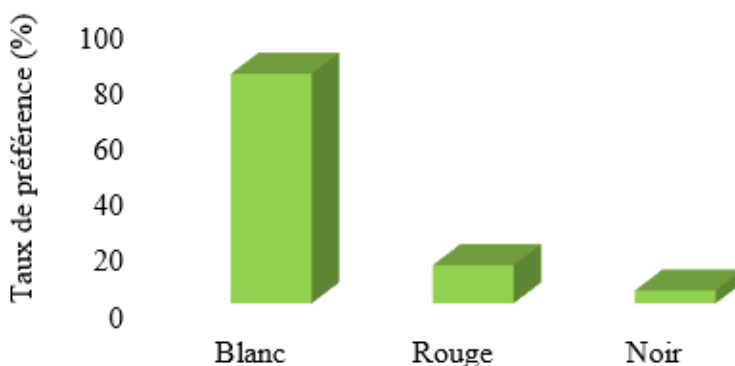


Figure 4: Niveau de préférence des personnes enquêtées - Preference level of interviewees

Modes de Consommation des grains secs de niébé

Les modes de consommation des grains secs de niébé sont consignés dans le tableau 8. Les données recueillies montrent que les grains de niébé sont consommés sous deux formes distinctes : les grains de niébé rouge et noir sont principalement consommés sous forme de grains entiers, tandis que les grains de niébé blanc sont préférés sous forme de grains entiers ou de beignets, également appelés "Gaou" en Malinké. Le processus de préparation des grains de niébé comprend d'abord un triage, suivi d'un lavage et d'un trempage dans l'eau potable pendant une journée. Les grains sont ensuite cuits dans un excès d'eau jusqu'à ce qu'ils deviennent tendres. Après cuisson, ils sont assaisonnés avec des ingrédients variés (piment, huile, tomate, viande ou œuf, sel et bouillon) et consommés avec du riz ou du pain, soit comme petit déjeuner le matin, soit comme dîner le soir. Pour les beignets de niébé, les grains propres et sains sont broyés. La pâte obtenue est utilisée pour former des boulettes qui sont ensuite frites dans l'huile chaude qui serviront de goûter le soir. Ces modes de consommation ont été adoptés par les senoufo ou adaptés aux habitudes alimentaires dans le district de Korhogo.

Tableau 8 : Modes de consommation des grains secs de niébé

Variété de niébé	Mode de consommation
Niébé blanc	Grains entiers, beignets (Gaou)
Niébé rouge	Grains entiers
Niébé noir	Grains entiers

Source: Données d'enquête (2023)

Conclusion

Cette étude ethnobotanique a eu pour objectif de répertorier les variétés de niébé commercialisées dans le district de Korhogo, ainsi que les caractéristiques sociodémographiques, culturelles et environnementales des personnes impliquées dans la commercialisation du niébé. Ces caractéristiques des intervenants ont porté sur le genre, l'âge, l'origine ethnique et les pratiques de vente. Les résultats ont montré que les grains de niébé blanc, rouge et noir sont vendus dans le district de Korhogo, avec une préférence marquée pour les grains de niébé blanc. La population impliquée dans la commercialisation du niébé est majoritairement composée de Senoufo. Les hommes sont principalement responsables de la livraison des grains de niébé des zones de production aux marchés urbains du district de Korhogo, et les femmes gèrent majoritairement la vente au détail dans les marchés. Les prix des grains de niébé varient en fonction de la variété, de la saison et du lieu de vente.

Comme perspective, cette étude pourrait être étendue à tout le département de Korhogo car le niébé constitue une véritable alternative en matière de sécurité alimentaire au regard de sa teneur en protéine et des conditions socioculturelles et environnementales propices à cette culture.

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 comité de bioéthique de l'UFR des Sciences Biologiques de l'Université Peleroforo Gon Coulibaly de Korhogo et est conforme à la déclaration d'Helsinki et au code de Nuremberg. Elle respecte également les dispositions de la loi générale sur la santé de la Côte d'Ivoire.

References:

1. Agnissan A. A. (2012). Envers pastoral et revers spiritual dans l'espace agraire Senoufo en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, Volume 8 no 21, 223-239.
2. Akanza K. P., N'da H. A., Gbakatchétché H. & Cousin J. (2020). La culture du niébé : bon précédent cultural du maïs en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 149 : 15338 – 15343.
3. Anzara G. R., Yao K. G., Abessika G. A. A., Akaffou D. S. & Zoro-Bi I. A. (2023). Evaluation Agromorphologique des Différents Types de Port du Niébé (Fabaceae : *Vigna unguiculata* L. Walp) dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, Vol.19, No. 15, 176-188.
4. Appiah F. Asibuo J. Y. & Kumah P. (2011). Physicochemical and functional properties of bean flours of three cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) varieties in Ghana. *African Journal of Food Science* Vol. 5(2), 100 -104.
5. Arvanitoyannis I. S.; Mavromatis A.; Rodiatis A. & Goulas C. (2007). Physicochemical and sensory analysis of dry bean landraces in conjunction with multivariate analysis: an exploratory approach. *International Journal of Food Science and Technology*, Volos Hellas, Volume 42, no 7, 819-826.
6. Asfaw A., & Blair M. W. (2012). Quantitative trait loci for rooting pattern traits of common beans grown under drought stress versus non-stress conditions. *Molecular Breeding*, 30, 681-695.
7. Baluku S., Sebuyange E. & Nyamangyoku O. (2018). Contribution à la connaissance des caractéristiques physicochimiques, culinaires et sensorielles des variétés de haricot cultivées dans le territoire de

- Kalehe/Sud-Kivu-RD Congo. Journal of Applied Biosciences, 124, pp. 12408-12416.
8. Coulibaly A. (2019). Les femmes ivoiriennes actrices de la culture vivrière. www.businessfrance.fr/ci-culture-vivriere-femmes. Consulté le 19/04/2022.
 9. Dairo O. (2024) Genetic Diversity in Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) under two growing conditions. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 15, 310-324.
 10. Diarra I., Dizoe D. F., Sarka C. G. L. & N'da L. (2017). Etude des opportunités de marché des cultures vivrières. Giz, PRO-PLANTEURS, 121 p.
 11. Ekissi E. G. S., Yapi J. C., Kouadio M. T., Gouledji A. A. & Kouamé P. L. (2019). Physical parameters and Physico-chemical properties of two beans (*Phaseolus lunatus*) consumed in Côte d'Ivoire. *Word Journal of Advanced Research and Review*, 03(02), 007-016.
 12. FAOSTAT, 2020. <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL>, Consulté le, (01/04/2022)
 13. Hedjal-Chebheb M. (2014). Identification des principes actifs des huiles essentielles de quelques résineux et plantes aromatiques de provenance Algérienne et Tunisienne. Etude de leur activité biologique à l'égard d'un insecte ravageur des graines stockées, *Callosobruchus maculatus* F. 1775 (Coleoptera : Bruchidae). Université Mouloud Mammeri de Tizi ousou. Algérie. 99 p.
 14. Kanyama M. C., Ngezirabona V. S., Masheka L. H. & Lebailly P., (2019). Etude de la filière haricot dans le groupement de Mudaka en territoire de Kabare (Est de la République Démocratique du Congo : acteurs, fonctionnement et performance. *Tropicultura* 37 (4) 1329-1354.
 15. Kinyanjui P. K., Njoroge D. M., Makokha A. O., Christiaens S., Ndaka D. S & Hendrickx M. (2015). Hydration properties and texture fingerprints of easy- and hard-to-cook bean varieties. *Food Science & Nutrition*, 3 (1), 39-47.
 16. Likibi M. S. A., Diamouangana J. & Yoka J. (2020). Evaluation de la production d'un cultivar de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) dans la vallée du Niari, Congo. *Afrique Science*, 16(2) (2020) 10-21.
 17. Martinez M. M. R., Rojas A., Santanen A. & Stoddard F. L. (2013). Content of zinc, iron and their absorption inhibitors in Nicaraguan common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 136: pp. 87-93.

18. Morojele M. E. & Mbewe D. N. M. (2014). Characterization of common bean genotypes based on storage. *African Crop Science Journal*, Vol. 22 No 4, pp. 257-265.
19. Mwaipopo B., Nchimbi-Msollaz S., Njauz P., Tairo F., Williams M., Binagwa P., Kweka M., Kilangos M. & Mbanzibwa D. (2017). Viruses infecting common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Tanzania: A review on molecular characterization, detection and disease management options. *African Journal of Agricultural Research*, 12(8) 1486-1500.
20. Naiker T. S., Gerrano A., Mellem J. (2019). Physicochemical properties of flour produced from different cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars of Southern African origin. *Journal of Food Science and Technology*, 56 (3) 1541-1550.
21. N'Gbeso M. F. D. P., Zohouri G. P., Fondio, L, Djidji A. H. & Konate D. (2013). Etude des caractéristiques de croissance et de l'état sanitaire de six variétés améliorées de niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] en zone centre de Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological Chemistry*, 7 (2) 457-467.
22. Njoroge D. M., Kinyanjui P. K., Christiaens S., Shpigelman A., Makokha A. O., Sila D. N & Hendrickx M. E. (2015). Effect of storage conditions on pectic polysaccharides in common beans (*Phaseolus vulgaris*) in relation to the hard-to-cook defect. *Food Research International*, 76 (1, pp. 105-113.
23. Ofem N. P, Kamal N. M., Pearson S. Shatte T., Jordan D., Mace E. et Ishii T. (2025). Genetic diversity and structure of Asian cowpea permplam. *Scientific reports*, 15: 27909.
24. Oyeyinka S. A., Kayitesi E., Adebo O. A., Oyedeji A. B., Ogundele O. M., Obilana A O & Patrick B. Njobeh P. B. (2021). A review on the physicochemical properties and potential food applications of cowpea (*Vigna unguiculata*) starch. *International Journal of Food Science and Technology*, 56, 52-60.
25. Sanga Palilo A.A.S., Majaja B.A. & Kichonge B. (2018). Physical and mechanical properties of selected common beans. *Journal of engineering*, 9p.
26. Schrauf R. W. & Sanchez J. (2008). Using free listing to identify, assess, and characterize age differences in shared cultural domains. *The journal of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 63, 385-393.
27. Swamy, K.R.M. (2023). Origin, domestication, taxonomy, botanical description, genetics and cytogenetics, genetc diversity and breeding of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *International Journal of Current Research*, 15 (05) 24711-24746..

28. Tchumou M., Yao N. B., Kossonou Y. K., Adingra K. M. D., and Tano K., (2017). Enquête ethnobotanique sur l'importance alimentaire et socio-économique des grains de (*Phaseolus lunatus* L) consommé au sud et Est de la Côte d'Ivoire. International Journal of Innovation and Applied Studies, 21(3) 388-397.
29. Yéo V. (2018). Mutations des activités commerciales chez les senoufo de Côte d'Ivoire. Revue d'Histoire, d'Art et d'Archéologie Africaine, 30, 64-77.

Typologie des exploitations rizicoles de Bunkeya Sud-Est de la RDC : approche par classification ascendante hiérarchique

Lucien Nkulu Masengo

Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques,
Département d'Économie Agricole – Gestion de Production Agricole, RDC

Chris Kamwanya Kipanga

Sabin Mulang Tshinish

Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques,
Département de Phytotechnie, RDC

John Tshomba Kalumbu

Jules Nkulu Mwine Fyama

Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques,
Département d'Économie Agricole – Développement Économique et
Agricole, RDC

Moïse Kalambaie Bimn Mukanya

Université Pédagogique Nationale, Faculté des Sciences Agronomiques,
Département d'Économie Agricole – Développement Économique et
Agricole, RDC

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p212](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p212)

Submitted: 25 July 2025

Accepted: 03 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Masengo, L.N., Kipanga, C.K., Tshinish, S.M., Kalumbu, J.T., Fyama, J.N.M. & Mukanya, M.K.B. (2025). *Typologie des exploitations rizicoles de Bunkeya Sud-Est de la RDC : approche par classification ascendante hiérarchique*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 212. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p212>

Résumé

L'étude menée à *Bunkeya*, cité rurale du territoire de *Lubudi*, province de *Lualaba*, en RDC. Elle visait la caractérisation de la diversité des systèmes rizicoles et à identifier les facteurs expliquant leur hétérogénéité. Cette zone offre des conditions naturelles favorables à l'agriculture. Une approche méthodologique mixte a été adoptée, combinant analyse en composantes principales (ACP), classification ascendante hiérarchique (CAH) et régression logistique. L'ACP a mis en évidence l'ancienneté dans la riziculture, la superficie cultivée, l'accès aux intrants et les revenus agricoles comme

principaux facteurs de différenciation. Trois types d'exploitations ont été identifiés : un groupe de subsistance à faibles intrants, un groupe intermédiaire, et un groupe performant, mieux organisé et plus rentable. L'analyse des facteurs explicatifs a révélé quatre variables déterminantes : le niveau d'instruction, l'ancienneté dans l'activité, le système cultural utilisé, et l'accès au crédit, ce dernier jouant un rôle clé dans l'intensification des systèmes agricoles.

Mots-clés: Typologie, Approche ACP et CAH, Riz, Exploitation agricole, Bunkeya

Typology of Rice Farms of Bunkenya in the Southeastern of DRC: A Hierarchical Ascending Classification Approach

Lucien Nkulu Masengo

Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques,
Département d'Économie Agricole – Gestion de Production Agricole, RDC

Chris Kamwanya Kipanga

Sabin Mulang Tshinish

Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques,
Département de Phytotechnie, RDC

John Tshomba Kalumbu

Jules Nkulu Mwine Fyama

Université de Lubumbashi, Faculté des Sciences Agronomiques,
Département d'Économie Agricole – Développement Économique et
Agricole, RDC

Moïse Kalambaie Bimn Mukanya

Université Pédagogique Nationale, Faculté des Sciences Agronomiques,
Département d'Économie Agricole – Développement Économique et
Agricole, RDC

Abstract

The study was conducted in Bunkeya, a rural town in the Lubudi territory, Lualaba province, in the Democratic Republic of Congo (DRC). It aimed to characterize the diversity of rice-farming systems and to identify the factors explaining their heterogeneity. This area offers natural conditions favorable to agriculture. A mixed methodological approach was adopted, combining Principal Component Analysis (PCA), Hierarchical Ascendant Classification (HAC), and logistic regression. The PCA highlighted seniority in rice cultivation, cultivated area, access to inputs, and agricultural income as the main factors of differentiation. Three types of farms were identified: a

subsistence group with low input use, an intermediate group, and a high-performing group that is better organized and more profitable. The analysis of explanatory factors revealed four key variables: the level of education, years of experience in rice farming, the production system used, and access to credit, the latter playing a decisive role in the intensification of agricultural systems.

Keywords: Typology, PCA and HCA, Rice, Agricultural holdings, Bunkeya

Introduction

Contexte et justification

La République Démocratique du Congo (RDC), malgré un potentiel agroécologique remarquable, demeure confrontée à une insécurité alimentaire persistante (Michel et al., 2018 ; Muteba et al., 2019 ; Nkulu et al., 2025). Parmi les cultures vivrières, le riz occupe une place croissante dans les régimes alimentaires congolais. Plusieurs travaux ont montré que cette céréale tend progressivement à supplanter le maïs, notamment dans les zones urbaines, périurbaines et minières, où la demande est soutenue par la croissance démographique et les mutations alimentaires (Bolakonga et al., 2017 ; Michel et al., 2018). Ce basculement s'explique également par la baisse de compétitivité du maïs, frappé par les effets du changement climatique et diverses contraintes agronomiques. Pourtant, la production nationale de riz demeure marginale, fragmentée et structurellement incapable de répondre à une consommation en forte expansion (Tshomba et al., 2020). Dans ce contexte, la localité de *Bunkeya*, située dans le sud-est du pays, au cœur de l'arc cuprifère katangais, constitue un territoire stratégique. Sur le plan agronomique, elle dispose d'atouts indéniables entre autres le climat favorable, sols fertiles, proximité de la vallée de la *Lufira* et d'une main-d'œuvre agricole encore disponible Kasongo (2009). Cependant, elle est en proie à un enclavement multidimensionnel tel que les routes dégradées, faible accès aux intrants, services de vulgarisation absents, isolement logistique vis-à-vis des grands marchés de consommation comme *Lubumbashi*, *Likasi* et *Kolwezi*. Sur le terrain, la riziculture à *Bunkeya* est pratiquée de manière hétérogène par des exploitants aux profils très variés : petits producteurs de subsistance, agriculteurs semi-commerciaux dotés de quelques moyens, et producteurs plus capitalisés tirant profit des opportunités offertes par les marchés urbains. Cette diversité se manifeste par des écarts importants de surface cultivée, de niveau de technicité, d'accès aux ressources, et surtout de capacité à vendre sur des marchés au-delà du local. Pourtant, la planification des politiques agricoles nationales ou même les projets de développement locaux continuent de traiter ces producteurs comme un bloc homogène, ce qui limite l'efficacité des interventions.

Les réalités vécues à *Bunkeya* montrent que certains producteurs parviennent à produire 3 à 4 tonnes/ha grâce à l'utilisation de semences améliorées, au repiquage et à la gestion de l'eau, alors que d'autres, dans le même espace géographique, peinent à atteindre 1 tonne/ha en raison du recours à des pratiques archaïques, du manque d'accès à la formation, ou à l'absence de main-d'œuvre disponible.

Ces écarts se retrouvent aussi au niveau des infrastructures post-récolte. Là où certains groupes communautaires disposent de petites décortiqueuses, d'autres battent encore le riz à la main, avec des pertes post-récolte supérieures à 40 %. Par ailleurs, les circuits de commercialisation restent désorganisés. Faute d'organisation paysanne fonctionnelle et de routes praticables, les producteurs vendent souvent leur riz brut à des collecteurs venus des centres urbains, à des prix très désavantageux voir même modique Nkulu et al. (2025). Les exploitations mieux structurées, disposant de connexions sociales, de moyens de transport rudimentaires et négociers s'en sortent relativement mieux dans la négociation des prix. Face à cette réalité éclatée, une typologie rigoureuse des exploitations rizicoles devient indispensable pour éclairer la prise de décision. Cette dernière permet non seulement de comprendre les différentes logiques de production et de mise en marché, mais aussi d'identifier des leviers adaptés pour chaque groupe d'exploitants.

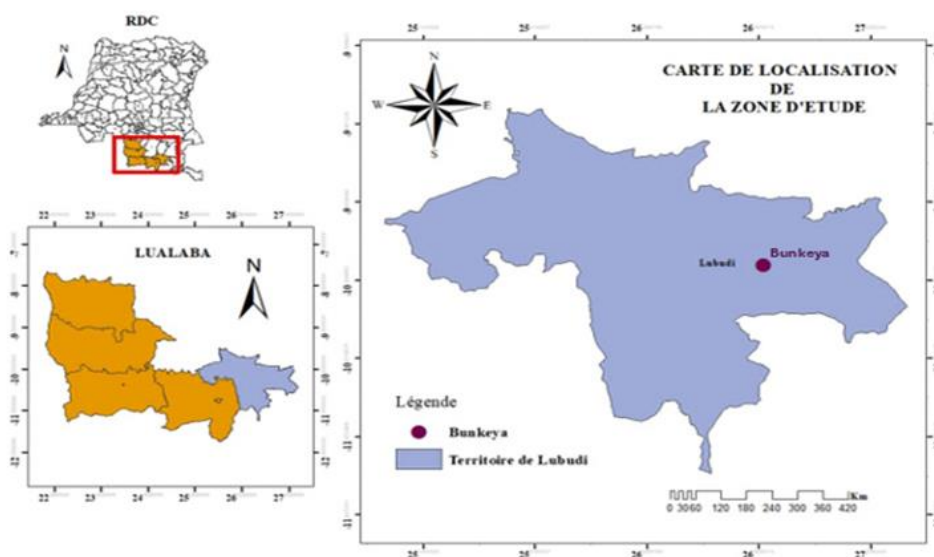
L'approche par classification ascendante hiérarchique (CAH) offre un cadre analytique puissant pour structurer cette diversité en groupes homogènes selon des critères objectifs, croisant les dimensions techniques, économiques et sociales. Ce travail s'inscrit donc dans une double perspective : diagnostique et opérationnelle. Il s'agit, d'une part, de dresser une cartographie fine des profils d'exploitation à Bunkeya et, d'autre part, de fournir une base empirique solide pour l'élaboration de politiques agricoles différenciées, capables de répondre aux besoins spécifiques de chaque catégorie d'agriculteurs. Dans un contexte où les ressources sont limitées et les défis multiples (changement climatique, pression démographique, volatilité des prix), une telle démarche ciblée est non seulement souhaitable, mais urgente. L'objectif spécifique de ce travail est de : (a) catégoriser et regrouper les exploitations en profils homogènes ; (b) Décrire et analyser les caractéristiques dominantes de chaque type d'exploitation identifié ; (c) Évaluer les principaux déterminants de la différenciation entre les types d'exploitations ; (d) Identifier les contraintes spécifiques rencontrées par chaque profil d'exploitation.

Méthodes

Milieu

Bunkeya, cité rurale du territoire de Lubudi dans la province du Lualaba (RDC), est un ancien centre historique aujourd'hui reconverti en pôle

agricole stratégique. Située à 200 km de Lubumbashi et 75 km de Likasi, elle s'étend sur 14 km² dans la plaine de Lubembé, à 950 m d'altitude, et bénéficie d'un climat tropical bimodal (Kasongo, 2009). Le relief collineux et le réseau hydrographique dense, associés à des sols fertiles et une végétation de savane et de Miombo, confèrent à la zone un potentiel agricole élevé, notamment dans les localités de *Kalonga*, *Kitondo* et *Buleya*. Le sous-sol est également riche en minerais (cuivre, fer, cassitérite, marbre, schistes-dolomie). Avec une population estimée à plus de 23 000 habitants, l'économie locale repose sur l'exploitation minière et l'agriculture, en particulier la riziculture, le maïs et l'oignon. Sa situation géographique, entre Kolwezi, Likasi et Lubumbashi, en fait un relais commercial stratégique entre zones rurales et urbaines. Ces atouts naturels et humains positionnent Bunkeya comme un espace à fort potentiel de développement, sous réserve d'un encadrement adapté des ressources et des flux.



Carte de la zone de Bunkeya

Méthodes

Approche méthodologique

Ce travail s'appuie sur une démarche méthodologique quantitative de type empirico – analytique, visant à construire une typologie des exploitations rizicoles dans la zone de *Bunkeya*, située dans le sud-est enclavé de la RDC. La méthode adoptée repose sur une combinaison rigoureuse de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), deux outils reconnus pour la structuration de données multidimensionnelles et la mise en évidence de profils fonctionnels dans les systèmes agricoles (Landais, 1998 ; Dugué et al., 2004 ; Lebailly et al., 2004).

Ce choix est justifié par la forte hétérogénéité observée parmi les exploitants locaux en termes de capital foncier, d'accès aux intrants, de niveau de mécanisation et de stratégie de mise en marché qui rend nécessaire une lecture typologique fondée sur des critères objectivés et statistiquement validés.

Population et échantillonnage

La population ciblée est composée de producteurs de riz actifs dans la chefferie de *Bunkeya*. Un échantillonnage raisonné a été adopté, intégrant des critères géographiques (différents sites de culture), sociaux (sexe, taille du ménage, expérience agricole) et économiques (surface cultivée, statut foncier, équipements). La taille de l'échantillon retenue est de 240 exploitations rizicoles constituant les grands sites de production dans et autour de la zone rurale de *Bunkeya*, ce qui assure une bonne couverture des profils existants.

Collecte et structuration des données

Un questionnaire structuré, administré via l'application Kobocollect, a permis de collecter des données organisées autour de trois axes principaux : (i) Socio-économiques : âge, niveau d'instruction, taille du ménage, sources de revenu ; (ii) Techniques et foncières : surface cultivée, types de semences et d'intrants, outils agricoles, rendements ; (iii) Organisation et marché : appartenance à des organisations, accès au crédit, types de circuits de vente. Les données qualitatives issues des entretiens semi-directifs (agents agricoles, transformateurs, commerçants) ont servi à enrichir et contextualiser les résultats quantitatifs.

Analyse statistique

❖ Analyse en composantes principales (ACP) :

L'ACP a été utilisée comme outil de réduction de dimension afin d'identifier les axes majeurs de variation parmi les exploitations. Chaque composante principale est définie comme une combinaison linéaire pondérée des variables initiales :

$$Z_j = a_{1j}X_1 + a_{2j}X_2 + \dots + a_{pj}X_p$$

Où Z_j est la j ième composante ; a_{ij} les coefficients de pondération et X_i les variables centrées et réduites. L'ACP a permis de projeter les exploitations dans un espace factoriel de faible dimension (généralement 2 ou 3 axes), facilitant l'analyse graphique et la mise en évidence de groupes d'exploitations similaires (Dugué et al., 2004 ; Tittonell et al., 2010).

❖ Classification ascendante hiérarchique (CAH)

La CAH a été réalisée à partir des coordonnées issues de l'ACP, selon la méthode de Ward, qui vise à minimiser l'inertie intra-groupe à chaque étape de fusion :

$$\Delta E = \frac{n_A \cdot n_B}{n_A + n_B} \cdot d^2(A, B)$$

Où n_A et n_B ont les tailles des groupes fusionnés et $d^2(A, B)$ la distance euclidienne au carré entre leurs centres de gravité. La distance euclidienne est utilisée comme mesure de dissimilarité entre les individus :

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

Le dendrogramme généré par la CAH a été interprété pour définir un nombre optimal de classes (ou types) d'exploitations, validé par analyse graphique (rupture d'inertie) et interprétation logique des regroupements.

❖ Analyses complémentaires

- Une analyse discriminante linéaire a été utilisée pour vérifier la robustesse des regroupements obtenus, en mesurant la capacité des variables à discriminer correctement entre les classes formées (Giller et al., 2006).
- Des tests de comparaison intergroupes ont été réalisés : ANOVA ou test de Kruskal-Wallis pour les variables continues, test de Khi² pour les variables catégorielles.

Outils d'analyse

L'ensemble du traitement statistique a été effectué sous R (packages FactoMineR, cluster, ggplot2) et SPSS pour les analyses complémentaires. Les entretiens qualitatifs ont été codés manuellement selon une grille thématique

Limites de la méthodologie

- L'échantillon n'est pas aléatoire mais raisonné, ce qui peut limiter la généralisation des résultats à l'ensemble de la province.
- Certains indicateurs (rendements, pertes post-récolte) sont auto-déclarés, ce qui peut induire des biais de perception ou de mémorisation.
- La typologie produite est fonction des variables choisies : d'autres dimensions (écologiques, culturelles) pourraient générer des regroupements alternatifs.

Justification scientifique

La combinaison ACP + CAH est aujourd'hui une méthode de référence dans les recherches agronomiques pour modéliser la diversité des exploitations (Landais, 1998 ; Lebailly et al., 2004). Elle permet une lecture multidimensionnelle et empirique des systèmes agricoles, en lien direct avec

les contraintes et les dynamiques locales, et est particulièrement adaptée aux zones rurales africaines marquées par des contrastes internes élevés (Tittonell et al., 2010 ; Kassie et al., 2012).

Résultats de l'étude

Catégorisation et regroupement des exploitations en profils homogènes

Structuration multidimensionnelle des exploitations rizicoles selon la performance productive, l'insertion technico-économique et le profil socio-démographique des producteurs

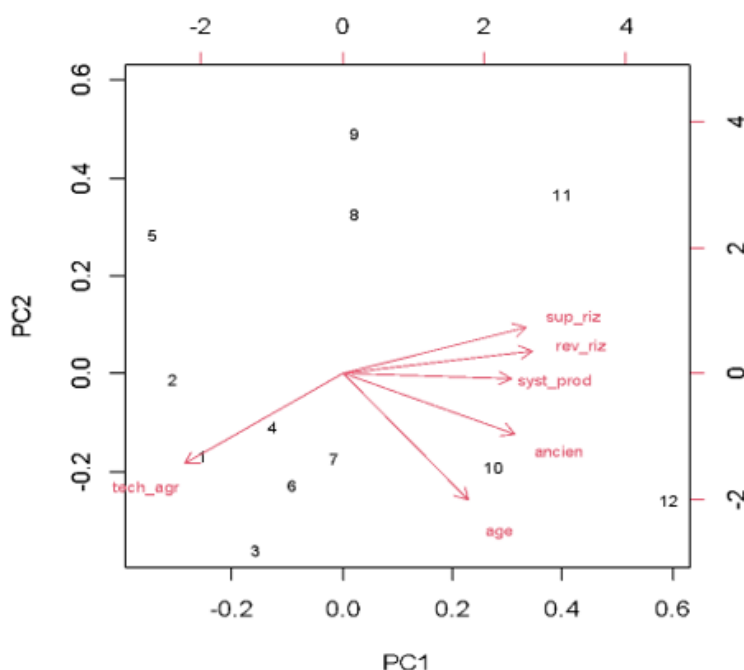


Fig. 1 : Structuration multidimensionnelle des exploitations rizicoles

L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les exploitations rizicoles de la zone de Bunkeya révèle une structure multidimensionnelle claire, traduisant la diversité des systèmes de production et des profils sociotechniques des producteurs. Le premier axe principal (PC1) à lui seul explique 73,08 % de la variance totale, ce qui en fait l'axe dominant structurant les différences majeures entre exploitations. Il est fortement corrélé à des variables telles que le revenu rizicole, la superficie cultivée, l'ancienneté dans la riziculture et le système de production. Ces contributions indiquent que PC1 reflète un gradient de performance et de capacité productive, opposant les producteurs traditionnels, à faible revenu, cultivant de petites superficies avec des systèmes simples, à des producteurs techniquement plus avancés, mieux insérés dans des systèmes de production intensifiés, disposant

de plus grandes surfaces et générant des revenus nettement plus élevés. Graphiquement, les vecteurs du cercle des corrélations montrent une convergence des flèches représentant la superficie, le revenu, le système de production et l'ancienneté, tous orientés dans le même sens sur PC1, confirmant leur covariation. À l'inverse, la technique agricole pointe en direction opposée, indiquant que les producteurs les plus avancés techniquement ne sont pas toujours ceux ayant les plus grandes exploitations ou les meilleurs rendements, mais peuvent former un profil distinct. L'âge est modérément opposé à ces vecteurs, renforçant l'idée d'un clivage entre producteurs anciens et jeunes.

Arbre hiérarchique de classification des exploitations rizicoles selon leurs caractéristiques techniques, productives et économiques à Bunkeya

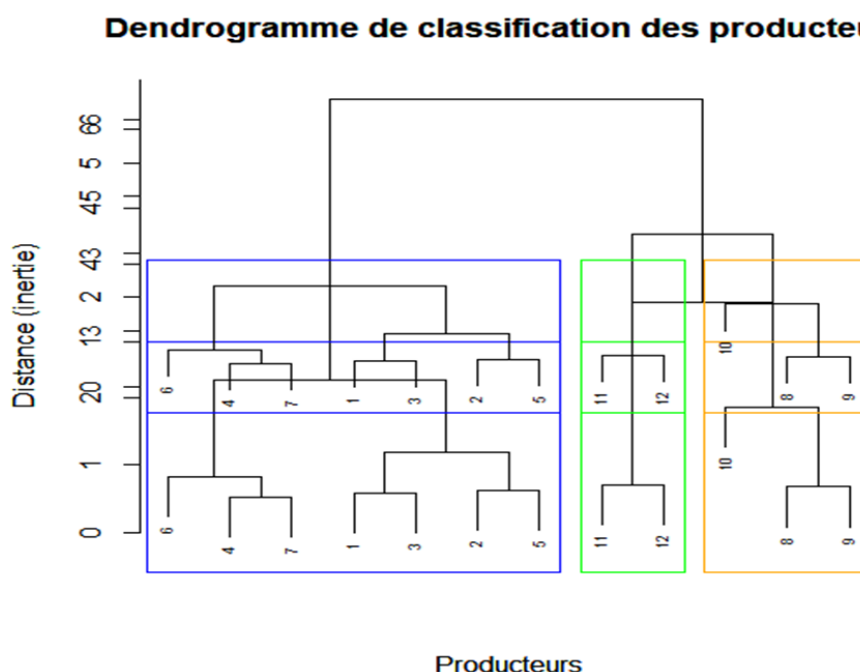


Fig. 2 : Classification ascendante hiérarchique des producteurs

L'analyse par classification ascendante hiérarchique (CAH), appliquée aux 240 exploitations enquêtées à Bunkeya, a permis d'identifier trois groupes distincts d'exploitations rizicoles, différenciés par leurs pratiques, niveaux techniques et performances économiques. Les résultats, présentés sous forme de moyennes comparatives (superficie, rendement, revenu), sont validés par des tests statistiques (ANOVA), assurant la significativité des différences observées. Cette approche combine la rigueur méthodologique et lisibilité, offrant une typologie claire et opérationnelle des exploitations étudiées. Le

premier groupe regroupe les petites exploitations rizicoles, caractérisées par une superficie cultivée relativement faible (0,50 à 1,43 ha), un rendement modeste avoisinant 667 kg/ha, et un système de production basé sur des bas-fonds non irrigués. Ces unités agricoles recourent exclusivement à des techniques manuelles, avec un semis semi-direct à la volée, ce qui se traduit par un revenu moyen limité ($\pm 1\,372\,501$ FC) et reflète une productivité contrainte par l'accès restreint aux innovations agricoles. Le second groupe représente un profil intermédiaire ou de transition. Avec une superficie moyenne plus importante (3,50 ha) et un rendement de 1 466 kg/ha, ces exploitations affichent une performance doublée par rapport au premier groupe. Elles commencent à intégrer des pratiques plus intensives, notamment l'utilisation partielle des bas-fonds irrigués et l'adoption d'outils semi-mécanisés. Le revenu rizicole moyen atteint près de 3 759 692 FC, témoignant d'une amélioration significative, bien qu'encore éloignée des standards des grandes exploitations. Enfin, le troisième groupe se distingue par un profil de grandes exploitations rizicoles, avec une superficie moyenne de 4,84 ha, un rendement élevé de 2 234 kg/ha et un recours marqué aux plateaux irrigués. Ces unités mobilisent des techniques mécanisées et privilégient des pratiques modernes telles que le repiquage, traduisant un haut degré de maîtrise technique. Le revenu rizicole moyen (5 916 157 FC) est plus de quatre fois supérieur à celui du premier groupe, confirmant l'efficacité économique d'un modèle de production intensif et capitalisé. Ainsi, la typologie issue de la CAH met en évidence une hiérarchie claire des exploitations rizicoles à Bunkeya, allant des petites unités traditionnelles et peu mécanisées aux grandes exploitations modernes et performantes. Elle révèle également une corrélation positive entre la taille de l'exploitation, le degré d'intensification technologique et la performance économique, confirmant l'hypothèse d'une structuration différenciée des dynamiques agricoles locales.

Comparaison des caractéristiques moyennes des exploitations rizicoles par groupe typologique issu de la classification hiérarchique

L'analyse statistique du tableau 1. Ci-dessous révèle une différence hautement significative ($p < 0.05$) de la superficie cultivée en riz entre les trois groupes de producteurs. Cette variation confirme que les profils typologiques à savoir petits, moyens et grands producteurs se différencient nettement par la taille de leur exploitation, ce qui constitue un critère structurel de classification forte. De même, les fondements moyens diffèrent significativement entre les groupes, traduisant une variation manifeste des performances techniques. Cette hétérogénéité est probablement liée à des facteurs tels que l'intensité des intrants, l'accès aux technologies agricoles, où encore les capacités de gestion technique des exploitations. Concernant le système de production, bien que différence observée ne soit pas statistiquement significative au seuil

conventionnel de 5% ($p \approx 0.08$), elle suggère une tendance à la différenciation. En revanche, la technique agricole mobilisée (manuelle ou mécanisée) varie de manière significative selon les groupes ($p < 0.01$), indiquant une rupture technologique claire entre les profils. Les producteurs utilisant des outils mécanisés apparaissent plus modernisés et forme un segment distinct de ceux ayant recours aux méthodes manuelle, généralement associés aux petites exploitations. En ce qui concerne le mode de semis, le résultats révèlent une différence non significative mais proche du seuil ($p \approx 0.08$). cela indique qu'une hétérogénéité existe, notamment entre le semi en ligne, en, volée ou le repiquage, mais sans que cette variabilité ne permette encore une différenciation statistique tranchée entre les groupes. Enfin, l'analyse du revenu brut issu de la riziculture montre une différence significative entre les groupes. Cette disparité économique corrobore les résultats techniques précédents, les grands exploitants affichent des revenus nettement supérieurs, traduisant à la fois leur meilleure productivité et l'effet d'échelle lié à l'extension des superficie cultivées.

Tableau 1. comparatif des caractéristiques des exploitation rizicoles

Variables	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	p-value	Chi ² ; dl = 2
Superf. Moyenne	1.43	3.50	4.84	0.013**	8.6538
Rendement moyen	667	1466	2234	0.013**	8.6538
Système de production	1.26	1.37	1.9	0.079	5.0691
Technique agricole	2	1.5	1.3	0.004***	10.855
Mode de semis	1.89	2.13	3.8	0.082	4.9975
Revenu issu	1372501	3759692	5916157	0.013**	8.6538

Signification : « *** » 0.001 « ** » 0.01 « * » 0.05.

Description et analyse des caractéristiques dominantes de chaque type d'exploitation

Comparaison non paramétrique des caractéristiques des exploitations rizicoles entre les groupes typologiques

Les résultats issus du tableau 2. Ci-dessous révèlent des différences statistiquement significatives entre les groupes d'exploitations identifiés par la classification ascendante hiérarchique (à partir du test de Kruskal-Wallis). Ces différences traduisent une réelle hétérogénéité structurelle et fonctionnelle au sein des producteurs de la zone étudiée. Pour le rendement rizicole, ($p = 0,013$) indique une variation marquée entre les groupes. Cette différence est attribuée à des disparités dans les pratiques culturales, le niveau de maîtrise technique, l'intensité de l'utilisation des intrants, ou encore le degré de mécanisation. Certains groupes semblent plus performants techniquement, probablement en raison de leur accès à des ressources de production plus modernes ou d'un encadrement plus efficace. Concernant le revenu brut issu de la riziculture, montre la même valeur $p = 0,013$ témoigne d'un écart économique important entre les groupes. Les exploitations les mieux dotées en superficie et en rendement génèrent des revenus significativement

plus élevés, ce qui confirme que la performance économique suit généralement la performance technique et la taille de l'exploitation. Cette différenciation renforce l'hypothèse selon laquelle les types de producteurs identifiés n'occupent pas les mêmes positions dans la chaîne de valeur rizicole locale. La superficie emblavée constitue également un critère fortement discriminant entre les groupes ($p = 0,013$), illustrant des niveaux contrastés d'accès au foncier. Les exploitations de plus grande taille sont généralement mieux positionnées pour adopter des techniques modernes, mobiliser davantage de main-d'œuvre et investir dans des pratiques intensives, ce qui leur confère un avantage comparatif certain sur le plan productif et économique. Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence une structuration nette de l'agriculture rizicole dans la zone de Bunkeya. Chaque groupe identifié par la typologie présente des caractéristiques distinctes en matière de capacité foncière, de performance agronomique et de rentabilité économique. Cette différenciation statistiquement significative justifie pleinement l'approche typologique adoptée.

Tableau 2. Comparaison non paramétrique des caractéristiques des exploitations

Variables	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Superficie moyenne (ha)	1.43	3.50	4.84
Rendement moyen (kg/ha)	667	1466	2234
Revenu moyen (CDF)	1372501	3759692	5916157
Système de production	1.26	1.37	1.39
Technique agricole	2 (manuel)	1.5 (mixte)	1.3 (mécanisé)

Signification : « *** » 0.001 « ** » 0.01 « * » 0.05.

Analyse de la variance des rendements et revenus rizicoles selon les profils d'exploitations les résultats issus de l'analyse de la variance (ANOVA) confirment la validité statistique des classes identifiées par la CAH. La valeur F observée pour le rendement est de 44,54, tandis que celle associée au revenu rizicole atteint 52,08. Ces valeurs F élevées montrent que la variabilité intergroupe est largement supérieure à la variabilité intra-groupe, ce qui signifie que l'appartenance à un groupe typologique constitue un facteur explicatif majeur des performances agronomiques (rendement) et économiques (revenu). De plus, les p-values associées à ces tests (respectivement 0,00005 pour le rendement et 0,00002 pour le revenu) sont très inférieures au seuil conventionnel de 0,001. Cela indique que la probabilité d'obtenir de telles différences par simple hasard est quasi nulle. En d'autres termes, les différences observées entre groupes sont hautement significatives sur le plan statistique. Ces résultats ne traduisent pas seulement une séparation statistique, mais également une différenciation réelle et structurelle entre les exploitations rizicoles de Bunkeya. Les groupes identifiés se distinguent par leur degré de maîtrise technique, leur niveau d'équipement, leurs pratiques culturelles et leur capacité à valoriser économiquement la production. Ainsi, les exploitations appartenant aux groupes les plus

performants obtiennent non seulement des rendements nettement supérieurs, mais aussi une rentabilité accrue, reflétant une meilleure intégration dans les circuits de production et de commercialisation du riz.

Tableau 3. Analyse de la variance des rendements et revenu

Variable	Source de variation	Df (ddl)	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F-value	p-value	Signification
Rendement (kg/ha)	Gpes de producteurs	1	4 280	4 280	44,54	0,00005****	Très significatif
	Résidus	10	9 610	961			
	Total	11	13 890				
Revenu (CDF)	Gpes de producteurs	1	36 360 000	36 360 000	52,08	0,00002****	Très significatif
	Résidus	10	69 800 000	6 980 000			
	Total	11	106 160 000				

Signification. Codes : « *** » 0.001 « ** » 0.01 « * » 0.05.

Évaluation des principaux déterminants de la différenciation entre types d'exploitations

Structuration des types d'exploitations rizicoles par l'analyse factorielle : différenciation selon les caractéristiques socio – techniques et économiques

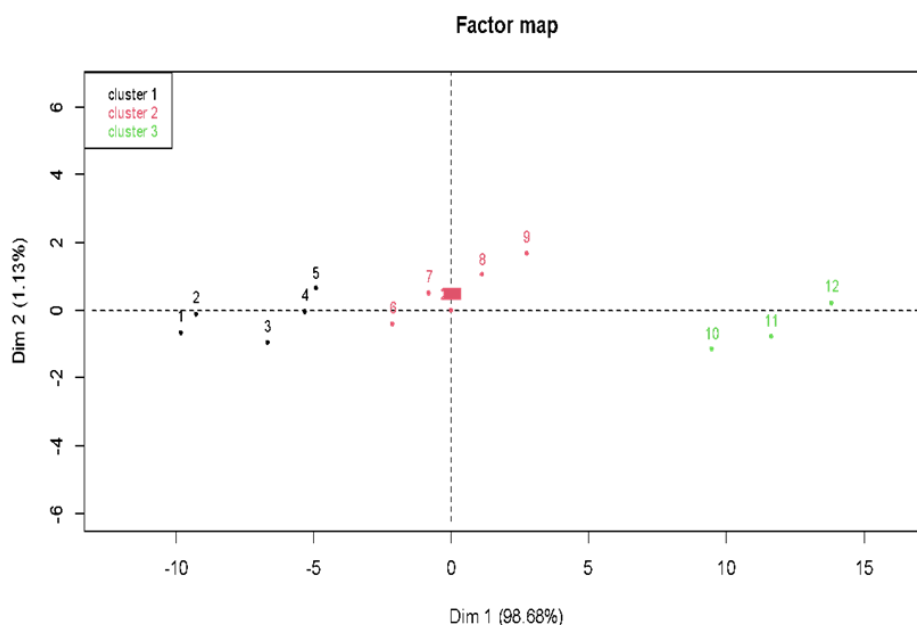


Fig. 3: Structuration des types d'exploitations rizicoles par l'analyse factorielle

Le graphique ci-dessus illustre la projection factorielle des exploitations rizicoles obtenue à partir de l'analyse en composantes principales (ACP), suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH). Cette approche a permis de réduire la dimensionnalité des données issues des

240 ménages enquêtés et de les représenter dans un espace simplifié, afin de visualiser la structuration des types d'exploitations selon leurs caractéristiques sociotechniques et économiques. Trois groupes distincts apparaissent clairement, matérialisant une différenciation nette : Le premier groupe, localisé à l'extrême gauche de l'axe 1, correspond aux petites exploitations rizicoles, marquées par une faible intensité productive : faibles superficies, techniques manuelles, rendements bas, accès limité aux intrants modernes et insécurité foncière (location ou usufruit coutumier). Ces exploitations reflètent une logique de subsistance. Le deuxième groupe, situé au centre du graphique, regroupe des exploitations intermédiaires. Elles combinent des pratiques agricoles mixtes (manuel et semi-mécanisé), exploitent des superficies moyennes, et disposent d'un accès partiel au crédit et aux intrants. Elles représentent une phase de transition entre systèmes traditionnels et systèmes plus intensifiés. Le troisième groupe, situé à droite de l'axe 1, regroupe les grandes exploitations rizicoles. Celles-ci se distinguent par des superficies étendues, une forte intensification (mécanisation, intrants modernes), des rendements élevés et un statut foncier plus sécurisé. Elles reflètent une logique entrepreneuriale et une forte insertion dans les circuits marchands. L'axe 1, qui résume à lui seul 98,68 % de la variance totale, représente le gradient d'intensification socio-économique et technique des exploitations. L'axe 2, qui n'explique que 1,13 %, joue un rôle secondaire dans la différenciation.

Analyse des déterminants de la différenciation typologique des exploitations rizicoles à Bunkeya

Le modèle de régression logistique multinomiale, prenant le groupe 1 comme modalité de référence, met en évidence des différences entre les profils typologiques des exploitations rizicoles à Bunkeya comme le montre le tableau 4. Ci-dessous. La comparaison des groupes 2 et 3 par rapport au groupe 1 révèle que seules les caractéristiques du groupe 3 sont statistiquement significatives sur l'ensemble des variables explicatives testées, avec des valeurs p inférieures à 0,0001. Cela indique que les exploitants appartenant au groupe 3 se différencient significativement de ceux du groupe 1. Plus précisément, les producteurs du groupe 3 présentent un niveau d'instruction plus élevé, une plus grande ancienneté dans la riziculture, un accès plus restreint au crédit formel et adoptent des techniques agricoles moins mécanisées. De plus, ils se distinguent par des systèmes de production spécifiques (plateau ou bas-fond irrigué) et des pratiques culturelles différentes, telles que l'assolement ou la rotation. Ces éléments reflètent une structuration plus avancée, mais aussi plus différenciée, de ce groupe en matière de capital humain, technique et organisationnel. En revanche, les différences entre les groupes 2 et 1 ne sont pas statistiquement significatives, ce qui traduit une certaine homogénéité entre ces deux profils. Le statut

foncier, le niveau d'étude, l'expérience, les techniques agricoles et les pratiques culturales ne montrent pas de variation notable entre ces deux groupes. L'ensemble des résultats suggère que la diversité structurelle des exploitations rizicoles à Bunkeya s'exprime principalement par les écarts observés avec le groupe 3. Celui-ci représente un profil atypique qui, bien qu'ayant une meilleure formation et une plus grande expérience, se heurte à des contraintes spécifiques telles que l'accès limité au financement et l'adoption partielle des innovations techniques. Ces éléments justifient une prise en charge différenciée des exploitations selon leur profil, notamment pour soutenir les dynamiques de modernisation adaptées aux conditions locales.

Tableau 4. Déterminants de la différenciation typologique des exploitations rizicoles à Bunkeya

Variables explicative	Coef. G2	p-value	Interprétation G2 vs G1	Coef. G3	p-value	Interprétation G3 vs G2
Intercept	136.47	0.8010	Non significatif	-136.33	<0.0001	TS – différence structurelle
Statut foncier	-479.50	0.9475	NS – peu de différence	-422.13	<0.0001	TS – stat foncier fortement différencié
Niveau d'étude	-55.54	0.9888	NS – effets négligeables	253.41	<0.0001	TS – plus instruits
Ancienneté	50.05	0.9254	NS – pas de différence notable	145.94	<0.0001	TS – plus expérimentés
Accès au crédit	342.48	0.9254	NS – accès comparable	-347.90	<0.0001	TS – moins d'accès au crédit
Technique agricole	-517.32	0.6329	NS – technique similaire	-330.62	<0.0001	TS – technique différente (moins méc.)
Système de production	270.33	0.9706	NS – pas de différenciation	-8.43	<0.0001	TS – système spécifique
Système cultural	45.24	0.9913	NS – pas de différence	-59.33	<0.0001	TS – pratiques culturales distinctes

NS : non significatif ($p > 0.05$) ; TS : très significatif ($p < 0.05$)

Discussion des résultats

L'approche méthodologique adoptée à Bunkeya, fondée sur la combinaison de l'analyse en composantes principales (ACP) et de la classification ascendante hiérarchique (CAH), s'inscrit dans une logique comparative déjà éprouvée dans divers contextes agroécologiques. L'objectif était de caractériser la diversité des systèmes rizicoles locaux et d'identifier les facteurs structurants à l'origine de cette hétérogénéité. Les résultats de l'ACP indiquent que les variables liées à l'ancienneté rizicole, à la superficie cultivée, à l'accès aux intrants et aux revenus agricoles contribuent fortement à l'axe principal (PC1), ce qui renforce leur pouvoir discriminant. Cette structuration est en cohérence avec les observations de Diagne et al. (2013) dans la zone de l'Office du Niger, où ces mêmes variables expliquaient les différences entre exploitations. De manière analogue, les travaux de Tittonell et al. (2013) au nord du Vietnam soulignent l'importance des pratiques

culturelles, de l'intensité d'intrants et de l'insertion dans les chaînes de valeur trois dimensions également observées comme discriminantes à Bunkeya. La concordance avec d'autres contextes géographiques se confirme dans les résultats de White et al. (2010) en Australie, où les performances économiques et l'intensité technique segmentaient les exploitations rizicoles de la Riverina. À Bunkeya, ces dimensions sont également structurantes du premier axe d'analyse. De même, Silva et al. (2015), au Brésil, ont mis en évidence le rôle du revenu agricole et de la taille de l'exploitation dans la capacité d'investissement, deux facteurs qui, à Bunkeya, opposent de manière nette les agricultures de subsistance aux systèmes plus capitalisés.

Concernant la CAH, l'identification de groupes homogènes d'exploitations repose sur une logique typologique reconnue. Les travaux de Faye et al. (2014) au Sénégal ont abouti à une typologie tripartite opposant producteurs à faibles intrants à des producteurs plus intensifs et intégrés. Cette structuration est très proche de celle observée à Bunkeya, suggérant une robustesse du modèle. Barrett et al. (2002) ont montré que les riziculteurs du Tamil Nadu pouvaient être différenciés selon leur insertion dans le marché, l'utilisation de semences améliorées et leur niveau d'intensification critères dont deux sont pleinement présents dans la typologie obtenue à Bunkeya. D'autres convergences sont observées avec les typologies identifiées par Pannell et al. (2010) en Australie et Moura et al. (2019) au Brésil, où les dimensions techniques (mécanisation, irrigation, rendement) structuraient également les groupes d'exploitations.

À Bunkeya, ces critères ont permis d'identifier un groupe performant, confirmant la transférabilité de ces dimensions dans l'analyse typologique. Sur le plan des facteurs explicatifs de la différenciation typologique, la régression logistique multinomiale a permis de dégager quatre variables significatives : le niveau d'étude du chef d'exploitation, l'ancienneté dans la riziculture, le système cultural et l'accès au crédit. Ces résultats convergent avec ceux de Wopereis et al. (2013) au Burkina Faso, qui identifient ces mêmes facteurs comme déterminants dans l'adoption de technologies améliorées. De même, Pandey et al. (2010), dans les plaines rizicoles du Bangladesh, ont mis en évidence l'effet structurant de l'éducation et du crédit, deux variables également significatives dans notre étude.

Enfin, les observations de Farre et al. (2007) en Australie et de Gomes et al. (2021) au Brésil soulignent que l'accès au financement, à la formation, ainsi que le statut foncier, influencent fortement les performances agricoles. Ces éléments trouvent un écho direct à Bunkeya, où le crédit, bien que limité, joue un rôle différenciateur, notamment pour le groupe le plus performant, tandis que le niveau d'instruction et la sécurisation foncière apparaissent comme des leviers structurels majeurs de la modernisation agricole. Dans l'ensemble, la convergence des résultats obtenus à Bunkeya avec ceux

documentés dans d'autres régions rizicoles du monde atteste de la validité externe de l'approche méthodologique, et renforce la pertinence des variables retenues pour comprendre la diversité des trajectoires agricoles dans les contextes africains ruraux.

Conclusion

L'analyse conjointe en composantes principales (ACP) et classification ascendante hiérarchique (CAH) appliquée aux exploitations rizicoles de Bunkeya a permis de révéler une structuration claire de la diversité des systèmes de production. Cette approche a identifié des groupes différenciés d'exploitations selon des critères techniques, économiques et sociaux, confirmant l'existence de dynamiques agricoles contrastées au sein de la zone étudiée. Le résultat est renforcé par leur forte convergence avec les travaux menés dans d'autres régions rizicoles du monde, notamment en Afrique de l'Ouest, en Asie, en Australie et en Amérique latine. Les facteurs discriminants observés à Bunkeya niveau d'éducation, ancienneté rizicole, système cultural, accès au crédit, taille et revenu des exploitations apparaissent ainsi comme des déterminants récurrents dans la structuration des agricultures familiales en contexte rizicole. Ces résultats soulignent la pertinence d'une approche typologique pour éclairer la diversité des exploitants et orienter les politiques publiques agricoles. Mieux cibler les interventions notamment en matière d'accès au crédit, à la formation technique et à la sécurisation foncière apparaît essentiel pour accompagner la transition vers des systèmes plus performants, inclusifs et durables. À terme, cette connaissance fine des profils productifs constitue un levier stratégique pour le développement territorial et l'amélioration des conditions de vie des producteurs ruraux.

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. Barrett Christopher., Reardon Thomas., Webb Peter. (2002). Nonfarm income diversification and household livelihood strategies in rural Africa: concepts, dynamics, and policy implications. *Food Policy*, 26(4), 315–331
2. Bolakonga Antoine Bily Ilye., Jules Nkulu Mwine Fyama., Mushakulwa Waziri and Gregor Jaecke (2017). filieres agricoles en

- republique democratique du congo : maïs, riz, bananes plantains et pêche, *Fondation Konrad Adenauer Kinshasa*, Octobre 2017
3. Chan – Eun Park., Yun – Sook Kim., Kee – Jai Park., and Bum – Keun Kim. (2011). Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. *J. Stored Prod. Res.*, vol. 48, pp. 25–29, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.jspr.2011.08.005
 4. Coulibaly Aïssatou, Kouakoua Yapi Elisée, Amani N’Guessan Georges. (2021). Caractéristiques Physico-Chimiques et Organoleptiques de Certaines Variétés de Riz Local Cultivées en Côte d’Ivoire. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT) ISSN: 2509-0119*. Vol. 29 No. 1 October 2021, pp.668-674
 5. Diagne Aliou., Adekambi Souleimane Adeyemi., Simtowe Franklin., Biao Gauthier. (2013). Explaining the Adoption of Nerica Rice Varieties in West Africa. *Journal of Agricultural Economics*, 64(1), 17–39.
 6. Dugué Pierre., Giger Michel., Landais Eric. (2004). Méthodes de diagnostic agraire : construction de typologies d’exploitations agricoles. *Cahiers Agricultures*, 13(1), 1–9
 7. Farre Ignacio., Facchi, Andrea., O’Connell Michael., Park Gwynn. (2007). Benchmarking water productivity in rice-based cropping systems in Australia. *Agricultural Water Management*, 93(3), 282–292.
 8. Faye Idrissa., Seck Papa Abdoulaye., Diagne Aliou. (2014). Varietal diffusion and productivity of rice in Senegal. *Food Policy*, 44, 181–192.
 9. Gomes Elian., Alves Edson., Castro Ademir. (2021). Production systems and yield gaps in Brazilian rice farming: a typology based on socioeconomic and technical variables. *Agronomy*, 11(2), 289.
 10. Ibrahima Mbodj, Mouhameth Camara., Omar Ndaw Faye., Fallou Sarr., Gloria Keny. (2019). Caractérisation physico-chimique de quinze (15) variétés de riz (*Oryza sativa* L.) produites dans la vallée du fleuve Sénégal. *Afrique SCIENCE* 15(3) (2019) 222 - 233 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>.
 11. Jules Nkulu Mwine Fyama. (2010). Dynamique agraire des exploitations agricoles familiales dans l’hinterland minier du Katanga et perspectives pour une politique d’appui. *Thèse de doctorat en sciences agronomiques*, Inédite, Université de Lubumbashi (RD Congo)
 12. Kasongo Emery Mukonzo. (2009). Système d’évaluation des terres à multiples échelles pour la détermination de l’impact de la gestion

- agricole sur la sécurité alimentaire au Katanga, R.D. Congo, *Thèse de doctorat en science*, Université de GANT (Belgique).
13. Kperim Tabone., Koffi – Tessio., and Diagne Aliou. (2010). Compétitivité de la filière riz local au Togo : Une évaluation du taux de protection nominale, effective et du coût en ressource domestique. *African Association of Agricultural Economists (AAAE)*, 19-23, 2010,
 14. Landais Eric. (1998). Modelling farm diversity: new approaches to typology building in France. *Agricultural Systems*, 58(4), 505–527.
 15. Philippe Lebailly., Sossou Comlan. (2004). Typologie des exploitations agricoles en Afrique centrale : méthodes et applications. *Cahiers Agricultures*, 13(1), 1–9.
 16. Louis André., Christian mestres., Jacques Faure (1991). Measurement of endosperm vitreousness of corn: a quantitative method and its application to African cultivars. *Cereal Chemistry*, 68 (6) 614 – 617
 17. Lucien Nkulu Masengo., Tshomba Kalumbu John., Jules Nkulu Mwene Fyama and Moïse Kalambaie Bimn. (2025). Circuits d’approvisionnement et facteurs compétitifs : Une évaluation économique des variétés de riz dans les marchés de l’arc cuprifère du Katanga. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research Research* ISSN: 2321-3124. Vol.13 (Jan/Feb 2025).
 18. Demont Matty., Ndour Maimouna, and Esperance. Zossou. (2013). Can local African rice be competitive? An analysis of quality-based competitiveness through experimental auctions, *Cahier Agriculture*, vol. 22, no. 5, pp. 345–352, Sep. 2013, doi: 10.1684/agr.2013.0664
 19. Michel Baudouin, Lebailly Philippe, Mpanzu Balomba Patience, Jules Nkulu Mwene Fyama, Bonkena Papy, Furaha Mirindi Germaine, Akalakou Claude, Bolakonga Ilye, Bily. (2019). Etude de l’analyse de la compétitivité du riz local et des options de son amélioration. *Open Repository and Bibliography – Liege. AGRER – EARTH*
 20. Moura Ana Carolina., Fialho Fabio., Pereira Joao Guilherme. (2019). Typology of irrigated rice producers in Southern Brazil. *Revista de Economia Sociologia Rural*, 57(1), 11–28.
 21. Pandey Sushil., Byerlee Derek., Dawe David., Dobermann Achim., Mohanty Samarendu., Rozelle Scott., Hardy Bill. (2010). Rice in the Global Economy: Strategic Research and Policy Issues for Food Security. *International Rice Research Institute*.
 22. Pannell, D. J., Llewellyn, R. S., & Corbeels, M. (2010). *The farm-level economics of conservation agriculture for resource-poor farmers*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187(1), 52–64.
 23. Silva, J. F., de Souza Filho, H. M., & do Amaral, D. M. (2015). *Sistema de produção e desempenho econômico de unidades de produção de*

- arroz irrigado no Sul do Brasil*. Revista de Economia e Sociologia Rural, 53(2), 283–298.
24. Thangavelu Subiksha Rathna Priya., Anthony Richard Leo Eliazer., Kandasamy. Ravichandran, and Uthayasankar Antony. (2019). Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: a review. *J. Ethn. Foods*, vol. 6, no. 1, pp. 1–11, Oct. 2019, doi: 10.1186/s42779-019-0017-3.
25. Tittone Pablo., Muriuki Alex., Shepherd Keith., Mugendi Dominic., Kaizzi Christopher., Okeyo Jeremiah., Verchot Louis., Coe Robert., Vanlauwe Bernard. (2010). The diversity of rural livelihoods and their influence on soil fertility in agricultural systems of East Africa – A typology of smallholder farms. *Agricultural Systems*, 103(2), 83–97.
26. Tittone Pablo., Giller Kenneth. (2013). When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in smallholder agriculture. *Field Crops Research*, 143, 76–90.
27. Tshomba Kalumbu John, Jean Hélène Kitsali., Jules Nkulu Mwene Fyama Moïse Kalambaie Bin Mukanya. (2022). Analyse des facteurs de compétitivité dans la production du maïs entre la RDC et la Zambie en Afrique australe. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, 10(03).
28. Tshomba Kalumbu John, Nkulu Mwiné Fyama Jule et Kalambaie Binm Mukanya Madiya Moïse. (2020). Analyse de la dépendance alimentaire aux importations des ménages dans trois communes de la ville de Lubumbashi, RDC. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research* ISSN : 2321-3124.
29. Joe Ward (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244.
30. Whitbread Anthony., Robertson Michael., Carberry Peter., Dimes John. (2010). How farming systems simulation can aid the development of more sustainable smallholder farming systems in southern Africa. *European Journal of Agronomy*, 32(1), 51–58.
31. Wopereis Marco., Johnson David., Ahmadi Nourollah., Tollens Eric., Jalloh Abdulai. (2013). Realizing Africa's Rice Promise Wallingford: *CAB International*.
32. Zhimin Wang., Mingwei Zhang., Guang Liu., Yuanyuan Deng., Yan Zhang., Xiaojun Tang., Ping Li., Zhencheng Wei. (2021). Effect of the degree of milling on the physicochemical properties, pasting properties and in vitro digestibility of Simiao rice. *Grain Oil Sci. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 45–53, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.gaost.2021.04.002.

Évaluation Comparative des Effets Anthropométriques de l'Huile de Palme, de l'Huile d'Olive Extra Vierge et de l'Huile d'Olive Contaminée par de l'Huile de Croton chez le Rat *Wistar*

Agnimel Augustin Nicolas

Kamagate Adama

Laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée,
UFR SN, Université Nangui ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n30p232](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p232)

Submitted: 20 May 2025

Accepted: 11 October 2025

Published: 31 October 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Agnimel, A.N. & Kamagate, A. (2025). *Évaluation Comparative des Effets Anthropométriques de l'Huile de Palme, de l'Huile d'Olive Extra Vierge et de l'Huile d'Olive Contaminée par de l'Huile de Croton chez le Rat Wistar*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (30), 232. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n30p232>

Résumé

L'huile de palme et l'huile d'olive sont largement utilisées pour leurs propriétés nutritionnelles, bien que l'huile de palme soit souvent critiquée pour sa teneur en acides gras saturés. L'huile de croton, quant à elle, possède des effets thérapeutiques lorsqu'elle est administrée sous stricte surveillance médicale. Cette étude vise à comparer les effets anthropométriques de la consommation quotidienne de quatre huiles végétales, huile d'olive extra vierge, huile d'olive contaminée par 1 % d'huile de croton, huile de palme brute et huile de palme raffinée sur des rats *Wistar*, afin d'évaluer leur impact nutritionnel et métabolique. Soixante rats *Wistar* (mâles et femelles) ont été répartis en cinq groupes ($n = 12$) et soumis pendant six mois à des régimes alimentaires spécifiques : granulés seuls (GSH), granulés enrichis à 20 % d'huile d'olive (HO), à 20 % d'huile d'olive contaminée par 1 % d'huile de croton (HC Dil.100×), à 20 % d'huile de palme brute (HPB), et à 20 % d'huile de palme raffinée (HPR). Les paramètres évalués incluaient le poids corporel, la consommation alimentaire, l'hydratation, la digestibilité, ainsi que les efficacités protéique et énergétique. Le groupe GSH a présenté les meilleures performances nutritionnelles : gain pondéral significatif ($1247 \pm 13,2$ g),

digestibilité élevée (ID : $1,059 \pm 0,07$), efficacité protéique (EP : $0,02101 \pm 0,0007$) et énergétique (EE : $38,33 \pm 1,19$). Les groupes HO et HC Dil.100× ont montré les performances les plus faibles, notamment en efficacité énergétique (respectivement $19,62 \pm 0,63$ et $16,75 \pm 0,80$). Des différences hautement significatives ont été observées pour le gain de poids entre le groupe GSH et les groupes supplémentés en huiles ($p < 0,0001$), tandis que les autres paramètres ne présentaient pas de variations significatives ($p > 0,05$). La consommation modérée d'huile de palme, qu'elle soit brute ou raffinée, n'induit pas de prise de poids excessive chez le rat *Wistar* et semble compatible avec une alimentation équilibrée. En revanche, l'ajout d'huile de croton à l'huile d'olive altère les performances nutritionnelles, soulignant la nécessité d'une surveillance stricte de son usage.

Mots-clés: Gain de poids, Indices nutritionnels, Huile de palme, Huile d'olive, Huile de croton

Comparative Assessment of Anthropometric Effects of Palm Oil, Extra Virgin Olive Oil, and Croton-Contaminated Olive Oil in *Wistar* Rats

Agnimel Augustin Nicolas
Kamagate Adama

Laboratory of Physiology, Pharmacology and Pharmacopeia,
UFR SN, University Nangui ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

Palm oil and olive oil are widely used for their nutritional properties, although palm oil is often criticized for its high saturated fat content. Croton oil, meanwhile, exhibits therapeutic effects when administered under strict medical supervision. This study aims to compare the anthropometric effects of the daily consumption of four vegetable oils, extra virgin olive oil, olive oil contaminated with 1% croton oil, crude palm oil, and refined palm oil, on *Wistar* rats, in order to assess their nutritional and metabolic impact. Sixty *Wistar* rats (male and female) were randomly assigned to five groups ($n = 12$) and fed for six months with specific diets: pellets alone (GSH), pellets enriched with 20% olive oil (HO), 20% olive oil contaminated with 1% croton oil (HC Dil.100×), 20% crude palm oil (HPB), and 20% refined palm oil (HPR). The parameters evaluated included body weight, food intake, hydration, digestibility, and protein and energy efficiency. The GSH group showed the best nutritional performance, with a significant weight gain (1247

± 13.2 g), high digestibility (ID: 1.059 ± 0.07), and superior protein (EP: 0.02101 ± 0.0007) and energy efficiency (EE: 38.33 ± 1.19). In contrast, the HO and HC Dil.100 $\times$ groups exhibited the lowest performance, particularly in energy efficiency (19.62 ± 0.63 and 16.75 ± 0.80 , respectively). Highly significant differences in weight gain were observed between the GSH group and the oil-supplemented groups ($p < 0.0001$), while other parameters showed no significant variation ($p > 0.05$). Moderate consumption of palm oil, whether crude or refined, did not lead to excessive weight gain in *Wistar* rats and appears compatible with a balanced diet. However, the addition of croton oil to olive oil negatively affected nutritional performance, highlighting the need for strict supervision of its use.

Keywords: Weight Gain, Nutritional indices, Palm oil, Olive oil, Croton oil

Introduction

L'huile de palme, bien qu'étant l'une des huiles végétales les plus consommées au monde, suscite de nombreuses controverses, tant sur le plan environnemental que sanitaire. Sur le plan nutritionnel, sa richesse en acides gras saturés, notamment en acide palmitique, soulève des inquiétudes quant à son impact sur la santé cardiovasculaire. Plusieurs études ont mis en évidence une corrélation entre une consommation excessive d'acides gras saturés et une augmentation du cholestérol LDL, facteur de risque de maladies cardiovasculaires (Lombard, 2017, 2024). Toutefois, ces inquiétudes doivent être nuancées : l'huile de palme ne contient pas de gras trans, souvent plus délétères, et elle est naturellement riche en antioxydants tels que les tocotriénols (formes de vitamine E) et les caroténoïdes, en particulier dans sa version non raffinée.

Certaines recherches ont montré que ses effets métaboliques sont comparables à ceux de l'huile d'olive lorsqu'elle est consommée dans des proportions modérées (Lecerf, 2016 ; Tiahoun, 2006). D'autres travaux, comme ceux de Batta (2016), soulignent que l'impact de l'huile de palme sur la santé dépend fortement du contexte nutritionnel global, des quantités consommées et du type d'huile (brute ou raffinée). Une étude menée sur des rats *Wistar* a également montré que l'huile de palme n'induit pas d'effets délétères supérieurs à ceux de l'huile d'olive sur les paramètres métaboliques et vasculaires (Tiahoun, 2006).

Le palmier (*Elaeis guineensis*), plante tropicale originaire d'Afrique de l'Ouest, produit une huile traditionnellement utilisée en cuisine. L'huile de palme brute (ou rouge) contient des composés bénéfiques tels que les caroténoïdes, les triacylglycérols, la vitamine E et les phytostérols, mais aussi des éléments moins favorables comme les acides gras libres, les phospholipides et les produits d'oxydation lipidique (Sambanthamurthi et al.,

2000). Elle représente la source naturelle la plus riche en caroténoïdes (500–700 ppm) et en tocotriénols (600–1200 ppm), qui contribuent à ses propriétés nutritionnelles et à sa stabilité (Mba et al., 2015 ; Johnson et al., 1993 ; Edem, 2000 ; Souganidis et al., 2013). Ces antioxydants agissent contre les espèces réactives de l'oxygène, jouant un rôle dans la prévention du vieillissement, des maladies cardiovasculaires et du cancer (Edem, 2002 ; Ong et al., 2007 ; Sen et al., 2007). Les tocotriénols sont également des inhibiteurs naturels de la synthèse du cholestérol (Edem, 2002).

L'huile d'olive, quant à elle, est appréciée pour sa composition en acides gras insaturés et ses effets bénéfiques sur la santé cardiovasculaire. Ses principaux antioxydants, dérivés de l'oleuropéine et du ligstroside, appartiennent à la classe des composés phénoliques (Veillet, 2010).

L'huile de croton, utilisée depuis le XIX^e siècle (Hutchinson, 1833), possède des propriétés thérapeutiques malgré ses effets irritants (Berenblum, 1941) et carcinogènes (Newton, 2001). Elle est parfois employée sous supervision médicale pour traiter certaines affections (Hetter, 2000a ; Hetter, 2000b). Par ailleurs, plusieurs études récentes ont montré que la consommation de graisses alimentaires joue un rôle important dans le risque de cancer, en plus des facteurs de risque classiques. Des données épidémiologiques ont établi une association positive entre l'apport total en graisses et les risques de cancers du sein, colorectal et de la prostate (Sczaniecka et al., 2012 ; Saadatian-Elahi et al., 2004 ; Čmolík, 2000).

Afin de contribuer à une meilleure compréhension des effets nutritionnels de ces huiles, cette étude vise à évaluer comparativement les effets anthropométriques de régimes alimentaires enrichis en huile de palme (brute et raffinée), en huile d'olive extra vierge, et en huile d'olive contaminée par 1 % d'huile de croton, chez le rat *Wistar* nourri quotidiennement pendant six mois.

Matériel et méthodes

Matériel animal

Des rats de l'espèce *Rattus norvegicus*, de souche *Wistar*, âgés de huit à neuf semaines, et pesant environ 95-102 g, ont été fournis par l'animalerie du Laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée (Université Nangui ABROGOUA). Ces animaux sont conservés dans des cages en plastique tapissées de copeaux de bois servant de couchette. Les animaux, acclimatés pendant trois jours, avaient un accès libre à l'eau et à l'aliment (granulés fournis par la société IVOGRAIN d'Abidjan). L'animalerie est maintenue à une température de $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$, et un cycle lumière /obscurité de 12 heures. Ces rats ont été utilisés pour l'étude des paramètres anthropométriques. Tous les protocoles expérimentaux sont conduits conformément à la directive Européenne du 24 Novembre 1986 (86/606/EEC)

relatives à l'usage des animaux d'expérimentation dans la recherche (EU, 1986).

Animaux et procédure expérimentale

Ces recherches ont été conduites sur soixante (60) rats de souche *Wistar* âgés de huit à neuf semaines, et pesant environ 95-102 g composés de mâles et de femelles répartis au hasard en cinq lots de douze (12) rats pour les cinq types de régimes alimentaires. L'huile expérimentale du lot 2 (témoins positifs) a été obtenue en diluant 10 ml d'huile de croton dans 1 L d'huile d'olive extra vierge avant chaque usage.

Tableau I : Préparation des régimes alimentaires en fonction des lots

Numéro de lots	Abréviations	Huiles	Proportion d'huiles (%)
1	HO (témoins négatifs)	Olive	20
2	HC Dil.100× (témoins positifs)	Olive + 1 % de Croton	20
3	GSH		00
4	HPR	Palme raffinée	20
5	HPB	Palme brute	20

HO : Huile d'olive, *HC Dil.100×* : Huile de croton diluée cent fois,
GSH : Granulé sans huile, *HPR* : Huile de palme raffinée, *HPB* : Huile de palme brute

Mesures des paramètres anthropométriques

Ces mesures anthropométriques ont consisté à mesurer le poids (GP) :
GP = masse de l'animal à une période – masse initiale

(Bohué *et al.*, 2016)

L'indice de consommation (IC) :

$$IC = \frac{\text{quantité d'aliment consommé durant une période}}{\text{gain de poids durant la même période}}$$

(Bohué *et al.*, 2016)

L'indice d'hydratation (IH) :

$$IH = \frac{\text{quantité d'eau consommée durant une période}}{\text{gain de poids durant la même période}}$$

(Bohué *et al.*, 2016)

L'efficacité protéique (EP) :

$$EP = \frac{\text{quantité de protéine consommée durant une période}}{\text{gain de poids durant la même période}}$$

(Bohué *et al.*, 2016)

L'efficacité énergétique (EE) :

$$EE = \frac{\text{quantité d'énergie consommée durant une période}}{\text{gain de poids durant la même période}}$$

(Bohué *et al.*, 2016)

L'indice de digestibilité (ID) :

$$ID = \frac{\text{quantité d'aliment consommée} - \text{masse de crottes produites durant une période}}{\text{gain de masse durant la même période}}$$

(Bohué *et al.*, 2016)

Analyses statistiques des résultats

L'analyse statistique des données est faite grâce au logiciel Graph Pad Prism 8.0.1 (San Diego, Californie, USA). Les résultats sont donnés sous forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). La comparaison des moyennes a été effectuée par un test de l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA1) pour vérifier la normalité des variables. Lorsque des différences significatives sont révélées entre les moyennes testées, l'ANOVA1 est complétée par des comparaisons multiples des valeurs moyennes des différents paramètres en utilisant le test de Tukey-Kramer. Les différences sont considérées significatives à $p < 0,05$, très significatives à $p < 0,01$, hautement significatives à $p < 0,001$, et extrêmement significatives à $p < 0,0001$.

Résultats

Effet de la consommation quotidienne des huiles végétales sur les paramètres anthropométriques

Effet des régimes alimentaires sur le gain de poids des rats femelles

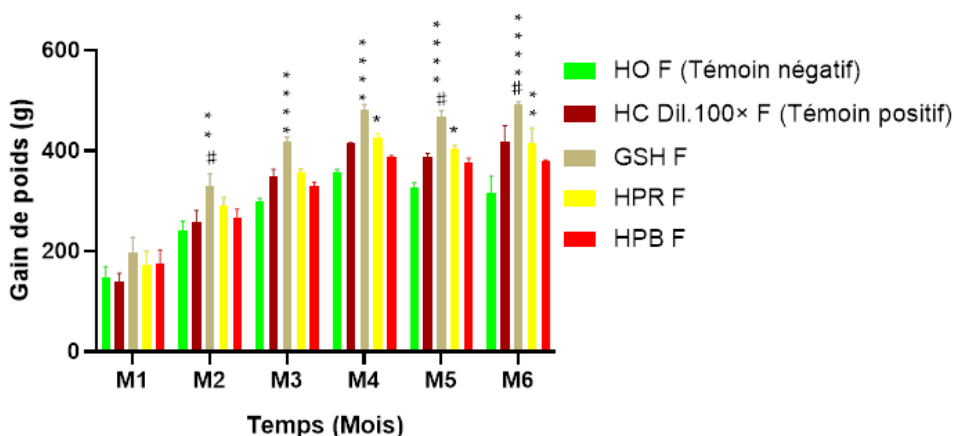
Pour étudier l'effet de l'huile de palme (brute et raffinée), l'huile d'olive et l'huile d'olive contaminée par 1 % d'huile de croton sur le gain de poids, nous avons utilisé 30 rats femelles jeunes répartis en 5 lots de 6 rats. Le **Figure 1** indique les résultats relatifs au cumul du gain du poids corporel des rats des lots témoins et expérimentaux par mois, sur 6 mois.

L'analyse des résultats indique que les gains de poids moyens des lots : HO F (rat femelle ayant reçu des granulés supplémentés à 20 % d'huile d'olive, Témoin négatif), HC Dil.100× F (rat femelle ayant reçu des granulés supplémentés à l'huile d'olive contaminée par 1 % d'huile de croton, soit l'huile de croton diluée cent fois, Témoin positif), GSH F (rat femelle ayant reçu des granulés sans huile), HPR F (rat femelle ayant reçu des granulés supplémentés à 20 % d'huile de palme raffinée) et HPB F (rat femelle ayant reçu des granulés supplémentés à 20 % d'huile de palme brute), qui étaient au premier mois de $148,5 \pm 20,87$ g, $139 \pm 17,31$ g, $196,8 \pm 30,87$ g, $172,5 \pm 27,84$ g et $174,5 \pm 28,38$ g, respectivement ont augmenté pour atteindre $315,5 \pm 34,39$ g, $419,3 \pm 30,76$ g, $491,5 \pm 6,278$ g, $416 \pm 29,59$ g et $380 \pm 1,683$ g, respectivement, au terme de l'expérimentation.

Le gain de poids était élevé chez les rats nourris au régime sans huile par rapport aux rats ayant reçu une alimentation supplémentée aux différentes huiles durant toute l'expérimentation.

En effet, on a observé au deuxième mois une différence très significative ($p < 0,01$) de gain de poids entre le lot témoin négatif et le lot GSH. Contrairement au mois précédent, on a observé à partir du troisième mois jusqu'au terme de l'expérimentation des différences extrêmement significatives ($p < 0,0001$) de gain de poids entre le lot témoin négatif et le lot GSH. Cependant, on a observé au deuxième, cinquième et sixième mois des différences significatives ($p < 0,05$) de gain de poids entre le lot témoin positif et le lot GSH. On a aussi observé au quatrième et cinquième mois une différence significative ($p < 0,05$) de gain de poids entre les rats du lot témoin négatif et ceux du lot HPR. Tandis qu'au terme de l'expérimentation, la différence de gain de poids était très significative ($p < 0,01$) entre les rats du lot témoin négatif et ceux du lot HPR. Toutefois aucune différence significative ($p > 0,05$) de gain de poids n'a été observée entre les lots témoins et le lot HPB durant toute l'expérimentation.

Figure 1 : Gain pondéral des rats femelles nourris aux régimes enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$) ; $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, * $p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; # $p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

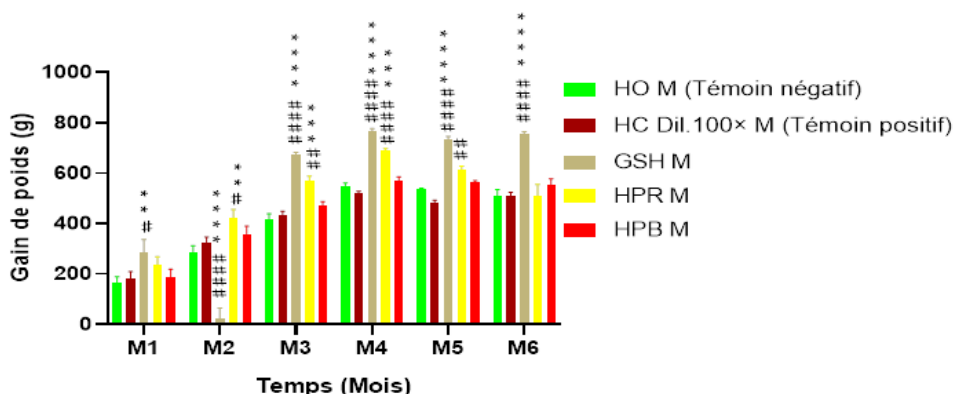
Effet des régimes alimentaires sur le gain de poids des rats mâles

Pour étudier l'effet de l'huile de palme (brute et raffinée), l'huile d'olive, et d'huile d'olive contaminée par 1 % d'huile de croton (l'huile de

croton diluée 100 fois) sur le gain de poids, nous avons utilisé 30 rats mâles jeunes répartis en 5 lots de 6 rats. La **Figure 2** indique les résultats relatifs au cumul du gain du poids corporel des rats des lots témoins et expérimentaux par mois, sur 6 mois.

L'analyse des résultats indique que les gains de poids moyens des lots : HO M (rat mâle ayant reçu des granulés supplémentés à 20 % d'huile d'olive, Témoin négatif), HC Dil.100× M (rat mâle ayant reçu des granulés supplémentés à l'huile d'olive contaminée par 1% d'huile de croton (huile de croton diluée cent fois), Témoin positif), GSH M (rat mâle ayant reçu des granulés sans huile), HPR M (rat mâle ayant reçu des granulés supplémentés à 20 % d'huile de palme raffinée) et HPB M (rat mâle ayant reçu des granulés supplémentés à 20 % d'huile de palme brute), qui étaient au premier mois de $165 \pm 23,62$ g, $182,8 \pm 26,8$ g, $284 \pm 52,93$ g, $234 \pm 33,89$ g et $184,3 \pm 34,52$ g, respectivement, ont augmenté pour atteindre $507,8 \pm 27,8$ g, $508,5 \pm 15,37$ g, $755,8 \pm 9,04$ g, $511 \pm 44,44$ g et $552 \pm 25,67$ g, respectivement, au terme de l'expérimentation. Le gain de poids était élevé chez les rats nourris au régime sans huile par rapport aux rats ayant reçu une alimentation supplémentée aux différentes huiles durant toute l'expérimentation, à l'exception du deuxième mois. En effet, on a observé au premier mois une différence très significative ($p < 0,01$) de gain de poids entre le lot témoin négatif et le lot GSH, et une différence significative ($p < 0,05$) de gain de poids entre le lot témoin positif et le lot GSH. Contrairement au premier mois, on a observé à partir du deuxième mois jusqu'au terme de l'expérimentation des différences extrêmement significatives ($p < 0,0001$) de gain de poids entre les lots témoins et le lot GSH. On a observé entre le lot témoin négatif et le lot HPR : au deuxième mois une différence très significative ($p < 0,01$) de gain de poids. Tandis qu'aux troisième et quatrième mois des différences hautement significatives ($p < 0,001$) de gain de poids. On a toutefois observé entre le lot témoin positif et le lot HPR : au deuxième mois une différence significative ($p < 0,05$) de gain de poids. Tandis qu'aux troisième et cinquième mois des différences très significatives ($p < 0,01$) de gain de poids. Aucune différence significative ($p > 0,05$) de gain de poids n'a été observée entre les lots témoins et le lot HPB durant toute l'expérimentation. Ce qui indique que la consommation quotidienne de l'huile de palme brute à l'instar de l'huile d'olive n'a pas entraîné d'augmentation significative du poids corporel des rats mâles.

Figure 2 : Gain pondéral des rats mâles nourris aux régimes enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$) ; $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

Effet des régimes alimentaires sur le gain de poids de l'ensemble des rats femelles et mâles

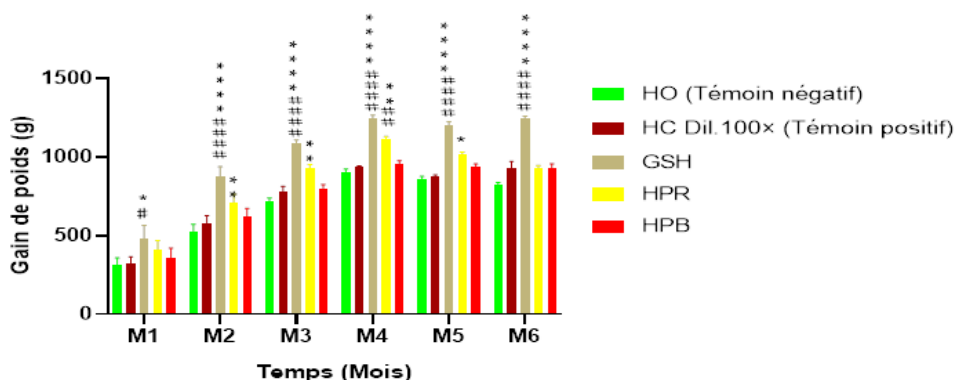
Pour étudier l'effet de l'huile de palme (brute et raffinée), l'huile d'olive et l'huile d'olive contaminée par 1 % d'huile de croton (huile de croton dilué 100 fois) sur le gain de poids de l'ensemble des rats, nous avons utilisé 60 rats jeunes répartis en 5 lots de 12 rats. La **Figure 3** indique les résultats relatifs au cumul du gain du poids corporel des rats des lots témoins et expérimentaux par mois, sur 6 mois.

L'analyse des résultats indique que les gains de poids moyens des lots : HO (lot de mâle et femelle ayant reçu des granulés supplémentés à 20 % d'huile d'olive, Témoin négatif), HC Dil.100× (lot de mâle et femelle ayant reçu des granulés supplémentés à l'huile d'olive contaminée par 1 % d'huile de croton (huile de croton diluée cent fois), Témoin positif), GSH (lot de mâle et femelle ayant reçu des granulés sans huile), HPR (lots mâle et femelle ayant reçu des granulés supplémentés à 20 % d'huile de palme raffinée) et HPB (lot de mâle et femelle ayant reçu des granulés supplémentés à 20 % d'huile de palme brute), qui étaient au premier mois de $314 \pm 44,3$ g, $322 \pm 44,1$ g, $481 \pm 83,1$ g, $407 \pm 61,5$ g et $359 \pm 62,6$ g, respectivement, ont augmenté pour atteindre $823,3 \pm 13,33$ g, $927,8 \pm 45,92$ g, $1247 \pm 13,16$ g, $927 \pm 18,42$ g et

932 $\pm$ 25,42 g, respectivement, au terme de l'expérimentation. Le gain de poids était élevé chez les rats nourris au régime sans huile par rapport aux rats ayant reçu une alimentation supplémentée aux différentes huiles durant toute l'expérimentation.

En effet, on a observé au premier mois une différence significative ($p < 0,05$) de gain de poids entre les lots témoins et le lot GSH. Contrairement au premier mois, on a observé à partir du deuxième mois jusqu'au terme de l'expérimentation des différences extrêmement significatives ($p < 0,0001$) de gain de poids entre les lots témoins et le lot GSH.

Figure 3 : Gain pondéral de l'ensemble des rats femelles et mâles nourris aux régimes enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$) ; $n = 12$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, * $p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; # $p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

On a observé entre le lot témoin négatif et le lot HPR : au deuxième, troisième et quatrième mois des différences très significatives ($p < 0,01$) de gain de poids. Tandis qu'au sixième mois une différence significative ($p < 0,05$) de gain de poids. On a également observé au quatrième mois une différence très significative ($p < 0,01$) de gain de poids entre le lot témoin positif et le lot HPR. Aucune différence significative ($p > 0,05$) de gain de poids n'a été observée entre les lots témoins et le lot HPB durant toute l'expérimentation. Ce qui indique que la consommation quotidienne de l'huile

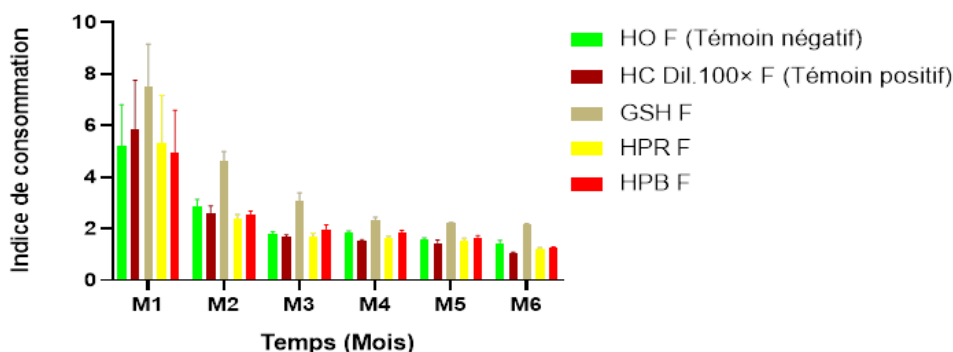
de palme brute à l'instar de l'huile d'olive sur 6 mois n'a pas entraîné d'augmentation significative ($p > 0,05$) du poids corporel de l'ensemble des rats.

Effets des Régimes alimentaires sur les paramètres zootechniques : L'indice de consommation (IC), l'indice d'hydratation (IH), l'efficacité protéique (EP) et l'efficacité énergétique (EE) des rats femelles

Les effets de la consommation quotidienne des différentes huiles sur une période de six mois chez les jeunes rats femelles sur les paramètres zootechniques ont été évalués à travers le calcul de différents indices. Ces indices nous ont permis de comparer les performances des cinq régimes alimentaires utilisés dans le cadre de cette étude. L'indice de consommation nous permet d'évaluer l'impact qu'ont eu les régimes utilisés ici sur le gain de poids.

La **Figure 4** renseigne sur les indices de consommation des lots témoins et expérimentaux obtenus chez les jeunes rats femelles. L'analyse de ces indices indique que la modification du régime alimentaire n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆. Toutefois, les indices de consommation des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $5,195 \pm 1,61$, $5,858 \pm 1,895$, $7,526 \pm 1,63$, $5,331 \pm 1,84$, $4,961 \pm 1,64$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $1,448 \pm 0,10$, $1,027 \pm 0,06$, $2,153 \pm 0,05$, $1,184 \pm 0,08$, $1,238 \pm 0,06$, au sixième mois.

Figure 4 : Indice de consommation des rats femelles nourris aux régimes enrichis à HO 20 % HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



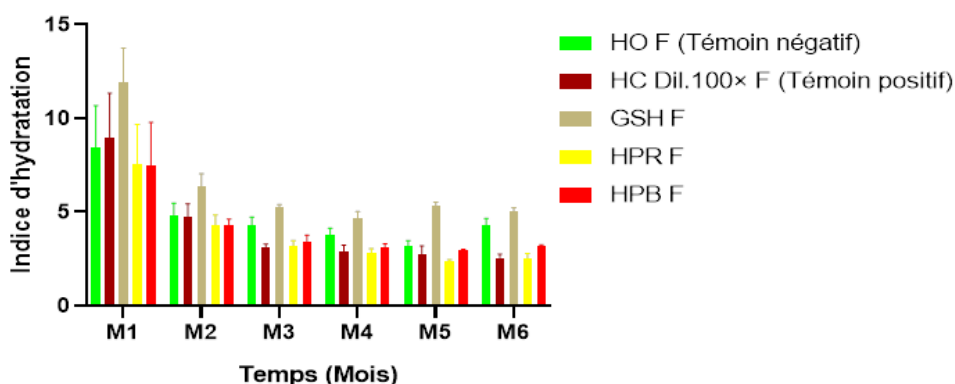
Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂,

M_3, M_4, M_5, M_6 : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6

Nous avons tout de même analysé l'impact de la consommation d'eau sur le gain de poids. La **Figure 5** nous renseigne sur les indices d'hydratation des lots témoins et expérimentaux obtenus chez les jeunes rats femelles sur une période de 6 mois.

L'analyse de ces indices indique également que la consommation d'eau n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids des rats femelles au sein des lots dans les mois $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$.

Figure 5 : Indice d'hydratation des rats femelles nourris aux régimes enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH

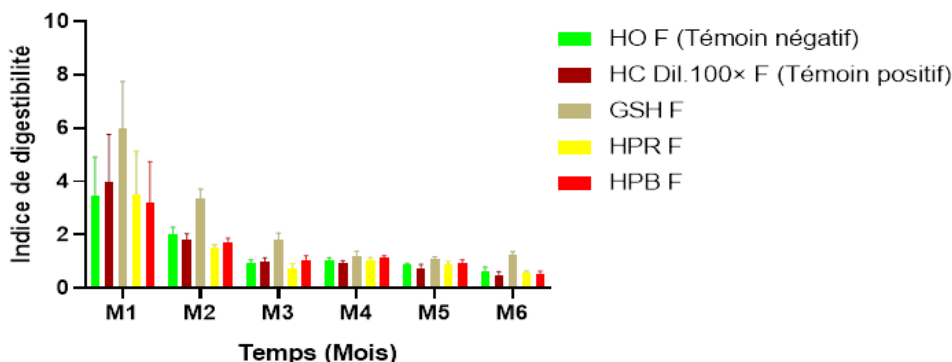


Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$: désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

Toutefois, les indices d'hydratation des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $8,426 \pm 2,26$, $8,963 \pm 2,38$, $11,90 \pm 1,84$, $7,521 \pm 2,16$, $7,474 \pm 2,31$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $4,309 \pm 0,34$, $2,551 \pm 0,20$, $5,023 \pm 0,21$, $2,505 \pm 0,29$, $3,151 \pm 0,10$, au sixième mois.

L'indice de digestibilité nous permet d'accéder à l'impact de la portion d'aliments absorbés par l'organisme des animaux sur le gain de poids. La **Figure 6** renseigne sur les indices de digestibilité des lots témoins et expérimentaux obtenus chez les jeunes rats femelles sur une période de 6 mois.

Figure 6 : Indice de digestibilité de l'ensemble des rats femelles et mâles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH

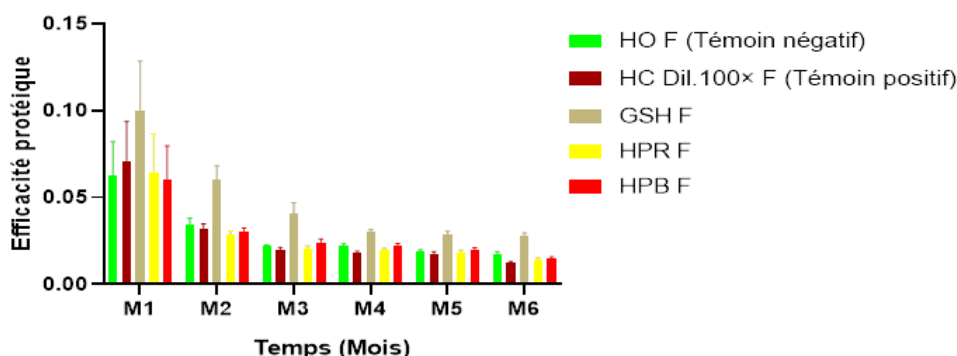


Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

L'analyse de ces indices indique que la portion d'aliments absorbés par les organismes des rats femelles n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆. Toutefois, les indices de digestibilité des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $3,443 \pm 1,47$, $3,960 \pm 1,80$, $5,992 \pm 1,76$, $3,505 \pm 1,64$ et $3,214 \pm 1,53$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $0,6250 \pm 0,17$, $0,4930 \pm 0,13$, $1,248 \pm 0,12$, $0,5777 \pm 0,06$ et $0,5387 \pm 0,10$, au sixième mois. L'indice d'efficacité protéique quant à lui, nous permet d'accéder à l'impact de la quantité de protéines contenues dans chaque régime alimentaire sur le gain de poids sur une période de 6 mois chez les jeunes rats femelles. La **Figure 7** renseigne sur les efficacités protéiques des différents régimes sur les lots témoins et expérimentaux obtenus chez les jeunes rats femelles sur une période de 6 mois. L'analyse de ces indices indique que le taux de protéines contenu dans les différents régimes n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids des rats femelles au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆. Toutefois, les indices d'efficacité protéique des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $0,06276 \pm 0,02$, $0,07077 \pm 0,02$, $0,1001 \pm 0,03$, $0,06440 \pm 0,02$ et $0,05992 \pm 0,02$, au premier mois ont

considérablement baissé pour atteindre respectivement : $0,01749 \pm 0,001$, $0,01241 \pm 0,001$, $0,02765 \pm 0,002$, $0,01431 \pm 0,001$ et $0,01496 \pm 0,001$, au sixième mois. Enfin l'indice d'efficacité énergétique nous permet d'accéder à l'impact du pouvoir calorique de chaque régime alimentaire sur le gain de poids chez les jeunes rats femelles.

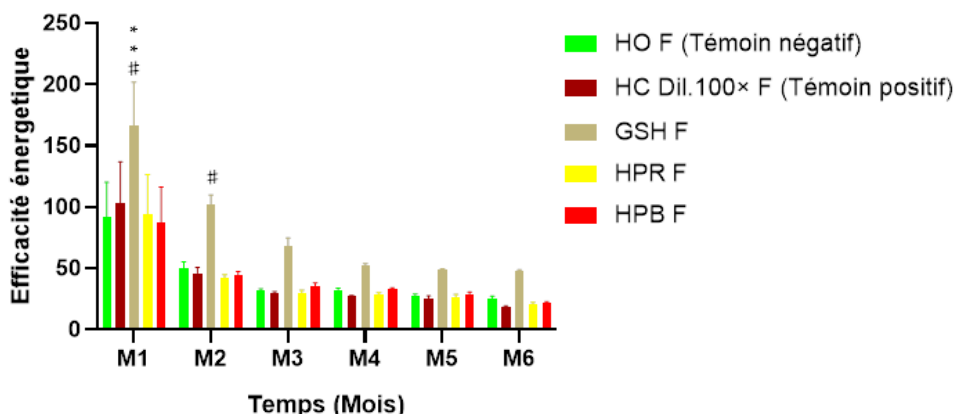
Figure 7 : Efficacité protéique des rats femelles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M_1 , M_2 , M_3 , M_4 , M_5 , M_6 : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

La **Figure 8** renseigne sur l'indice d'efficacité énergétique des différents régimes sur les lots témoins et expérimentaux sur une période de 6 mois. On a observé au premier et au deuxième mois de l'expérimentation des différences significatives ($p < 0,05$) de l'indice d'efficacité énergétique entre les rats du lot témoin positif et ceux du lot GSH.

Figure 8 : Efficacité énergétique des rats femelles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, * $p < 0,01$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; # $p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

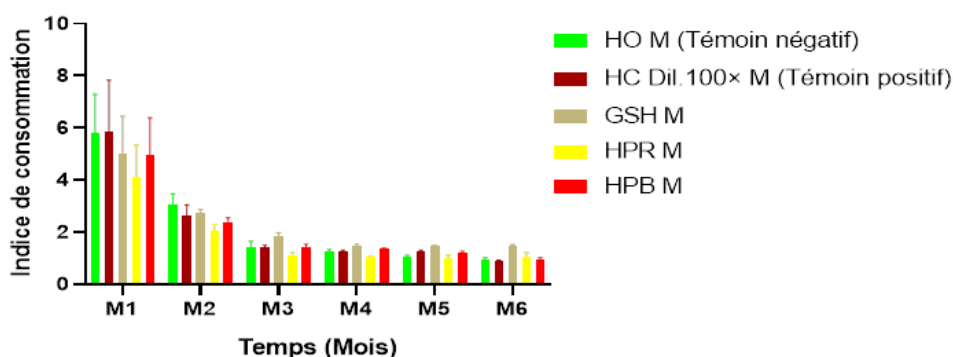
Tandis qu'au premier mois cette différence était très significative ($p < 0,01$) entre les rats du lot témoin négatif et ceux du lot GSH. Cependant l'analyse de ces indices indique que le pouvoir calorique du régime à base des différentes huiles n'a pas eu d'impact significatif sur le gain de poids au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆. Toutefois, les indices d'efficacité énergétique des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $91,61 \pm 28,43$, $103,3 \pm 33,42$, $165,9 \pm 35,84$, $94,10 \pm 32,44$ et $87,47 \pm 28,88$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $25,53 \pm 1,70$, $18,11 \pm 1,06$, $47,47 \pm 1,13$, $20,91 \pm 1,36$ et $21,83 \pm 1,08$, au sixième mois.

Effets des Régimes alimentaires sur les paramètres zootechniques : L'indice de consommation (IC), l'indice d'hydratation (IH), l'efficacité protéique (EP) et l'efficacité énergétique (EE) des rats mâles

Les effets de la consommation quotidienne des différentes huiles sur une période de six mois chez les jeunes rats mâles sur les paramètres zootechniques ont été évalués à travers le calcul de différents indices. Ces indices nous ont permis de comparer les performances des cinq régimes

alimentaires utilisés dans le cadre de cette étude. La **Figure 9** renseigne sur les indices de consommation des lots témoins et expérimentaux obtenus chez des jeunes rats mâles. L'analyse de ces indices indique que la modification du régime alimentaire n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids des rats mâles au sein des lots dans les mois M1, M2, M3, M4, M5, M6. Cependant, les indices consommation des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $5,779 \pm 1,51$, $5,843 \pm 1,99$, $5,004 \pm 1,44$, $4,109 \pm 1,24$ et $4,953 \pm 1,44$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $0,9360 \pm 0,08$, $0,8887 \pm 0,04$, $1,470 \pm 0,06$, $1,073 \pm 0,14$ et $0,9344 \pm 0,082$, au sixième mois.

Figure 9 : Indice de consommation des rats mâles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH

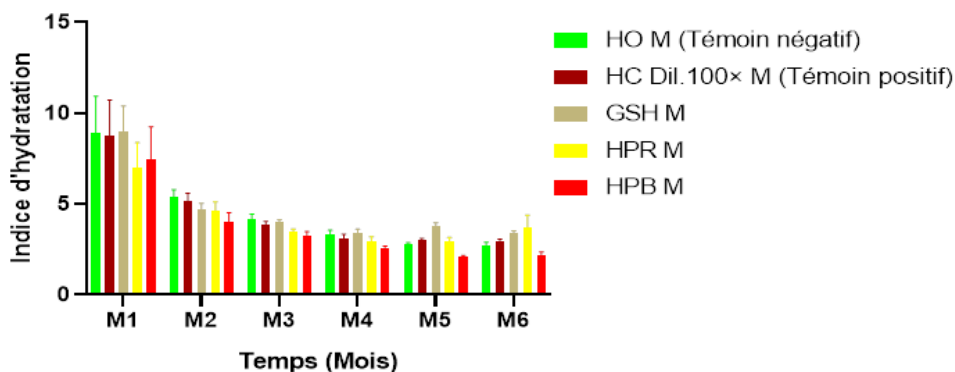


Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

Nous avons tout aussi analysé l'impact de la consommation d'eau sur le gain de poids. Ainsi, la **Figure 10** renseigne sur les indices d'hydratation des lots témoins et expérimentaux obtenus sur une période de 6 mois. L'analyse de ces indices indique que la consommation d'eau n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids des rats mâles au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆. Cependant, les indices d'hydratation des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $8,925 \pm 2,01$, $8,778 \pm 1,96$, $9,022 \pm 1,37$, $6,985 \pm 1,40$ et $7,478 \pm 1,78$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre

respectivement : $2,709 \pm 0,19$, $2,925 \pm 0,14$, $3,364 \pm 0,17$, $3,685 \pm 0,71$ et $2,170 \pm 0,19$, au sixième mois.

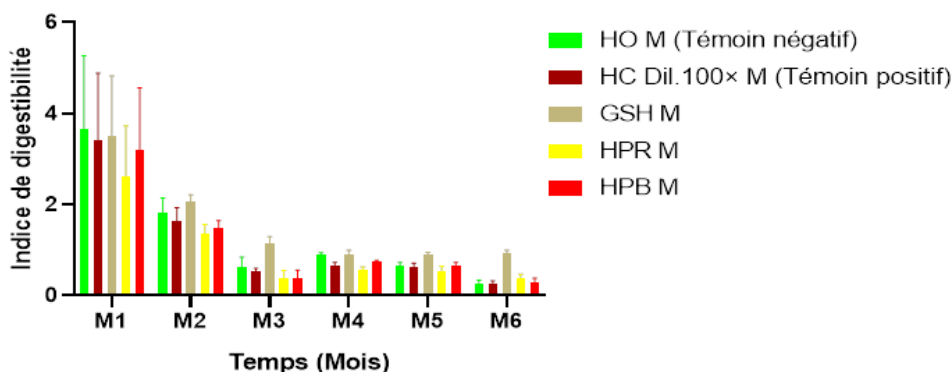
Figure 10 : Indice d'hydratation des rats mâles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

Par la suite, la **Figure 11** nous renseigne sur les indices de digestibilité des lots témoins et expérimentaux obtenus sur une période de 6 mois. L'analyse de ces indices indique que la portion d'aliments absorbés par les organismes des rats mâles n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids des rats mâles au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆.

Figure 11 : Indice de digestibilité des rats mâles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

Cependant, les indices de digestibilité des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $3,649 \pm 1,62$, $3,417 \pm 1,47$, $3,507 \pm 1,32$, $2,623 \pm 1,11$ et $3,196 \pm 1,37$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $0,2542 \pm 0,09$, $0,2535 \pm 0,07$, $0,9345 \pm 0,06$, $0,3910 \pm 0,08$ et $0,2863 \pm 0,09$, au sixième mois.

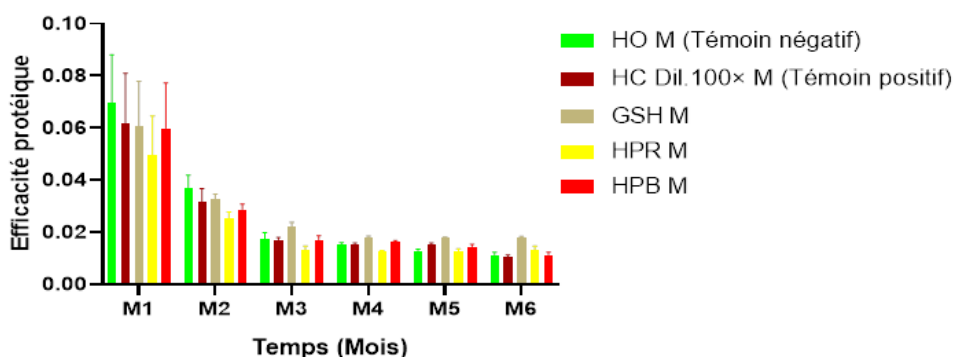
La **Figure 12** renseigne sur les efficacités protéiques des différents régimes sur les lots témoins et expérimentaux obtenus sur une période de 6 mois. L'analyse de ces indices indique que le taux de protéines contenu dans les différents régimes n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids des rats mâles au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆.

Cependant, les indices d'efficacité protéique des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $0,06982 \pm 0,018$, $0,06184 \pm 0,02$, $0,06045 \pm 0,02$, $0,04963 \pm 0,02$ et $0,05984 \pm 0,02$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $0,01131 \pm 0,001$, $0,01074 \pm 0,0005$, $0,01775 \pm 0,0007$, $0,01296 \pm 0,002$ et $0,01129 \pm 0,01$, au sixième mois.

Enfin la **Figure 13** nous renseigne sur l'indice d'efficacité énergétique des différents régimes sur les lots témoins et expérimentaux obtenus sur une période de 6 mois. L'analyse de ces indices indique que le pouvoir calorique

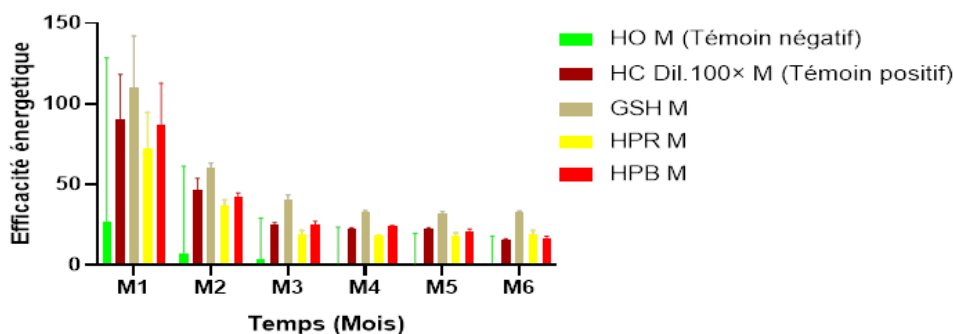
des différents régimes n'a eu aucun impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids des rats mâles au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆. Cependant, les indices d'efficacité énergétique des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $101,9 \pm 26,55$, $90,26 \pm 27,91$, $110,3 \pm 31,78$, $72,52 \pm 21,96$ et $87,35 \pm 25,36$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $16,51 \pm 1,43$, $15,67 \pm 0,68$, $32,39 \pm 1,20$, $18,94 \pm 2,46$ et $16,48 \pm 1,45$, au sixième mois.

Figure 12 : Efficacité protéique des rats mâles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6

Figure 13 : Efficacité énergétique des rats mâles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH

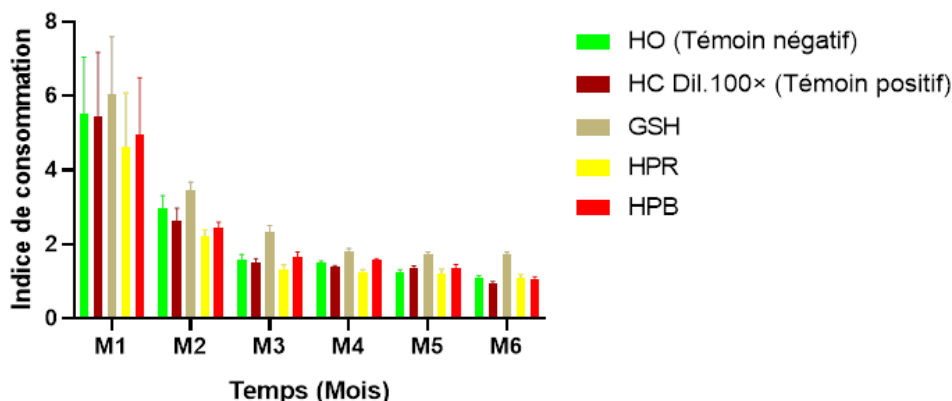


*Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 6$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.*

Effets des Régimes alimentaires sur les paramètres zootechniques : L'indice de consommation (IC), l'indice d'hydratation (IH), l'efficacité protéique (EP) et l'efficacité énergétique (EE) l'ensemble des rats femelles et mâles

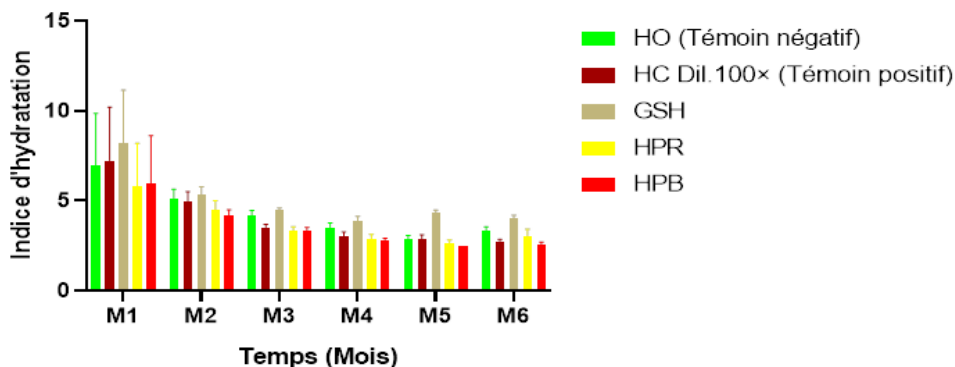
Les effets de la consommation quotidienne des différentes huiles sur une période de six mois chez des rats jeunes sur les paramètres zootechniques ont été évalués à travers le calcul de différents indices. Ces indices nous ont permis de comparer les performances des cinq régimes alimentaires utilisés dans le cadre de cette étude. La **Figure 14** renseigne sur les indices de consommation des lots témoins et expérimentaux obtenus chez des rats jeunes. L'analyse de ces indices indique que la modification du régime alimentaire n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids de l'ensemble des rats au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆. Toutefois, les indices de consommation des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $5,500 \pm 1,55$, $5,448 \pm 1,73$, $6,052 \pm 1,54$, $4,608 \pm 1,47$ et $4,959 \pm 1,54$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $1,113 \pm 0,04$, $0,9501 \pm 0,05$, $1,739 \pm 0,05$, $1,104 \pm 0,09$ et $1,057 \pm 0,07$, au sixième mois. A l'instar de la figure précédente, la **Figure 15** renseigne sur les indices d'hydratation des lots témoins et expérimentaux obtenus sur une période de 6 mois. L'analyse de ces indices indique que la consommation d'eau n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids de l'ensemble des rats au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆. Toutefois, les indices d'hydratation des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $6,971 \pm 2,89$, $7,239 \pm 2,98$, $8,203 \pm 2,96$, $5,814 \pm 2,39$ et $5,950 \pm 2,67$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $3,308 \pm 0,25$, $2,755 \pm 0,11$, $4,019 \pm 0,19$, $3,069 \pm 0,36$ et $2,568 \pm 0,15$, au sixième mois.

Figure 14 : Indice de consommation de l'ensemble des rats femelles et mâles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 12$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

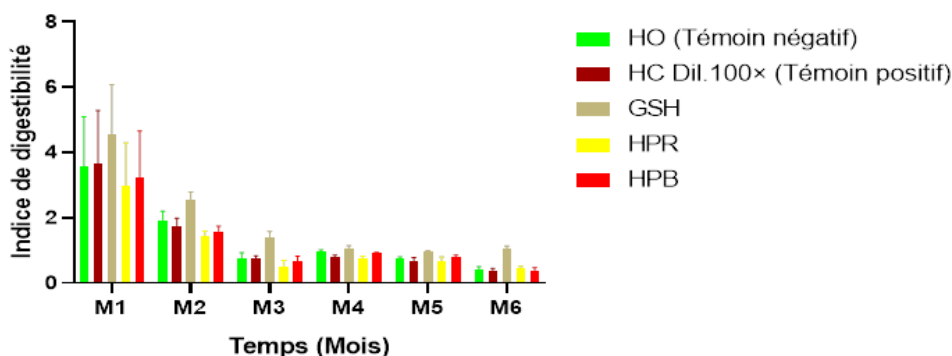
Figure 15 : Indice d'hydratation de l'ensemble des rats femelles et mâles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 12$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO :

Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

Figure 16 : Indice de digestibilité de l'ensemble des rats femelles et mâles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



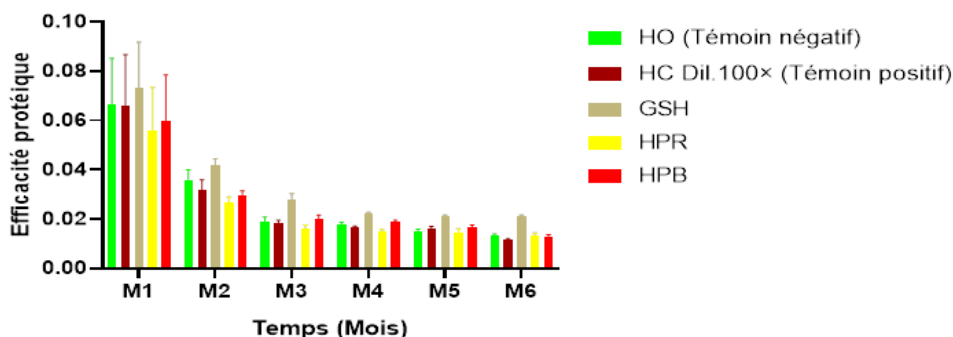
*Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 12$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.*

La **Figure 16** nous renseigne sur les indices de digestibilité des lots témoins et expérimentaux obtenus sur une période de 6 mois. L'analyse de ces indices indique que la portion d'aliments absorbés par l'organisme de chacun des rats n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆. Toutefois, les indices de digestibilité des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $3,548 \pm 1,55$, $3,660 \pm 1,62$, $4,547 \pm 1,52$, $2,980 \pm 1,31$ et $3,207 \pm 1,45$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $0,3908 \pm 0,11$, $0,3591 \pm 0,09$, $1,059 \pm 0,07$, $0,4621 \pm 0,05$ et $0,3860 \pm 0,08$, au sixième mois. L'analyse de ces indices indique que le taux de protéines contenu dans les différents régimes n'a pas eu d'impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids de l'ensemble au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆. Toutefois, les indices d'efficacité protéique des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de :

$0,06644 \pm 0,02$, $0,06581 \pm 0,02$, $0,07311 \pm 0,02$, $0,05567 \pm 0,02$ et $0,05990 \pm 0,02$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $0,01344 \pm 0,0004$, $0,01148 \pm 0,0005$, $0,02101 \pm 0,0007$, $0,01334 \pm 0,001$ et $0,01277 \pm 0,0009$, au sixième mois.

La **Figure 17** nous renseigne sur les efficacités protéiques des différents régimes sur les lots témoins et les expérimentaux obtenus sur une période de 6 mois.

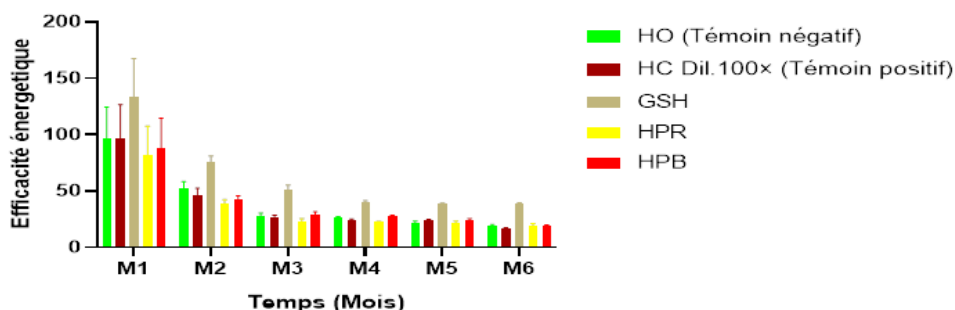
Figure 17 : Efficacité protéique de l'ensemble des rats femelles et mâles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 12$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6

Enfin la **Figure 18** nous renseigne sur l'indice d'efficacité énergétique des différents régimes sur les lots témoins et expérimentaux obtenus sur une période de 6 mois. L'analyse de ces indices indique que le pouvoir calorique des différents régimes n'a eu aucun impact significatif ($p > 0,05$) sur le gain de poids de l'ensemble des rats au sein des lots dans les mois M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆. Toutefois, les indices d'efficacité énergétique des lots HO, HC Dil.100×, GSH, HPR et HPB, étaient respectivement de : $96,99 \pm 27,38$, $96,07 \pm 30,49$, $133,4 \pm 34,00$, $81,35 \pm 26,03$ et $87,44 \pm 27,10$, au premier mois ont considérablement baissé pour atteindre respectivement : $19,62 \pm 0,63$, $16,75 \pm 0,80$, $38,33 \pm 1,19$, $19,49 \pm 1,51$ et $18,64 \pm 1,28$, au sixième mois.

Figure 18 : Efficacité énergétique de l'ensemble des rats femelles et mâles nourris aux régime enrichis à HO 20 %, HC Dil.100×, HPR 20 %, HPB 20 % et GSH



Les valeurs sont représentées sous la forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm SEM$). $n = 12$ rats dans chaque groupe. Les comparaisons se font entre les lots témoins et les autres lots, $*p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin négatif et les autres lots ; $\#p < 0,05$: différence significative entre le lot témoin positif et les autres lots. HO : Huile d'olive, HC Dil.100× : Huile de croton diluée cent fois, GSH : Granulé sans huile, HPR : Huile de palme raffinée, HPB : Huile de palme brute. M₁, M₂, M₃, M₄, M₅, M₆ : désignent respectivement Mois 1, Mois 2, Mois 3, Mois 4, Mois 5, Mois 6.

Discussion

La satiété, définie comme l'état d'absence de faim, d'absence de désir de manger, s'accompagne généralement d'un état de détente associé à la satisfaction du besoin métabolique, et parfois d'une somnolence postprandiale (Wells et *al.*, 1998). La durée ainsi que l'intensité de cet état de satiété dépendent de plusieurs facteurs, dont le contenu énergétique et nutritionnel du repas précédent (Bellisle, 2005). La durée et l'intensité de la satiété induite par un repas varient en fonction de la charge énergétique de ce repas. Secondairement, à charge énergétique égale, les macronutriments produisent des effets différents sur la satiété. En effet, les protéines induisent la satiété la plus intense et la plus durable (De Castro, 1987 ; Porrini et *al.*, 1997). Des protéines d'origine différentes produisent une satiété quasi égale (Lang et *al.*, 1998).

La composition protéique de l'alimentation habituelle joue un rôle modulateur de la capacité des protéines à induire la satiété. Cependant le pouvoir satiétogène des glucides varie en fonction de nombreux facteurs métaboliques ou sensoriels. La saveur sucrée caractéristique de nombreux aliments glucidiques, constitue un puissant stimulant de la prise alimentaire. Le fait d'avoir consommé un aliment sucré et agréable au cours d'un repas stimule la reprise de la consommation de produits sucrés peu après la fin du repas, indépendamment de sa composition énergétique (Reid et *al.*, 1994 ;

Pérez et *al.*, 1994). A charge énergétique égale, les aliments à faible index glycémique produisent une satiété plus intense, que les aliments à fort index glycémique (Ludwig et *al.*, 1999). Les lipides infusés dans l'intestin induisent une forte satiété (Read, 1992). L'infusion de lipides diminue la prise alimentaire et ralentit la vidange gastrique. Les lipides induisent également la sécrétion de la cholécystokinine, qui est une hormone considérée comme un puissant facteur de satiété. Or, les lipides alimentaires ne suscitent qu'une faible satiété malgré leur charge énergétique élevée (Blundell et *al.*, 1993). Il existe par ailleurs une 'insensibilité relative' aux calories apportées par les lipides (Rolls et *al.*, 1995) même si les acides gras polyinsaturés exercent une activité satiétogène, à court terme, plus puissante que les acides gras monoinsaturés ou saturés (Lawton et *al.*, 2000). Le faible pouvoir satiétogène des régimes riches en lipides favorise en conséquence une augmentation de la consommation énergétique, et sont associés au gain de poids et même à l'obésité chez l'animal comme chez l'homme.

La faible consommation alimentaire des rats nourris aux régimes HPB, HPR, HO et HC Dil.100×, observé à partir du troisième mois, serait due à une baisse de l'appétence pour les différentes huiles incorporées dans l'aliment de base (granulé). Selon le FAO (2008), les graisses alimentaires ralentissent la motilité intestinale et la vidange gastrique en augmentant ainsi le temps moyen de rétention de l'aliment dans le tractus digestif ; d'où le prolongement de la sensation de satiété.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que les rats nourris avec un régime standard sans huile (GSH) ont présenté les meilleures performances nutritionnelles. Ce groupe a enregistré un gain pondéral significativement plus élevé, une digestibilité supérieure, ainsi que les meilleures efficacités protéique et énergétique. Ces observations confirment que l'absence d'ajout lipidique favorise une meilleure assimilation des nutriments, comme le rapportent Bohué et al. (2016), qui ont démontré que les régimes simples permettent une meilleure conversion alimentaire chez le rat *Wistar*.

À l'inverse, les groupes supplémentés en huile d'olive (HO) et en huile d'olive contaminée par 1 % d'huile de croton (HC Dil.100×) ont affiché les performances les plus faibles, notamment en efficacité énergétique. Cette baisse progressive de l'appétence observée au fil du temps pourrait être attribuée à l'oxydation des lipides ou à la présence de composés irritants dans l'huile de croton. Les effets délétères de cette dernière ont été largement documentés, notamment par Newton (2001) et Berenblum (1941), qui ont mis en évidence ses propriétés carcinogènes et irritantes. Bien que l'huile de croton possède des vertus thérapeutiques lorsqu'elle est utilisée sous stricte surveillance médicale (Hetter, 2000a ; Hetter, 2000b), son incorporation dans

un régime alimentaire, même à faible dose, semble compromettre les performances nutritionnelles.

Les groupes supplémentés en huile de palme brute (HPB) et raffinée (HPR) ont présenté des performances intermédiaires. Aucune différence significative de gain de poids n'a été observée entre ces groupes et le groupe témoin, ce qui suggère que la consommation modérée d'huile de palme, qu'elle soit brute ou raffinée, n'induit pas de prise de poids excessive. Ces résultats corroborent les travaux de Tiahoun (2006) et Edem (2002), qui indiquent que l'huile de palme, notamment dans sa forme brute riche en tocotriénols et caroténoïdes, peut être bien tolérée dans un régime équilibré. Les propriétés antioxydantes de ces composés, notamment leur action contre les espèces réactives de l'oxygène, contribuent à la stabilité métabolique et à la prévention de certaines pathologies (Ong et al., 2007 ; Sen et al., 2007). Des études plus récentes (Zhou et al., 2023 ; Nti et al., 2024) confirment que les effets métaboliques de l'huile de palme dépendent fortement de sa qualité, de son mode de transformation et de son intégration dans le régime alimentaire global.

L'analyse mensuelle des données révèle que les différences de gain de poids entre les groupes sont significatives dès le deuxième mois, et deviennent extrêmement significatives à partir du troisième mois, en particulier entre le groupe GSH et les groupes supplémentés en huiles. Ces écarts traduisent une influence directe du type d'huile sur l'appétence, la digestibilité et l'efficacité nutritionnelle du régime. Il est également notable que les tendances observées chez les rats mâles et femelles sont globalement similaires, ce qui renforce la robustesse des résultats et suggère que les effets observés ne sont pas liés à des facteurs hormonaux ou comportementaux.

Les indices de consommation et d'hydratation ont montré une baisse progressive au fil des mois, quel que soit le régime alimentaire. Cette diminution pourrait être liée à une adaptation métabolique ou à une saturation sensorielle des animaux face à des régimes enrichis en lipides. Toutefois, aucune différence significative n'a été observée entre les groupes pour ces paramètres, ce qui indique que l'impact des huiles sur la consommation globale reste limité.

L'indice de digestibilité, en revanche, a confirmé la supériorité du régime standard (GSH), avec une meilleure assimilation des nutriments. Ce résultat est cohérent avec les observations de Bohué et al. (2016), qui ont souligné que les régimes non enrichis permettent une meilleure conversion alimentaire et une croissance plus régulière chez le rat.

Les limites de cette étude résident dans l'absence d'analyses biochimiques complémentaires, telles que le profil lipidique, les enzymes hépatiques ou les marqueurs inflammatoires, qui auraient permis de mieux comprendre les mécanismes métaboliques sous-jacents. De plus, l'impact à

long terme de ces huiles sur les organes cibles (foie, cœur, reins) n'a pas été exploré, ce qui constitue une piste importante pour des recherches futures.

Enfin, bien que cette étude ait été menée sur un modèle animal, ses résultats apportent des données expérimentales solides sur les effets comparés de plusieurs huiles végétales. Elle confirme que la consommation modérée d'huile de palme, qu'elle soit brute ou raffinée, est compatible avec une alimentation équilibrée chez le rat *Wistar*. En revanche, l'ajout d'huile de croton à l'huile d'olive altère significativement les performances nutritionnelles, soulignant la nécessité d'une régulation stricte de son usage.

Ces résultats, bien que préliminaires, peuvent contribuer à éclairer les recommandations nutritionnelles dans les pays où l'huile de palme constitue une source lipidique majeure. Ils invitent également à une réévaluation des perceptions négatives associées à cette huile, en tenant compte de sa qualité, de son mode de transformation et de son intégration dans un régime alimentaire global. Des études cliniques complémentaires, incluant des biomarqueurs métaboliques et des suivis à long terme, seraient nécessaires pour extrapoler ces données au contexte humain et renforcer les politiques de santé publique en matière de consommation lipidique.

Conclusion

Cette étude a évalué les effets anthropométriques de la consommation quotidienne de différentes huiles végétales chez le rat *Wistar*. Le régime standard sans huile (GSH) a montré les meilleures performances nutritionnelles, tandis que les régimes enrichis en huile d'olive, notamment contaminée par 1 % d'huile de croton, ont entraîné une baisse significative de l'appétence et de l'efficacité métabolique. Les huiles de palme, brutes ou raffinées, ont induit des effets intermédiaires, sans impact négatif majeur sur le poids corporel. Ces résultats soulignent l'influence de la qualité lipidique sur la satiété, la consommation alimentaire et le métabolisme énergétique. Ils confirment que l'huile de palme peut être intégrée avec modération dans un régime équilibré, tandis que l'usage alimentaire de l'huile de croton doit être strictement encadré. Ces données expérimentales enrichissent la compréhension des effets nutritionnels des huiles végétales et ouvrent des perspectives pour des recherches complémentaires sur les mécanismes biochimiques, les effets à long terme et l'extrapolation au contexte humain. Elles peuvent également orienter les recommandations nutritionnelles dans les régions où l'huile de palme constitue une source lipidique majeure.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

Déclaration sur les animaux participants à l'étude : L'expérimentation animale s'est déroulée à l'animalerie du Laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée de l'Université Nangui ABROGOUA, Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique, Abidjan, Côte d'Ivoire. Tous les protocoles expérimentaux sont conduits conformément à la directive Européenne du 24 Novembre 1986 (86/606/EEC) relatives à l'usage des animaux d'expérimentation dans la recherche (EU, 1986).

References:

1. Batta, A. (2016). *Étude de l'activité antidiabétique de Tridax procumbens chez le rat diabétique induit par l'alloxane*. Thèse de doctorat, Université de Lomé, Togo.
2. Bellisle, F. (2005). Glucides, appétit et prise alimentaire. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 40(3), 129–134.
3. Berenblum, I. (1941). The cocarcinogenic action of croton oil. *Journal of Cancer Research*, 1(1), 44–48.
4. Blundell, J. E., Burley, V. J., & Cotton, J. R. (1993). Dietary fat and the control of energy intake. *American Journal of Clinical Nutrition*, 57(5), 772S–778S.
5. Bohué, A. I. H., Kamagaté, A., & Yapo, A. P. (2016). Prévalence à l'obésité par la consommation modérée d'huile de palme chez le rat. *European Scientific Journal*, 12(30), 224-242.
6. Čmolík, J. (2000). Physical refining of edible oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 102(7), 472–475.
7. De Castro, J. M. (1987). Macronutrient relationships with meal patterns and mood in the free-living human. *Physiology & Behavior*, 39(4), 561–567.
8. Edem, D. O. (2000). Palm oil: Biochemical, physiological, nutritional, hematological, and toxicological aspects. *Plant Foods for Human Nutrition*, 55(4), 319–341.
9. Edem, D. O. (2002). Nutritional and medicinal value of palm oil. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 6(1), 25–29.
10. EU (1986). « Council Directive 86/609/EEC of 24 November 1986 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States regarding the protection of animals used for experimental and other scientific purposes», Official Journal, vol. L

- 358, pp. 1–28. [Online] Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A31986L0609> (10 Octobre, 2023).
11. FAO (2008). *Fats and fatty acids in human nutrition: Report of an expert consultation*. FAO Food and Nutrition Paper No. 91. [Consulté le 17 septembre 2025]
12. Hetter, K. (2000a). Palm oil and cardiovascular disease: Part I. *Journal of Nutrition and Health*, 16(2), 101–108.
13. Hetter, K. (2000b). Palm oil and cardiovascular disease: Part II. *Journal of Nutrition and Health*, 16(3), 109–115.
14. Hutchinson, J. (1833). On the botanical classification of *Tridax procumbens*. *Transactions of the Linnean Society*, 17(2), 221–230.
15. Johnson, S. L., Mander, A. P., Jones, L. R., Emmett, P. M., & Jebb, S. A. (1993). Energy density and its role in the control of food intake. *International Journal of Obesity*, 17(11), 769–777.
16. Lang, V., Bellisle, F., & Oppert, J. M. (1998). Satiating power of proteins in mixed meals. *Appetite*, 30(1), 45–54.
17. Lawton, C. L., Burley, V. J., Wales, J. K., & Blundell, J. E. (2000). Dietary fat and appetite control in obese subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71(5), 1013–1021.
18. Lecerf, J. M. (2016). Effets métaboliques des acides gras saturés. *HAL Archives Ouvertes*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01345678> (Consulté le 17 septembre 2025).
19. Lombard, J. (2024). Palm oil and public health: A balanced perspective. *Global Journal of Nutrition Science*, 18(2), 112–120.
20. Lombard, P. (2017). La vérité sur l'huile de palme. LaNutrition.fr. Mis à jour le 21 août 2017. Disponible sur : <https://www.lanutrition.fr/bien-dans-son-assiette/les-nutriments/lipides/la-verite-sur-lhuile-de-palme> (Consulté le 17 septembre 2025)
21. Ludwig, D. S., et al. (1999). High glycaemic index foods, overeating, and obesity. *Pediatrics*, 103(3), e26.
22. Mba, O. I., Dumont, M. J., & Ngadi, M. (2015). Palm oil: Processing, characterization and utilization. *Food Bioscience*, 10, 26–41.
23. Newton, A. C. (2001). Protein kinase C: structural and spatial regulation. *Chemical Reviews*, 101(8), 2353–2364.
24. Nti, C. A., & Osei, S. A. (2024). Nutritional evaluation of palm oil in rodent models. *African Journal of Food Science*, 18(1), 33–41.
25. Ong, A. S. H., Goh, S. H., & Choo, Y. M. (2007). Palm oil tocotrienols in cardiovascular health. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 16(3), 421–427.
26. Pérez, C., Bellisle, F., & Féré, C. (1994). Sweet taste and food intake in humans. *Appetite*, 23(1), 1–11.

27. Porrini, M., et al. (1997). Effects of food characteristics on satiety. *Physiology & Behavior*, 62(3), 475–481.
28. Read, N. W. (1992). Dietary fat and gastrointestinal function. *Proceedings of the Nutrition Society*, 51(1), 13–23.
29. Reid, M., Hammersley, R., & Hill, A. (1994). Food deprivation and cravings. *Appetite*, 23(3), 231–246.
30. Rolls, B. J., Bell, E. A., & Waugh, B. A. (1995). Food volume and satiety. *American Journal of Clinical Nutrition*, 62(3), 511–518.
31. Saadatian-Elahi, M., Norat, T., Goudable, J., & Riboli, E. (2004). Biomarkers of dietary fatty acid intake and the risk of breast cancer: A meta-analysis. *International Journal of Cancer*, 111(4), 584–591.
32. Sambanthamurthi, R., Sundram, K., & Tan, Y. A. (2000). Chemistry of palm oil. *Progress in Lipid Research*, 39(6), 507–558.
33. Sczaniecka, A., Rehm, C. D., & Drewnowski, A. (2012). Nutrient density and food cost. *BMC Public Health*, 12(1), 1–8.
34. Sen, C. K., Khanna, S., & Roy, S. (2007). Tocotrienols: Vitamin E beyond tocopherols. *Life Sciences*, 78(18), 2088–2098.
35. Souganidis, E., Koutelidakis, A., & Zampelas, A. (2013). Palm oil and health: A review of current evidence. *Journal of Lipid Research*, 54(4), 1041–1052.
36. Tiahoun, A. (2006). Étude ethnobotanique et pharmacologique de *Tridax procumbens*. *Revue Ivoirienne de Médecine Traditionnelle*, 4(1), 22–30.
37. Veillet, S. (2010). *Effets des acides gras saturés sur la santé cardiovasculaire*. Thèse de doctorat, Université de Montréal, Canada.
38. Zhou, Y., Li, X., & Chen, H. (2023). Comparative metabolic effects of refined and crude palm oil in rodents. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 110, 109–118.