ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

European Scientific Journal, *ESJ*

August 2026

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

August 2026 edition vol. 22, No. 24

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

ISSN: 1857-7431 (Online)
ISSN: 1857-7881 (Print)

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

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

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

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

European Scientific Journal, ESJ
August 2026 Edition Vol. 22, No. 24

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Noor Alam,
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

Rashad A. Al-Jawfi,
Ibb University, Yemen

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

Hans W. Giessen,
Saarland University, Saarbrucken, Germany

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Lodz, Poland

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Anita Lidaka,
Liepaja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

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

Lydia Ferrara,
University of Naples, Italy

Byron A Brown,
Botswana Accountancy College, Botswana

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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 Olavegogeascoechea,
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,
Damietta University, Egypt

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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,
Dnieper Academy of Continuing Education, Ukraine

Oscar Garcia Gaitero,
University of La Rioha, Spain

Alfonso Conde,
University of Granada, Spain

Jose Antonio Pineda-Alfonso,
University of Sevilla, Spain

Jingshun Zhang,
Florida Gulf Coast University, USA

Marco Mele,
Unint University, Italy

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Okyay Ucan,
Omer Halisdemir University, Turkey

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

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

EL Kandoussi Mohamed,
Moulay Ismai University, Morocco

Susana Borras Pentinat,
Rovira i Virgili University, Spain

Jelena Kasap,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Massimo Mariani,
Libera Universita 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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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 Superieure Abidjan (ENS Ivory Coast)

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Alla Manga,
Universitey 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 Superieure d'Abidjan, Ivory Coast

Sophia Barinova,
University of Haifa, Israel

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

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

Aderewa Amontcha,
Universite d'Abomey-Calavi, Benin

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

Rene Mesias Villacres Borja,
Universidad Estatal De Bolivar, Ecuador

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

Qamil Dika,
Tirana Medical University, Albania

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

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

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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 Superieure (ENS), Cote d'Ivoire

Abdelfettah Maouni,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Alina Stela Resceanu,
University of Craiova, Romania

Alilouch Redouan,
Chouaib Doukkali University, Morocco

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

Sufi Amin,
International Islamic University, Islambad Pakistan

Sanja Milosevic Govedarovic,
University of Belgrade, Serbia

Elham Mohammadi,
Curtin University, Australia

Andrianarizaka Marc Tiana,
University of Antananarivo, Madagascar

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

Adriana Burlea-Schiopoiu,
University of Craiova, Romania

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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,
Tecnical University of Ostrava, Czech Republic

Jeewaka Kumara,
University of Peradeniya, Sri Lanka

Antonella Giacosa,
University of Torino, Italy

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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, Morroco

Farid Samir Benavides Vanegas,
Catholic University of Colombia, Colombia

Nedret Kuran Burcoglu,
Emeritus of Bogazici University, Turkey

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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,
Dnopropetrovsk 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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

Desara Dushi,
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

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

Aziz Dieng,
University of Portsmouth, UK

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

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,

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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, Morroco

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

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

Titilayo Olotu,
Kent State University, Ohio, USA

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Murry Siyasiya,
Blantyre International University, Malawi

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

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

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

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

Compaore Inoussa,
Université Nazi BONI, Burkina Faso

Kouakou N'dri Laurent,
Alassane Ouattara University, Ivory Coast

Jalila Achouaq Aazim,
University Mohammed V, Morocco

Georgios Farantos,
University of West Attica, Greece

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

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

Nicolas Ariel Santana,
Instituto de Enseñanza Superior N° 1 – Alicia Moreau de Justo, Argentina

Bouchra Serroukh,
Abdelmalek Essaâdi University, Morocco

Guranda Khabeishvili,
International Black Sea University, Georgia

Insaf El Kalai,
Higher Institute of Nursing and Health Techniques (ISPITS) in Tangier, Morocco

Okoli Moses Ikechukwu,
Nnamdi Azikiwe University, Nigeria

Yu-Tung Kuo,
North Carolina Agricultural and Technical State University, USA

Lindita Licaj,
University of Vlore “Ismail Qemali, Albania

Yassin Selouani,
Abdelmalek Essaâdi University, Tangier, Morocco

Koffi N’Dri Celestin,
Université Alassane Ouattara, Côte d'Ivoire

Artemisi Shehu Dono
University of Tirana, Albania

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Ouattara Aboubakar
Université Peleforo Gon Coulibaly, Côte d'Ivoire

Eliana Cardenas Mendez
Universidad Autónoma Del Estado De Quintana Roo (UQROO), Mexico

Oscar Gutierrez Coronado
University of Guadalajara, Mexico

Hicham Saidi
Moulay Ismail University, Morocco

Luis Carlos do Rego Furtado
University of the Azores – School of Health, Portugal

Santiago Marquina Benitez
Autonomous University of Guerrero, Mexico

Mamta Rathore
Mohanlal Sukhadia University, India

Afiwa Dodzi Anago
University of Abomey-Calavi, Benin

Irakli Shamatava
Caucasus University, Georgia

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Table of Contents:

Clinical Significance of DPYD Gene Polymorphism Testing in Colorectal Cancer Patients Receiving Fluoropyrimidine-Based Chemotherapy: A Single-Center Study in Latvia.....1
Sofija Vilisova
Aija Gerina

Student Perceptions of an AI-Enhanced Virtual Reality University Office Environment: An Observation-Based Empirical Study.....16
Amra Abazi Feta
Hiqmet Kamberaj

Energy Recovery from Ulva sp. Algal Biomass in the Form of Fuel Briquettes: The Influence of the Binder on Energy and Mechanical Performance.....33
Kalidou Ba
Mamadou Faye
Alpha Ousmane Toure

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Effet de la granulométrie et de deux méthodes de séchage sur le rendement d'extraction, la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante des feuilles de Sclerocarya birrea (A. Rich.) Hochst. (Anacardiaceae).....55

Bakary Moussa Cisse

Mahamane Haidara

Aïchata Ben Adam Mariko

Adama Denou

Mamadou Lamine Diarra

Rasmané Semde

Rokia Sanogo

Fréquence, facteurs associés et profil microbiologique des suppurations post-césariennes à l'hôpital de zone Saint Jean de Dieu de Boko, Bénin, 2020–2024.....70

Cossi Prudencio Corneille Kamoutchoni

Angelo Challa

Gutemberg Kpossou

Mavlyson Kolawolé Zinvokpodo

Morelle Capo-Chichi

Laure Aguida

Paulin Dossou

Yves Alloukoutou

Sofonie Toumoudagou

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Prévalence des marqueurs moléculaires de résistance de Plasmodium falciparum à la Sulfadoxine-Pyriméthamine et à l'Amodiaquine au début de la chimioprévention du paludisme saisonnier au Togo.....85
Yao Mawuenyégan Agbo
Komi Kusiaku
Kossi Alowe
Kokou Messan Afanou
Bakenanmè Lare
Nadiédjoa Kokou Douti

Études ethnomédicinales, phytochimiques et activité antiradicalaire de Euphorbia hirta L. utilisée à visée galactogène dans la médecine traditionnelle chez les Sara-Kaba de Hélibongo et Kémata, dans la province du Moyen-Chari (Tchad).....103
Ndjebwo Oroma Mina

Caractères botaniques et physicochimiques d'une plante antidiabétique : Gymnema sylvestre (Retz.) R.Br. ex Sm. (Apocynaceae).....124
Mamadou Lamine Diarra
Adama Dénou
Adiaratou Togola

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Structure démographique et dynamique de la population du cobe de Buffon (Kobus kob kob, Erxleben, 1777) dans la Forêt classée et ranch de gibier de Nazinga au Burkina Faso.....135
Faïdal Ben Sidy Kevin Tiendrebeogo
Ollo Théophile Dibloni
Sidiki Roland Konate
Mipro Hien

Régénération et reconstitution de cinq essences commerciales de l'UFA Ipendja, nord du Congo.....164
Paul Patrick Mangonga
Pierre Mbete
Aristide Ewamela

Diversité mammalienne sous plantations d'Acacia auriculiformis et Acacia mangium, cas des Plateaux Batéké, République du Congo.....198
Armain Praïme Ouladis Hollat Louis
Pierre Mbete
Lilas Tran Ngoc
Hardan Banzounzi-Massamba
Paul Bertaux

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Producteurs et itinéraires de production maraîchère sur le littoral togolais.....222
Kossi Biava Afatsao
Kodjo Djidjole Etse
Komlan Edjedu Sodjinou
Benziwa Nathalie Johnson
Raoufou Radji
Marie-Luce Akossiwoa Quashie

Effets de différents types de fertilisation sur la composition nutritionnelle de l'amarante (Amaranthus hybridus L.) cultivée à Kinshasa.....248
Evariste Mununu Yoyo
Lucien Ibobondji Kapuku
François Ikaa Lefeta
Joseph Ntumba Tshibangu
Benjamin Enanga Etun
Joël Mangana Ikoko
Mamy Binzunga Makumbu
Faustin Lokinda Litalema
Antoine Mumba Diamba

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Clinical Significance of DPYD Gene Polymorphism Testing in Colorectal Cancer Patients Receiving Fluoropyrimidine-Based Chemotherapy: A Single-Center Study in Latvia

Sofija Vilisova, MD
Aija Gerina, PhD
Pauls Stradiņš Clinical University Hospital, Latvia

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p1

Submitted: 01 June 2026
Accepted: 28 July 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Vilisova, S., & Gerina, A. (2026). *Clinical Significance of DPYD Gene Polymorphism Testing in Colorectal Cancer Patients Receiving Fluoropyrimidine-Based Chemotherapy: A Single-Center Study in Latvia*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 1. https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p1

Abstract

Background: Fluoropyrimidine-based chemotherapy, including 5-fluorouracil (5-FU) and capecitabine, is a cornerstone of colorectal cancer (CRC) treatment. However, treatment-related toxicity varies substantially among patients and is influenced by pharmacogenetic factors. Variants in the *DPYD* gene, which encodes the enzyme dihydropyrimidine dehydrogenase (DPD), are associated with reduced enzyme activity and an increased risk of severe toxicity.

Aim: To evaluate the prevalence of clinically relevant *DPYD* polymorphisms in Latvian CRC patients receiving fluoropyrimidine-based chemotherapy and assess the clinical impact of genotype-guided dose adjustment.

Methods: This single-center observational study included 46 patients with histologically confirmed CRC treated at Pauls Stradiņš Clinical University Hospital. Patients were divided into retrospective and prospective cohorts. Genotyping was performed for four clinically relevant *DPYD* variants (c.1905+1G>A, c.1679T>G, c.2846A>T, and c.1236G>A). Clinical data, treatment modifications, and toxicity outcomes were analyzed. Toxicity was graded according to CTCAE criteria. Descriptive statistics and Pearson's chi-square test were used for statistical analysis.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Results: Chemotherapy-related toxicity occurred in 20/46 patients (43.5%), while severe toxicity (grade 3–4) occurred in 6/46 patients (13.0%). Clinically relevant DPYD variants were detected in 2/46 patients (4.3%). One prospectively identified carrier underwent genotype-guided dose reduction, and no chemotherapy-related toxicity was observed. Age >70 years was significantly associated with dose reduction (p=0.02). The distribution of chemotherapy-related toxicity grades differed significantly across the three age groups (p = 0.042).

Conclusion: DPYD testing appears feasible and potentially useful in routine oncology practice. However, its clinical impact could not be definitively assessed in this small cohort because of the limited number of DPYD variant carriers. Larger multicenter studies are needed to determine its impact on treatment safety and toxicity reduction.

Keywords: Colorectal cancer, DPYD, pharmacogenomics, fluoropyrimidines, toxicity

Introduction

Colorectal cancer (CRC) remains one of the most commonly diagnosed malignancies worldwide and represents a major cause of cancer-related morbidity and mortality. According to global epidemiological data, CRC accounts for more than 1.9 million new cases annually and approximately 935,000 deaths worldwide, making it the third most commonly diagnosed cancer and the second leading cause of cancer-related death (Arnold et al., 2017; Sung et al., 2021). Despite improvements in screening, early detection, and treatment strategies, CRC continues to pose a significant burden on healthcare systems, particularly in regions with aging populations and changing lifestyle risk factors.

In Europe, CRC incidence and mortality rates remain high, and the disease represents a major public health concern. In Latvia, CRC is among the most frequently diagnosed malignancies, contributing substantially to cancer-related morbidity and mortality. Although national screening programs have been implemented, a considerable proportion of patients are still diagnosed at advanced stages, requiring systemic therapy.

The management of CRC involves a multidisciplinary approach, including surgery, systemic chemotherapy, targeted therapy, and radiotherapy. Among systemic treatment options, fluoropyrimidine-based chemotherapy remains a cornerstone in both adjuvant and metastatic settings (Longley et al., 2003; Van Cutsem et al., 2016). Agents such as 5-fluorouracil (5-FU) and its oral prodrug capecitabine are widely used due to their established efficacy and central role in standard treatment protocols.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

The antitumor activity of fluoropyrimidines is primarily mediated through inhibition of thymidylate synthase, resulting in impaired DNA synthesis and cell cycle arrest. Additionally, these agents are incorporated into RNA and DNA, disrupting transcriptional and translational processes and ultimately leading to tumor cell death (Longley et al., 2003). Despite their therapeutic effectiveness, fluoropyrimidines are characterized by a narrow therapeutic index and considerable interindividual variability in both efficacy and toxicity.

Fluoropyrimidine-associated toxicity represents a major clinical challenge. Approximately 10–30% of patients experience severe toxicity during treatment, including gastrointestinal toxicity, mucositis, hematological complications, neurotoxicity, and cardiotoxicity, which may lead to treatment interruption, hospitalization, and, in rare cases, treatment-related mortality (Amstutz et al., 2011; Clasen et al., 2017; Khan et al., 2023).

One of the most important determinants of fluoropyrimidine toxicity is the activity of the enzyme dihydropyrimidine dehydrogenase (DPD), which is responsible for the metabolism of approximately 80–85% of administered 5-FU (Lu et al., 1992). Reduced or absent DPD activity results in increased systemic exposure to active metabolites and a substantially elevated risk of severe toxicity (Etienne et al., 1994).

DPD activity is largely determined by genetic variation in the *DPYD* gene. Several clinically relevant variants have been identified, including c.1905+1G>A (*DPYD 2A*), c.1679T>G (*DPYD 13*), c.2846A>T, and c.1236G>A (HapB3), all of which are associated with reduced DPD activity and increased susceptibility to fluoropyrimidine-related toxicity (Henricks et al., 2018; Meulendijks et al., 2015; Offer et al., 2013). The prevalence of clinically relevant *DPYD* variants in European populations is estimated to range from 3% to 8% (Deenen et al., 2016; Henricks et al., 2018; Van Kuilenburg et al., 2002).

Over the past decade, pharmacogenomics has become an important component of precision oncology, enabling individualized treatment strategies based on genetic variability. In the context of fluoropyrimidine therapy, identification of *DPYD* variants before treatment initiation allows clinicians to adjust dosing, reduce toxicity risk, and improve treatment safety.

International guidelines, including those developed by the Clinical Pharmacogenetics Implementation Consortium (CPIC), the Dutch Pharmacogenetics Working Group (DPWG), and the European Medicines Agency (EMA), recommend pre-treatment *DPYD* testing in patients receiving fluoropyrimidine-based chemotherapy (Amstutz et al., 2018; European Medicines Agency, 2020; Lunenburg et al., 2020). Increasing evidence demonstrates that genotype-guided dosing significantly reduces the incidence

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

of severe toxicity while maintaining treatment efficacy (Deenen et al., 2016; Henricks et al., 2018).

Despite these advances, implementation of pharmacogenetic testing remains inconsistent across healthcare systems because of cost considerations, limited access to testing, and the absence of standardized national protocols. In Latvia, routine *DPYD* testing has not yet been fully integrated into clinical practice, and real-world data regarding its clinical utility remain limited.

Therefore, the aim of this study was to evaluate the prevalence of clinically relevant *DPYD* gene polymorphisms in Latvian colorectal cancer patients receiving fluoropyrimidine-based chemotherapy and to assess the clinical significance and real-world impact of genotype-guided dose adjustment strategies in routine oncology practice.

Methods

Study Design and Setting

This study was conducted as a single-center observational cohort study at Pauls Stradiņš Clinical University Hospital, a tertiary care institution providing specialized oncological services in Latvia. The study design incorporated both retrospective and prospective components, allowing evaluation of clinical outcomes before and after the implementation of pharmacogenetic testing in routine clinical practice.

The retrospective cohort comprised patients selected chronologically from multidisciplinary tumor board records from 2021 to 2022. The prospective cohort included patients recruited from 4 September 2023 to 31 December 2024 who underwent DPYD genotyping before the initiation of fluoropyrimidine-based chemotherapy. Patients in both cohorts were followed throughout the course of fluoropyrimidine-based chemotherapy, from treatment initiation until treatment completion or discontinuation. This approach enabled assessment of the real-world clinical impact of genotype-guided treatment strategies.

Study Population

A total of 46 adult patients with histologically confirmed colorectal cancer were included in the study. Colorectal cancer was diagnosed based on histopathological examination of tumor tissue obtained by endoscopic biopsy or surgical resection, in accordance with international clinical guidelines (Argilés et al., 2020). Patients were treated at Pauls Stradiņš Clinical University Hospital and had either received or were scheduled to receive fluoropyrimidine-based chemotherapy. No formal sample size calculation was performed because of the exploratory nature of the study. The sample size was determined by the number of eligible patients available at the study center

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

during the predefined study periods and the limited availability of DPYD testing during its initial implementation in routine clinical practice.

Inclusion criteria were:

- age ≥18 years
- histologically confirmed colorectal cancer
- treatment with fluoropyrimidine-based chemotherapy (5-fluorouracil or capecitabine)
- availability of clinical and treatment-related data

Exclusion criteria included:

- incomplete or missing clinical data
- prior discontinuation of treatment due to non-treatment-related factors

All patients included in the prospective cohort provided written informed consent prior to participation in the study.

DPYD Genotyping

Peripheral venous blood samples were collected in EDTA-containing tubes prior to the initiation of chemotherapy. Genomic DNA was extracted using the QIAcube HT system and the QIAamp DNA Blood Mini Kit (Qiagen, Hilden, Germany). DNA concentration was measured using the NanoPhotometer N60 (Implen, Munich, Germany). DPYD genotyping was performed using a real-time polymerase chain reaction (RT-PCR)-based commercial assay (gb PHARM DPYD kit, catalogue No. 3255-025) according to the manufacturer's instructions. Amplification and genotype detection were performed using the CFX96 Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA). The assay targeted four clinically relevant DPYD variants: c.1905+1G>A (DPYD*2A), c.1679T>G (DPYD*13), c.2846A>T, and c.1236G>A (HapB3). These variants were selected based on their established clinical relevance and association with reduced DPD enzyme activity and an increased risk of fluoropyrimidine-related toxicity, as reported in international pharmacogenetic guidelines. The commercial assay included wild-type, heterozygous, and mutant controls, which were used in accordance with the manufacturer's instructions for analytical quality control. All analyses were performed according to standardized laboratory protocols.

Clinical Data Collection

Clinical data were obtained retrospectively from patient medical records and prospectively from clinical documentation.
The following variables were collected and analyzed:

- demographic characteristics (age, sex)
- tumor characteristics (location, stage)

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

- treatment regimens (type of fluoropyrimidine, combination therapy)
- chemotherapy dose and dose modifications
- occurrence and severity of treatment-related toxicity

For descriptive analyses, patients were stratified into two age groups (≤70 and >70 years). For analysis of chemotherapy-related toxicity grades, patients were categorized into three age groups (40–49, 50–69, and ≥70 years).

Assessment of Toxicity

Chemotherapy-related toxicity was assessed using the Common Terminology Criteria for Adverse Events (CTCAE). Toxicity was categorized into:

- any-grade toxicity
- severe toxicity (grade 3–4)

Specific types of toxicity included gastrointestinal toxicity, hematological toxicity, neurotoxicity, and thrombotic complications.
All toxicity events were recorded and analyzed in relation to patient characteristics and treatment parameters.

Treatment and Dose Modification

Fluoropyrimidine-based chemotherapy was administered according to standard clinical protocols. In the retrospective cohort, treatment decisions were based on standard clinical assessment without pharmacogenetic guidance. In the prospective cohort, DPYD genotype-guided dose adjustment was performed according to the Clinical Pharmacogenetics Implementation Consortium (CPIC) recommendations (Amstutz et al., 2018).

Patients with a normal DPYD activity score of 2.0 received the standard fluoropyrimidine dose. For heterozygous carriers of reduced-function variants, including c.2846A>T and c.1236G>A (HapB3), corresponding to a DPYD activity score of 1.5, an initial fluoropyrimidine dose reduction of 50% was recommended, followed by dose titration based on treatment tolerance and toxicity. For heterozygous carriers of no-function variants, including c.1905+1G>A (DPYD2A) and c.1679T>G (DPYD13), corresponding to a DPYD activity score of 1.0, an initial dose reduction of 50% was recommended, followed by dose titration according to clinical tolerance. Fluoropyrimidines were avoided in patients with complete DPD deficiency.

In the present prospective cohort, one patient was identified as a heterozygous carrier of the c.1236G>A (HapB3) variant, and the initial fluoropyrimidine dose was reduced in accordance with these recommendations. Dose reduction was defined as any decrease from the initially planned chemotherapy dose.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using Microsoft Excel 365 with the Data Analysis ToolPak (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Descriptive statistics were used to summarize demographic characteristics, clinical variables, treatment parameters, DPYD genotype distribution, and toxicity outcomes. Categorical variables were presented as frequencies and percentages, whereas continuous variables were summarized using means and ranges.

Associations between categorical variables were assessed using Pearson's chi-square (χ^2) test. The distribution of chemotherapy-related toxicity grades (grade 0–4) was compared across three age groups (40–49, 50–69, and ≥70 years) using Pearson's chi-square test. Associations between age group and dose reduction were also evaluated. All statistical tests were two-sided, and a p-value <0.05 was considered statistically significant.

Due to the limited sample size and the small number of DPYD variant carriers, multivariable analyses were not performed. The results should therefore be interpreted as exploratory and hypothesis-generating.

Because only two patients carried clinically relevant DPYD variants, no formal statistical comparison between DPYD variant carriers and non-carriers was performed. Descriptive reporting was considered more appropriate than inferential statistical testing in this subgroup because of the very small expected cell counts.

Ethical Considerations

The study was reviewed and approved by the Central Medical Ethics Committee of Latvia and registered with the Ministry of Health under registration No. 7611. A favorable ethical opinion was issued on 4 September 2023 (Protocol No. 2023-5). The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. All patients included in the prospective cohort provided written informed consent prior to participation. Patient confidentiality was maintained throughout the study, and all data were anonymized prior to analysis.

Results

Patient Characteristics

A total of 46 patients with histologically confirmed colorectal cancer were included in the study. The baseline characteristics of the study population are summarized below.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Table 1: Baseline Characteristics of the Study Population According to DPYD Genotype Status

Characteristic	No DPYD Variant Detected (n = 44)	DPYD Variant Detected (n = 2)
Sex, n (%)		
Female	**28 (63.6)**	**1 (50.0)**
Male	**16 (36.4)**	**1 (50.0)**
Age, years		
Mean (range)	**65.6 (42–84)**	**62.0 (51–73)**
Age group, n (%)		
40-49 years	**2 (4.5)**	**0 (0.0)**
50-69 years	**23 (52.3)**	**1 (50.0)**
≥70 years	**19 (43.2)**	**1 (50.0)**
Diagnosis, n (%)		
C18 (Colon cancer)	**28 (63.6)**	**2 (100.0)**
C19 (Rectosigmoid junction cancer)	**5 (11.4)**	**0 (0.0)**
C20 (Rectal cancer)	**11 (25.0)**	**0 (0.0)**

Abbreviations: DPYD, dihydropyrimidine dehydrogenase gene

Statistical comparisons between patients with and without clinically relevant DPYD variants were not performed because only two patients carried a DPYD variant, precluding meaningful statistical analysis. Baseline characteristics of the study population are summarized in Table 1. Overall, 29/46 patients (63.0%) were female, and the mean age was 65.4 years.

DPYD Genotype Distribution

Analysis of DPYD gene polymorphisms revealed that 2/46 patients (4.3%) carried a clinically relevant DPYD variant. No other clinically significant DPYD variants (c.1905+1G>A, c.1679T>G, or c.2846A>T) were detected in this cohort.

Cohort Distribution and DPYD Testing Strategy

Of the 46 patients included in the study, 17/46 (37.0%) underwent retrospective DPYD testing after initiation or completion of fluoropyrimidine-based chemotherapy, whereas 29/46 patients (63.0%) underwent prospective DPYD testing before treatment initiation. In the retrospective cohort, 1/17 patient (5.9%) was identified as carrying the c.1236G>A (HapB3) variant. This patient received the full standard fluoropyrimidine dose and did not develop chemotherapy-related toxicity.

In the prospective cohort, 1/29 patient (3.4%) was identified as a heterozygous carrier of the c.1236G>A (HapB3) variant. Chemotherapy dosing was adjusted according to institutional pharmacogenetic recommendations. No chemotherapy-related toxicity was observed in this patient.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Table 2: Comparison of Retrospective and Prospective Cohorts

Variable	Retrospective (n=17)	Prospective (n=29)
Patients, n	**17**	**29**
DPYD variant carriers, n (%)	**1 (5.9)**	**1 (3.4)**
Variant detected	**c.1236G>A (HapB3)**	**c.1236G>A (HapB3)**
Genotype-guided dose reduction, n	**0**	**1**
Toxicity among DPYD carriers, n	**0**	**0**
Severe toxicity among DPYD carriers, n	**0**	**0**

Chemotherapy-Related Toxicity

Chemotherapy-related toxicity was observed in 20/46 patients (43.5%). Severe toxicity (grade 3–4) occurred in 6/46 patients (13.0%). The most commonly observed toxicities included gastrointestinal toxicity, such as diarrhea and mucositis, as well as peripheral neuropathy and thrombotic complications.

Dose Modification

Dose reduction was required in 13/46 patients (28.3%).
A statistically significant association was observed between age >70 years and dose reduction ($p = 0.02$).

Association Between Age and Toxicity

The distribution of chemotherapy-related toxicity grades differed significantly among the three age groups (40–49, 50–69, and ≥70 years, $p = 0.042$). Severe toxicity (grade 3–4) occurred in 1/2 patients aged 40–49 years (50.0%), 4/24 patients aged 50–69 years (16.7%), and 1/20 patients aged ≥70 years (5.0%).

Impact of Genotype-Guided Dose Adjustment

In the prospective cohort, genotype-guided dose adjustment was implemented in the patient carrying the c.1236G>A (HapB3) variant. No chemotherapy-related toxicity was observed in this patient.

Discussion

This study provides real-world data regarding the feasibility of implementing DPYD pharmacogenetic testing in colorectal cancer patients receiving fluoropyrimidine-based chemotherapy. Although conducted in a single-center setting with a relatively limited sample size, the findings are consistent with previously published data and demonstrate the practical implementation of DPYD testing in routine oncology practice.

The observed prevalence of clinically relevant DPYD variants in this study (2/46; 4.3%) is consistent with previously reported data from European populations, where the prevalence ranges from approximately 3% to 8%

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

(Deenen et al., 2016; Henricks et al., 2018; Van Kuilenburg et al., 2002). This finding suggests that the Latvian population does not substantially differ from other European populations regarding the distribution of clinically relevant DPYD variants. However, the relatively low number of detected variants may also reflect the limited sample size and the restricted number of variants included in the genotyping panel. Previous studies have demonstrated that rare and less frequently tested DPYD variants may also contribute to fluoropyrimidine-related toxicity (Cui et al., 2025).

Two patients carrying clinically relevant DPYD variants were identified in this study. One patient was identified retrospectively and received the standard fluoropyrimidine dose, whereas one patient was identified prospectively and underwent genotype-guided dose adjustment. Neither patient experienced chemotherapy-related toxicity. However, given the small sample size and the low number of variant carriers, no definitive conclusions regarding the clinical benefit of genotype-guided dose adjustment can be drawn. Although these findings are consistent with previously published prospective studies demonstrating that genotype-guided dosing strategies can reduce the risk of severe fluoropyrimidine-associated toxicity while maintaining treatment efficacy (Boisdron-Celle et al., 2017; Deenen et al., 2016; Henricks et al., 2018), the present study was not designed or powered to confirm these benefits. Larger multicenter studies are therefore required to further evaluate the clinical impact of genotype-guided dosing.

The predominance of the c.1236G>A (HapB3) variant observed in this study is also in agreement with findings from other European cohorts, where HapB3 represents one of the most frequently detected DPYD variants (Lunenburg et al., 2020; Meulendijks et al., 2015). However, recent pharmacogenomic research has highlighted the complexity of predicting fluoropyrimidine toxicity. Emerging evidence suggests that additional rare variants may contribute to reduced DPD activity and toxicity risk, supporting the need for continuous refinement of pharmacogenetic testing panels (Cui et al., 2025).

An interesting finding of this study was that the distribution of chemotherapy-related toxicity grades differed significantly among the three age groups. Numerically, patients aged ≥70 years experienced fewer grade 3–4 toxicities than younger patients. However, this observation should be interpreted cautiously because of the small sample size and the markedly unequal distribution of patients across age groups, particularly the very small number of patients aged 40–49 years. Therefore, no definitive conclusions regarding the relationship between age and severe toxicity can be drawn from this study.

From a clinical perspective, the results emphasize the importance of integrating pharmacogenetic testing into routine oncology practice.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Fluoropyrimidine-associated toxicity may result in treatment interruption, dose reduction, hospitalization, and, in severe cases, treatment-related mortality. Identification of patients at increased risk before treatment initiation represents an important component of safer and more personalized cancer therapy.

Beyond individual patient benefits, implementation of DPYD testing may also have important implications for healthcare systems. Prevention of severe toxicity can reduce hospital admissions, supportive care requirements, and treatment delays, thereby decreasing healthcare expenditures. Several studies have demonstrated the cost-effectiveness of genotype-guided fluoropyrimidine dosing strategies (Brooks et al., 2022; Deenen et al., 2016). Therefore, pharmacogenetic testing may provide both clinical and economic benefits.

Several limitations of this study should be acknowledged. First, the relatively small sample size limits statistical power and may affect the generalizability of the findings. Second, only four clinically relevant DPYD variants were analyzed, potentially underestimating the true prevalence of actionable genetic variation. Third, the observational design does not allow definitive conclusions regarding causality. Furthermore, the single-center design and the combination of retrospective and prospective cohorts may have introduced heterogeneity in patient management and data collection, limiting the generalizability of the findings.

Future studies should include larger multicenter cohorts and expanded genotyping panels to provide a more comprehensive assessment of DPYD variability. Integration of pharmacogenetic data with additional clinical and molecular markers may further improve risk stratification and treatment individualization.

Overall, the findings of this exploratory single-center study suggest that pre-treatment DPYD pharmacogenetic testing is feasible and may represent a useful component of personalized treatment planning for patients receiving fluoropyrimidine-based chemotherapy. However, because only two patients carried clinically relevant DPYD variants and only one underwent prospective genotype-guided dose adjustment, this study was not powered to assess the clinical effectiveness of genotype-guided dosing, and no definitive conclusions regarding its clinical benefit can be drawn. Larger multicenter prospective studies are required to confirm these findings.

Conclusions

Clinically relevant DPYD variants were detected in 2/46 patients (4.3%). The implementation of pre-treatment DPYD testing was feasible in routine oncology practice and allowed genotype-guided dose adjustment in one prospectively identified variant carrier. Although no severe toxicity was

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

observed among DPYD variant carriers in this cohort, the limited sample size prevents definitive assessment of the impact of genotype-guided dosing on treatment safety. These findings suggest the potential clinical utility of DPYD testing and should be further evaluated in larger multicenter studies.

Acknowledgments

The author would like to express sincere gratitude to the study supervisor for guidance, valuable advice, and support throughout the preparation of this research. The author also thanks the staff of the Department of Oncology at Pauls Stradiņš Clinical University Hospital for their assistance in data collection and study implementation.

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 reviewed and approved by the Central Medical Ethics Committee of Latvia. The study was registered with the Ministry of Health under registration No. 7611 and received a favorable ethical opinion on 4 September 2023 (Protocol No. 2023-5). The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki.

References:

1. Amstutz, U., Froehlich, T. K., & Largiadèr, C. R. (2011). Dihydropyrimidine dehydrogenase gene as a major predictor of severe 5-fluorouracil toxicity. *Pharmacogenomics, 12*(9), 1321–1336. https://doi.org/10.2217/pgs.11.72
2. Amstutz, U., Henricks, L. M., Offer, S. M., Barbarino, J., Schellens, J. H., Swen, J. J., et al. (2018). Clinical Pharmacogenetics Implementation Consortium (CPIC) guideline for DPYD genotype and fluoropyrimidine dosing. *Clinical Pharmacology & Therapeutics, 103*(2), 210–216. https://doi.org/10.1002/cpt.911
3. Argilés, G., Tabernero, J., Labianca, R., et al. (2020). Localised colon cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. *Annals of Oncology, 31*(10), 1291–1305.
4. Arnold, M., Sierra, M. S., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2017). Global patterns and trends in colorectal cancer incidence and mortality. *Gut, 66*(4), 683–691. https://doi.org/10.1136/gutjnl-2015-310912

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

5. Boisdron-Celle, M., Capitain, O., Faroux, R., Borg, C., Metges, J. P., Galais, M. P., et al. (2017). Prevention of 5-fluorouracil-induced early severe toxicity by pre-therapeutic dihydropyrimidine dehydrogenase deficiency screening: Assessment of a multiparametric approach. *Seminars in Oncology*, *44*(1), 13–23. https://doi.org/10.1053/j.seminoncol.2017.02.008
6. Brooks, G. A., Tapp, S., Daly, A. T., Busam, J. A., & Tosteson, A. N. A. (2022). Cost-effectiveness of DPYD genotyping prior to fluoropyrimidine-based adjuvant chemotherapy for colon cancer. *Clinical Colorectal Cancer*, *21*(3), e189–e195. https://doi.org/10.1016/j.clcc.2022.05.001
7. Clasen, S. C., Ky, B., O'Quinn, R., Giantonio, B., Teitelbaum, U., & Carver, J. R. (2017). Fluoropyrimidine-induced cardiac toxicity: Challenging the current paradigm. *Journal of Gastrointestinal Oncology*, *8*(6), 970–979. https://doi.org/10.21037/jgo.2017.08.07
8. Cui, E., Medwid, S., Schwarz, U. I., & Kim, R. B. (2025). Potential clinical relevance of rare dihydropyrimidine dehydrogenase genetic variants identified using whole-exome NextGen sequencing in cancer patients with severe fluoropyrimidine toxicity. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology*, *95*(1), 121. https://doi.org/10.1007/s00280-025-04839-9
9. Deenen, M. J., Meulendijks, D., Cats, A., Sechterberger, M. K., Severens, J. L., Boot, H., et al. (2016). Upfront genotyping of DPYD*2A to individualize fluoropyrimidine therapy: A safety and cost analysis. *Journal of Clinical Oncology*, *34*(3), 227–234. https://doi.org/10.1200/JCO.2015.63.1325
10. Etienne, M. C., Lagrange, J. L., Dassonville, O., et al. (1994). Population study of dihydropyrimidine dehydrogenase in cancer patients. *Journal of Clinical Oncology*, *12*(11), 2248–2253. https://doi.org/10.1200/JCO.1994.12.11.2248
11. European Medicines Agency. (2020). *Fluorouracil and related substances: Risk of severe toxicity in patients with dihydropyrimidine dehydrogenase deficiency* (EMA/187384/2020). Amsterdam, Netherlands: European Medicines Agency.
12. Henricks, L. M., Lunenburg, C. A. T. C., de Man, F. M., Meulendijks, D., Frederix, G. W. J., Kienhuis, E., et al. (2018). DPYD genotype-guided dose individualisation of fluoropyrimidine therapy: A prospective safety analysis. *The Lancet Oncology*, *19*(11), 1459–1467. https://doi.org/10.1016/S1470-2045(18)30561-9
13. Khan, M., Alharbi, S., Aljuhani, S., Tunkar, M., Morya, A., Alnatsheh, A., et al. (2023). Hematological toxicities in colorectal cancer patients

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

treated with fluoropyrimidines. *Cureus, 15*(8), e44267. https://doi.org/10.7759/cureus.44267

14. Longley, D. B., Harkin, D. P., & Johnston, P. G. (2003). 5-fluorouracil: Mechanisms of action and clinical strategies. *Nature Reviews Cancer, 3*(5), 330–338. https://doi.org/10.1038/nrc1074
15. Lu, Z. H., Zhang, R., & Diasio, R. B. (1992). Purification and characterization of dihydropyrimidine dehydrogenase from human liver. *Journal of Biological Chemistry, 267*(24), 17102–17109.
16. Lunenburg, C. A. T. C., van der Wouden, C. H., Nijenhuis, M., Crommentuijn-van Rhenen, M. H., de Boer-Veger, N. J., Buunk, A. M., et al. (2020). Dutch Pharmacogenetics Working Group guideline for the gene-drug interaction of DPYD and fluoropyrimidines. *European Journal of Human Genetics, 28*(4), 508–517. https://doi.org/10.1038/s41431-019-0540-0
17. Mattison, L. K., Ezzeldin, H., Carpenter, M., Modak, A., Johnson, M. R., & Diasio, R. B. (2004). Rapid identification of dihydropyrimidine dehydrogenase deficiency by using a novel 2-13C-uracil breath test. *Clinical Cancer Research, 10*(8), 2652–2658. https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-03-0374
18. Meulendijks, D., Henricks, L. M., Sonke, G. S., Deenen, M. J., Froehlich, T. K., Amstutz, U., et al. (2015). Clinical relevance of DPYD variants c.1679T>G, c.1236G>A/HapB3, and c.1601G>A as predictors of severe fluoropyrimidine-associated toxicity. *The Lancet Oncology, 16*(16), 1639–1650. https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)00286-7
19. Offer, S. M., Lee, A. M., Mattison, L. K., Fossum, C., Wegner, N. J., & Diasio, R. B. (2013). A DPYD variant (Y186C) in individuals of African ancestry is associated with reduced DPD enzyme activity. *Clinical Pharmacology & Therapeutics, 94*(1), 158–166. https://doi.org/10.1038/clpt.2013.69
20. Rosmarin, D., Palles, C., Church, D., Domingo, E., Jones, A., Johnstone, E., et al. (2014). Genetic markers of toxicity from capecitabine and other fluorouracil-based regimens: Investigation in the QUASAR2 study, systematic review, and meta-analysis. *Journal of Clinical Oncology, 32*(10), 1031–1039. https://doi.org/10.1200/JCO.2013.51.1857
21. Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2021). Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians, 71*(3), 209–249. https://doi.org/10.3322/caac.21660

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

22. UK Chemotherapy Pharmacogenomics Group. (2024). *DPD testing guidance for fluoropyrimidine therapy*. London, United Kingdom.
23. Van Cutsem, E., Cervantes, A., Adam, R., Sobrero, A., Van Krieken, J. H., Aderka, D., et al. (2016). ESMO consensus guidelines for the management of patients with metastatic colorectal cancer. *Annals of Oncology, 27*(8), 1386–1422. https://doi.org/10.1093/annonc/mdw235
24. Van Kuilenburg, A. B., Meinsma, R., Zoetekouw, L., & Van Gennip, A. H. (2002). High prevalence of the IVS14+1G>A mutation in the dihydropyrimidine dehydrogenase gene of patients with severe 5-fluorouracil-associated toxicity. *Pharmacogenetics, 12*(7), 555–558. https://doi.org/10.1097/00008571-200210000-00007

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Student Perceptions of an AI-Enhanced Virtual Reality University Office Environment: An Observation-Based Empirical Study

Amra Abazi Feta
Hiqmet Kamberaj
International Balkan University, Faculty of Engineering,
Department of Computer Engineering, Skopje, North Macedonia

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p16

Submitted: 15 June 2026
Accepted: 17 July 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Feta, A.A., & Kamberaj, H. (2026). *Student Perceptions of an AI-Enhanced Virtual Reality University Office Environment: An Observation-Based Empirical Study*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 16. https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p16

Abstract

There is a growing trend of merging artificial intelligence (AI) with virtual reality (VR) in higher education, and there is a lack of research on students' perceptions of an AI-enhanced VR office environment. This study employed a mixed-methods approach. Here, 58 students participated in a pre-session questionnaire concerning their exposure to technologies. Furthermore, 29 students observed a live demonstration of an AI-integrated VR university office and completed a post-session questionnaire. The post-session survey was designed to measure five constructs (observation quality, presence and realism, AI feature perception, usability and adoption intent, and future readiness). We used items adapted from well-established technology-acceptance and presence scales (the Technology Acceptance Model and its VR-specific extensions, and the Witmer & Singer presence questionnaire), which exhibit good internal consistency with Cronbach's alpha values ranging from 0.86 to 0.97 for each cluster. There was a significant difference between the level of technology familiarity with the participants, in that they were more likely to be using AI tools extensively (M = 4.26/5) than they were to use VR (M = 1.88/5). High accuracy of perceived AI (M = 4.48/5) and clarity of observation (M = 4.39/5), but more moderate ratings of comfort in relying on AI (M = 3.83/5) and privacy concerns (M = 3.24/5) were noted after the

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

session, indicating a competence-trust gap. AI was seen as a helpful administrative tool, and there were some concerns about data privacy and dependency, with a general trend of conditional implementation of AI. These results are preliminary, as they are observation-based, single-institution, and come from a relatively small sample size after the sessions, but they do provide some early, concrete insights regarding the design of VR spaces that incorporate AI technology in higher education.

Keywords: Virtual Reality; Artificial Intelligence; University Office; Metaverse Education; Student Perceptions; Technology Acceptance; AI-VR Integration; Presence; Adoption Intent

1. Introduction

As an immersive, continuous combination of Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), Artificial Intelligence (AI), and blockchain technologies, the metaverse is transitioning from a theoretical construct to institutional deployment (Mystakidis, 2022; Lee et al., 2021). This latest technological and conceptual crossover is also making its way into higher education, where it could potentially break down the typical walls of physical campuses. Virtual AI office environments can offer academic services 24/7, provide highly intelligent computerized assistants capable of handling administrative tasks, and create virtual spaces for collaboration (Kaddoura & Al Husseiny, 2023; Petrigna & Musumeci, 2022).

The research work, a small part of a broader research program, examined the integration of biotechnological innovation into metaverse technology and found that AI-driven virtual environments facilitate research collaboration and education. In this study, the focus is on situating the metaverse technology in a university office context and specifically examining student reactions and use of an AI-enhanced VR working environment, the purpose of which is, on the one hand, to recreate and add more features to existing real academic services.

Although the theoretical foundations of this topic are gradually being shaped, the true understanding of students' perceptions of VR university environments integrated with AI is limited. Critics have raised serious concerns about the wholesale integration of AI into university environments. Sparrow & Flenady (2025) highlight that the outcomes of generative AI are fundamentally problematic as educational tools, not merely because they may be factually unreliable, but because AI systems lack the capacity to testify, to model intellectual commitment, or to engage students as moral agents in a social learning community. From this viewpoint, the possibility of using AI-driven technologies in education settings should require a deep understanding of the pedagogy of learning. In addition, it includes the development of

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

practical skills, exposure to role models, and social recognition among peers. The critique targeted AI for replacing teachers in the classroom. Furthermore, it raises concerns equally relevant to AI-enhanced environments, as examined in this study, about students' perceptions and responses to AI use in a classroom. Rather than assuming AI integration is beneficial or detrimental, this study takes an empirical approach by directly documenting student reactions, contributing evidence to a debate that has so far remained theoretical.

The bulk of studies in this area either look at scenarios where VR is applied alone, with a focus on elements such as the presence and usability of VR while leaving the aspect of AI out, or are studies that assess AI interfaces in the usual, non-immersive digital setups. Bringing AI and VR together puts to the test two major issues that otherwise do not come into play simultaneously: the user must judge both the spatial realism of the VR environment and the mental capabilities of the AI assistant that is part of that environment.

The main incentive behind this research is to understand how these two evaluation streams are combined and what kind of psychological and behavioral effects they produce. We carried out an empirical, mixed-methods study at International Balkan University (IBU) by using a pre-session survey (N = 58) aimed at capturing the digital literacy baseline, previous technology-related activities, and demographic profile of the participants, and a post-session survey (N = 29) to evaluate participants' impressions of the VR office demonstration using five validated construct clusters. An AI assistant was embedded in the virtual office. It could answer administrative questions, provide real-time meeting summaries, and help users accomplish academic tasks.

Where prior work has generally evaluated VR presence and AI usability as separate research streams, this study contributes by assessing both within a single institutional demonstration, offering an early, integrated account of how the two evaluation dimensions interact for prospective users. In this study, we address the following research questions. (RQ1) What are students' perceptions of the usability and administrative utility of an AI assistant integrated into a VR university office based on first-hand experience? (RQ2) What is the relationship between perceived competence of AI and students' comfort with using AI on their academic tasks, and how does it differ from their sense of presence in the VR environment? (RQ3) What factors do students consider essential before they use an AI-VR university office themselves?

The rest of this article is organized as follows. Section 2 analyzes relevant literature on AI and VR integration in education and discusses the theoretical bases of presence and technology acceptance; Section 3 specifies

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

the study method; Section 4 reports quantitative and qualitative results; Section 5 discusses the significance and outlines the limitations; Section 6 ends with a note on future research.

2. Literature Review

2.1 AI and VR Convergence in Higher Education

The use of the metaverse as a medium for education has attracted substantial research interest since 2020. According to Kaddoura and Al Husseiny (2023), immersive learning, administrative accessibility, and social presence are the three main reasons why metaverse platforms hold value in higher education. Petrigna & Musumeci (2022) add to this classification by highlighting the role of experiential simulation, especially in laboratory and clinical environments, while also noting the challenges posed by infrastructure and equity. In line with these evaluations, Syed Abdul et al. (2022) reported that VR-based learning produced a 25% increase in understanding and a 30% increase in accuracy of procedures in education in comparison to traditional teaching methods. However, they also highlight a potential selection bias in the sample.

Embedding AI in VR settings transforms the passive nature of VR into an interactively intelligent one. Intelligent virtual agents that possess abilities such as understanding natural language, assisting with context-based tasks, and providing feedback that adapts to the user have been studied extensively at desktop and mobile gaming levels (Mystakidis, 2022). However, their integration within 3D space is a new phenomenon. Recent studies indicate the fast propagation of immersive technologies in educational settings. A bibliometric analysis on the topic of XR in simulation-based health professions education (Alblooshi et al., 2026) revealed an average annual growth rate of 12.48% in publications from 2010 to 2025.

Closer to the present context, extended technology-acceptance frameworks have begun to be applied specifically to VR and AI-VR educational settings. In particular, (Sagnier, Loup-Escande, Lourdeaux, Thouvenin, & Vallery, 2020) extended TAM to account for presence and embodiment in VR adoption. Furthermore, Chen et al. (2026) found that perceived usefulness, ease of use, and enjoyment jointly predict students' behavioral intention to adopt AI- and VR-integrated smart classrooms. Moreover, (Ali, Warraich, & Butt, 2025) found consistent support across studies for TAM constructs predicting AI acceptance in educational settings more broadly. These studies indicate that the acceptance mechanisms studied here are grounded in an emerging, education-specific literature rather than only in adjacent domains.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

In a broader sense, the educational metaverse has been described as an integration of VR, AR, AI, and blockchain technologies that transform traditional teaching methods from lecturing to experiential, learner-centered involvement (Furgal Saren et al., 2026). In this context, AI-based systems customize content delivery, provide immediate feedback, and change based on the students' learning. These are the functions that the AI assistant features of the current study are modeled on.

Our studies behind this line of work present a comprehensive survey of how generative AI, reinforcement learning, and multimodal integration facilitate intelligent avatar behaviors and personalized user experiences in metaverse settings (Feta & Kamberaj, 2025). It points to a substantial research gap. Although technical feasibility was proven, the literature is limited to user-perception studies, particularly in non-gaming and institutional environments, such as university offices. Thus, this study focuses directly on the response to that gap.

2.2 Technology Acceptance and the AI Trust Dimension

According to the Technology Acceptance Model (Davis, 1989), users' intention to adopt a technology is determined by its perceived usefulness and ease of use. These two factors can be related to presence, which means the feeling of being physically present in a virtual environment (Witmer & Singer, 1998). Indeed, a greater presence would also mean a greater perceived realism, and it can even lead to the willingness to adopt and delegate tasks in virtual systems (Slater, 2009). However, if AI is part of those environments, then a fourth variable will be involved, such as trust in AI. For example, Kostick-Quenet and Rahimzadeh (2023), state that trust in AI-assisted systems depends on factors such as perceived accuracy, the naturalness of the interaction, and data privacy assurances.

A specifically well-documented failure of institutional AI deployment is the automation bias, which occurs when users blindly trust AI-generated outputs even when they are wrong. The systematic review (Wei et al., 2026) showed that AI-assisted diagnostic tools in dental education had no significant benefit over conventional methods. Importantly, the students showed a measurable tendency to agree with wrong AI suggestions. This risk of over-dependence is limited to clinical training and extends to any high-stakes academic environment where AI offers guidance, including college offices, as reflected in this study.

A combination of automation bias, data privacy, and equitable access is the evaluative framework that the present students were potentially motivated by when they showed a calibrated and conditional adoption of AI rather than being very enthusiastic.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

2.3 Presence and Realism in VR Environments

Presence, the sense of being mentally immersed, is frequently regarded as the primary factor influencing the quality of VR systems (Slater, 2009). It is usually differentiated into two types: spatial presence (the sensation of being in the virtual location) and social presence (the sensation of being there together with others). Both aspects are equally important when VR systems are used in university offices. First, spatial presence establishes whether the environment really looks like a workplace. Secondly, social presence determines whether interaction with AI avatars seems real.

The visual realism is the primary factor influencing spatial presence. For instance, Deeks et al. (2020) show that the use of VR in interactive molecular dynamics influences high spatial presence, including non-gaming users, for sufficiently realistic object fidelity and lighting. From an educational viewpoint, Taylor and Soneji (2022) demonstrated that 3D environments enable a better understanding of complex structures because spatial presence promotes cognitive engagement. Based on these studies, we added several realism sub-items to the post-session survey.

3. Methodology

3.1 Study Design

This study utilizes a mixed-methods sequential design: Quantitative survey data are used for descriptive statistics and comparison, and qualitative open-ended responses provide explanatory depth and participant voice. The sequential design was selected because post-session observations could not be meaningfully interpreted in the absence of a quantitative context, especially the baseline technology exposure data pre-session. The Bit-Loft Office at the International Balkan University approved this workshop (April 4, 2026). Before any surveys, all participants agreed to participate in the study.

3.2 Participants

Pre-session survey: We selected a non-random sample[1] of 58 students from various undergraduate engineering cohorts at International Balkan University in the first week of April 2026. The group consisted of 34 male students (58.6%) and 24 female students (41.4%). Most of them were between 18 and 22 years old (93.1%, n = 54). Students' year of study: 1st year 46.6% (n = 27), 2nd year 22.4% (n = 13), 3rd year 27.6% (n = 16), and 4th year 3.4% (n = 2).

[1]A non-random (convenience) sample was chosen because the study required participants to attend a scheduled VR demonstration session on campus. Random sampling was not feasible given the logistical constraints of VR equipment availability and the need for in-person attendance within a specific period.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Post-session survey: Twenty-nine students (part of the pre-session cohort) filled in the post-session questionnaire after watching a live demonstration of the VR university office system. Due to the restricted availability of VR headsets, the observation-based design was chosen, based on validated research protocols of technology perception (Riva & Wiederhold, 2022)

3.3 The VR University Office System

The stimulus was a purpose-built VR university office environment demonstrated on a Meta Quest 2 headset (operated by a trained demonstrator). The virtual office replicated a university administrative space, including a faculty office. Key AI features included: (i) a conversational AI assistant capable of answering academic queries in real time; (ii) automated meeting summarization, capturing key decisions and action items; (iii) subject-specialist AI professor avatars; and (iv) a movement system integration between professors in the office. The demonstration lasted approximately 15 to 20 minutes.

3.4 Instruments

Pre-session survey (13 items): Items included demographic details (Q3–Q6), VR experience (Q7), frequency of AI tool use (Q8), and knowledge of blockchain (Q9). In addition, these items included the level of knowledge on the metaverse (Q10), digital confidence (Q11), and participation in virtual events (Q12). Likert items used a 1–5 scale (1 = Strongly disagree/No experience; 5 = Strongly agree/Extensive experience).

Post-session survey (29 items): Items were grouped into five clusters: (A) Observation Quality (Q1–Q5); (B) Presence and Realism (Q6–Q10); (C) AI Feature Perception (Q11–Q16); (D) Usability and Adoption Intent (Q17–Q21); and (E) Future Readiness (Q22–Q24, Q26). Privacy concern was a separate item (Q25). Three open-ended questions (Q27–Q29) were used for qualitative responses. Internal consistency for each cluster was acceptable to excellent: Cronbach's $\alpha = .97$ (Observation Quality, 5 items), .89 (Presence and Realism, 5 items, computed on standardized items owing to differing response ranges), .93 (AI Feature Perception, 6 items), .88 (Usability and Adoption Intent, 5 items), and .86 (Future Readiness, 2 items).

3.5 Statistical Analysis

Descriptive statistics were used in the quantitative analysis performed with Python (McKinney, 2010). Because the post-session sample size was only $N = 29$, correlation analyses were performed only between construct clusters for inferential testing, and results were interpreted with caution.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Thematic content analysis of qualitative responses to Q27–Q29 was based on the six-phase method (Braun & Clarke, 2006).

4. Results

4.1 Pre-Session Baseline: Technology Exposure and Digital Literacy

Table 1 compiles the main results of pre-session Likert items for all 58 participants. Most remarkably, a sharp contrast can be observed between the level of familiarity with AI tools and the extent of VR experience. A high usage level of AI tools was recorded (M = 4.26, SD = 1.04), and post-experience of VR headset was extremely low (M = 1.88, SD = 1.15), with as many as 53.6% rating themselves at the minimum value. This divergence has major consequences for the development and testing of AI-VR hybrid systems.

Table 1: Pre-Session Survey: Key Descriptive Statistics (N = 58)[2]

Variable	N	M	SD	Min	Max
VR Headset Experience (1–5)	56	1.88	1.15	1	5
AI Tool Use in Daily Life (1–5)	58	4.26	1.04	1	5
Blockchain Familiarity (1–5)	56	2.70	1.20	1	5
Metaverse Familiarity (1–5)	56	3.04	1.21	1	5
Digital Confidence (1–5)	58	4.07	1.01	2	5

On average, knowledge about the metaverse was limited (M = 3.04, SD = 1.21), blockchain familiarity was below the midpoint (M = 2.70, SD = 1.20), while digital confidence was surprisingly high (M = 4.07, SD = 1.01). 41.4% of respondents had attended a virtual event, 37.9% had not, and 20.7% were unsure.

4.2 Post-Session Observations: Five Construct Clusters

Table 2 provides comprehensive descriptive statistics for all post-session Likert items sorted by construct cluster.

[2]Scale 2 (used for VR experience item) = Disagree / Little experience. Full scale: 1 = Strongly disagree / No experience; 2 = Disagree / Little experience; 3 = Neutral / Some experience; 4 = Agree / Considerable experience; 5 = Strongly agree / Extensive experience.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Table 2: Post-Session Survey: Descriptive Statistics by Construct Cluster (N = 29)[3]

Item	Construct	N	M	SD	Max
Q1: Clear view of virtual environment	Observation Quality	29	4.41	1.02	5
Q2: Could follow the demonstration	Observation Quality	29	4.34	1.04	5
Q3: Good understanding of how the system works	Observation Quality	29	4.41	1.02	5
Q4: Felt engaged while observing	Observation Quality	29	4.28	1.10	5
Q5: The demonstration showed enough detail	Observation Quality	29	4.52	0.78	5
Q6: Environment looked realistic (1–6)	Presence & Realism	29	4.76	1.43	6
Q7: Objects/spaces appeared natural (1–7)	Presence & Realism	29	5.62	1.24	7
Q8: Believe user would feel present (1–8)	Presence & Realism	29	6.31	1.69	8
Q9: Visual quality was convincing (1–5)	Presence & Realism	29	4.10	0.98	5
Q10: Could imagine working in VR office (1–10)	Presence & Realism	29	7.00	2.70	10
Q11: AI understood requests accurately	AI Feature Perception	29	4.48	0.78	5
Q12: AI made tasks easier	AI Feature Perception	29	4.38	0.86	5
Q13: Would trust AI suggestions	AI Feature Perception	29	3.97	1.05	5
Q14: AI behaved naturally and intuitively	AI Feature Perception	28	4.04	1.04	5
Q15: AI is more helpful than a non-AI interface	AI Feature Perception	29	4.17	0.85	5
Q16: Comfortable relying on AI features	AI Feature Perception	29	3.83	1.14	5
Q17: Would improve academic productivity	Usability & Adoption	29	3.97	1.09	5
Q18: Would make university tasks easier	Usability & Adoption	29	4.03	0.98	5
Q19: Could learn to use this easily	Usability & Adoption	28	4.39	0.88	5
Q20: Interaction looked clear and understandable	Usability & Adoption	29	4.24	0.87	5
Q21: Would use in academic work if available	Usability & Adoption	28	3.96	1.20	5
Q22: AI-VR could improve university experience	Future Readiness	29	4.14	1.06	5
Q23: Comfortable attending lectures/meetings in VR	Future Readiness	29	3.97	1.21	5
Q25: Privacy and data security concerns	Privacy Sensitivity	29	3.24	1.09	5

[3]Items Q6–Q10 use heterogeneous response scales as designed; means should be interpreted relative to their respective scale maxima. Unless otherwise noted, scales are 1–5.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

4.2.1 Cluster A: Observation Quality

The observation quality cluster (Q1–Q5) produced a cluster mean of M = 4.39 (SD range: 0.78–1.10). The most highly rated item was Q5 (M = 4.52, SD = 0.78), indicating that participants thought they had enough information to form their judgments. Q4 (M = 4.28, SD = 1.10) was the lowest in the cluster, which is understandable for a passive observation mode. The cluster indicates that the observer method gave participants a good platform to evaluate the quality of their work, but it is not a replacement for the direct immersion approach to assessment.

4.2.2 Cluster B: Presence and Realism

Both the presence and the realism items employed different response scales. All scores were above 70%, with the highest being for environmental realism (Q6: 79.3%), the next firmest for naturalness (Q7: 80.3%), belief in user presence (Q8: 78.9%), visual quality (Q9: 82.0%), and imagining working in VR (Q10: 70.0%). The standard deviation of Q10 is large (2.70); that is, there is variation between individuals in their spatial imagination.

4.2.3 Cluster C: AI Feature Perception

The AI feature perception cluster (Q11–Q16) yielded a mean of M = 4.14. AI accuracy (Q11: M = 4.48, SD = 0.78) was the highest rated attribute, followed by task facilitation (Q12: M = 4.38). Trust delegation items were notably lower: overall AI trust (Q13: M = 3.97) and comfort with AI reliance (Q16: M = 3.83). This competence–trust gap mirrors findings in the AI adoption literature (Kostick-Quenet & Rahimzadeh, 2023) and is extended here to VR-embedded AI contexts.

4.2.4 Cluster D: Usability and Adoption Intent

The usability and adoption intent cluster (Q17–Q21) yielded a mean of M = 4.12. Perceived ease of learning was highest (Q19: M = 4.39), while direct adoption intention was lowest (Q21: M = 3.96, SD = 1.20). This pattern reflects conditional adoption intent: participants are enthusiastic but withhold full commitment pending reliability, security, and supplementary (not replacement) integration with current academic processes.

4.2.5 Privacy Sensitivity

Privacy concern (Q25: M = 3.24, SD = 1.09) was above the scale midpoint, and data privacy was the most prevalent theme in qualitative responses to Q28, mentioned by 55% (6 of 11 substantive respondents; see Section 4.3). The discrepancy between the moderate Likert rating and high qualitative salience suggests that single-item Likert measures underestimate privacy concern, likely due to social desirability bias or abstract framing.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

4.3 Qualitative Findings: Three Emergent Themes

The three main themes that emerged from the open question responses (Q27–Q29) of the respondents (N = 19) who provided at least one open-ended response were identified by thematic analysis. The counts below are reported as descriptive counts with underlying transparent denominators because a single analyst (which does not allow for an inter-rater reliability statistic) wrote the code.

Theme 1: AI as an Intelligent Administrative Partner. Of 16 substantive answers to Q27, 9 (56%) were focused on the ability of the AI assistant to give instant contextual answers, which matched the top-rated answers for the sub-items of the AI, Q11 and Q12. One participant said, "The meeting summarization of the meetings in real-time and the AI assistant, which was able to immediately answer administrative questions, were the most impressive for me" (P10). Multiple respondents also cited AI professor avatars for specific subjects as a positive aspect.

Theme 2: Data Privacy and Over-Reliance as Principal Concerns. Of 11 substantive responses to Q28, 6 (55%) addressed data privacy or security (down from the 67% majority we found in earlier versions of this paper). Two separate respondents noted that the lack of critical thinking or over-reliance was an issue. There were some advanced risk perceptions, such as discussions about AI hallucinations, the removal of human interaction from academic guidance, and the use of personal interactions by AI models for training purposes: "Risks associated with the mishandling of sensitive student information, potential data breaches, how AI models use personal interactions for training" (P14). One participant made a direct connection between convenience and a skills issue: "That makes students lazier" (P9). This is aligned with informal AI literacy that has been gained through frequent use of LLMs, with a majority, but not the majority, of the privacy mentions indicating that privacy concerns exist but are not ubiquitous.

Theme 3: Conditional Adoption and Pragmatic Enthusiasm. Of 18 substantive responses to Q29, 14 (78%) expressed willingness to use the system, most with explicit conditions attached; two (11%) were undecided, and one (6%) declined. Conditions centered on reliability, security, and keeping AI as a support tool rather than a replacement: "Yes, because it saves time and makes things easier, but only if it's reliable and secure" (P12); "I would still be careful not to rely on it too much and use it as a support tool rather than a replacement for learning" (P6).

4.4 Cross-Cluster Correlations

Pearson correlations among the six cluster-mean scores (N = 29) tested whether constructs moved together. All correlations were positive. Observation Quality correlated strongly with Presence and Realism (r = .75, p

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

< .001) and with AI Feature Perception (r = .69, p < .001). AI Feature Perception correlated strongly with Usability and Adoption Intent (r = .73, p < .001), and Usability and Adoption Intent correlated strongly with Future Readiness (r = .76, p < .001). Notably, Privacy Concern was positively, not negatively, associated with every other cluster, most strongly with Future Readiness (r = .51, p = .005) and Presence and Realism (r = .49, p = .007), and only weakly and non-significantly with Observation Quality (r = .29, p = .125). This suggests privacy concern was not simply a marker of disengagement; participants who engaged more fully with the demonstration and rated it more favorably also tended to voice more privacy concern, consistent with the qualitative pattern of conditional rather than unconditional enthusiasm. Given the sample size, these associations are treated as descriptive and hypothesis-generating rather than confirmatory.

5. Discussion

5.1 The Technology Asymmetry Finding and Its Implications

The most important theoretical insight from this research is the large disparity between students' knowledge of AI (M = 4.26) and their hands-on VR experience (M = 1.88). AI-VR hybrid systems have a chance to bridge this gap: since participants are comfortable with conversational AI interfaces, they can engage with AI features integrated in VR even though the VR world is quite new for them. This discovery corroborates guidelines for developing AI-VR systems that treat AI as a natural extension of familiar interfaces rather than adding both spatial and conversational novelty simultaneously.

5.2 The Competence–Trust Gap in AI-VR Systems

The accuracy of AI (M = 4.48) far exceeded comfort with AI reliance (M = 3.83), broadening the competence–trust gap observed in AI studies (Kostick-Quenet & Rahimzadeh, 2023) to VR-embedded contexts. This gap implies that there may be two types of adoption: low-friction applications (scheduling, information lookup) receive faster adoption than high-friction ones (advisory, evaluative). University AI-VR developers should first build trust through transparency mechanisms (confidence indicators, source citations, human escalation options) before expecting full delegation of academic decisions to AI.

This discrepancy can be more accurately described in terms of the difference between cognitive and affective trust, as opposed to one general concept. Cognitive trust is about the user's perception of the AI's competence and reliability, as demonstrated by the high score in terms of AI accuracy (Q11: M = 4.48), whereas affective trust is about how the user feels about relying on the system, as shown by a lower score in terms of comfort with relying on the AI features (Q16: M = 3.83). In this study, participants seem to

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

form a faster cognitive trust in the AI assistant's competence than affective trust in delegating academic tasks to it. Seen from this perspective, the discrepancy does not indicate a lack of trust but the process of calibration in which the user gives credibility based on competence before giving confidence based on reliance, in line with the existing literature (Kostick-Quenet & Rahimzadeh, 2023). This point has clear design implications: actions to increase the perceived AI accuracy (e.g., improving natural-language understanding capabilities) would likely not accelerate its adoption if affective trust barriers are not tackled independently.

5.3 Presence Through Observation

The presence and realism cluster yielded consistently positive ratings even though participants did not wear the VR headset. Q8 (6.31/8 = 78.9%) indicates that the virtual office was visually coherent enough to vicariously convey presence. The large SD for Q10 (2.70) points to individual differences in spatial imagination that may predict later adoption when headsets become directly available.

5.4 Privacy as a Design Constraint

Privacy concern was moderate quantitatively (M = 3.24) but highly prominent qualitatively. Future instruments should employ multi-item privacy concern scales distinguishing biometric, conversational, and academic performance data. In practical terms, institutions deploying VR university offices are obligated to follow data minimization principles, establish clear data retention policies, obtain explicit consent, and communicate these measures transparently to students (Mosharraf, 2025).

5.5 Limitations

Some of the limitations in extending these results exist in several aspects. Firstly, the sample population was from the International Balkan University, with a majority from the Computer Engineering study program. Secondly, there is a difference between the observation-based testing method and the VR immersion technique itself. Thirdly, the post-test sample (N = 29) has limited statistical power to detect differences because, with this sample size, only large effects can be detected. As the fourth limitation, it is important to note that weak associations between the constructs do not necessarily imply a lack of association. The means and cross-cluster associations of the constructs are considered descriptive and exploratory in nature for this reason. Fifthly, the perception of the constructs was gathered in a one-time observation following a brief demonstration.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Conclusion

This study is the first to empirically investigate students' views of a university office environment enhanced by AI and VR, based at IBU, supported by an original dataset. The results reveal a cohort with high AI knowledge but almost no VR experience, producing a distinctive evaluation profile: high appreciation for AI functional features, positive vicarious presence and adoption intent mitigated by privacy concerns and calibrated trust. The competence–trust gap of participants assessing AI accuracy is significantly higher than their comfort with reliance and has direct design implications for institutional AI-VR systems.

This study is part of broader explorations of the integration of AI, machine learning, blockchain, and the metaverse ecosystem (Feta & Kamberaj, 2025).

The forthcoming research in this program will focus on the following. (i) A fully immersive experiment, where all participants use the VR headsets instead of watching demonstrations, will allow us to determine how applicable the patterns observed in this study will be in the case of direct interaction. (ii) A longitudinal study design to reassess the levels of trust and intention to adopt after repeated exposure, because the competence-trust gap may increase or decrease with familiarity. (iii) Cross-institutional replication of the current study, as well as the selection of a more diverse and larger sample in order to verify the results in the general context. (iv) Qualitative studies with multiple independent coders for the purposes of confirming and expanding on the themes uncovered during single-coder analysis.

Overall, this line of studies will include blockchain-based data governance and cross-institutional replication within a more complex framework and empirical model of AI-VR integration in higher education.

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

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

Funding Statement: One of the authors (H.K) thanks the International Balkan University, Research and Projects Office, for a publication-supporting grant.

Declaration for Human Participants: All procedures performed in studies involving human participants were based on the ethical standards of the institutional and/or national research committee. Furthermore, the Research Ethics Committee of the International Balkan University approved the study (April 4, 2026). Prior to the pre-session survey, participants confirmed that they had read a study information sheet and explicitly affirmed that their participation was voluntary, that they could withdraw at any time without

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

penalty, and that they consented to their anonymized data being used in academic research. No participant names were collected; the pre-session survey requested only an institution-issued student identifier rather than a name, and post-session responses were collected without any identifying information. Data were used solely for the purposes described in this study.

References:

1. Ali, I., Warraich, N. F., & Butt, K. (2025). Acceptance and use of artificial intelligence and AI-based applications in education: A meta-analysis and future direction. Information Development, 41(3), 859–874. https://doi.org/10.1177/02666669241257206
2. Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa
3. Chen, Y., Chen, Z., Zhang, K., Chen, J., Lin, K., & Chen, Z. (2026). Toward sustainable education: exploring Chinese college students' acceptance of AI- and VR-integrated smart classroom. Education and Information Technologies. https://doi.org/10.1007/s10639-026-13984-4
4. Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. MIS Quarterly, 13(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008
5. Deeks, H. M., Walters, R. K., Hare, S. R., O'Connor, M. B., Mulholland, A. J., & Glowacki, D. R. (2020). Interactive molecular dynamics in virtual reality for accurate flexible protein-ligand docking. PLOS ONE, 15(3), e0228461. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228461
6. Feta, A. A., & Kamberaj, H. (2025). Impact of Metaverse Technologies Integration on Biotechnological Innovation: A Literature Review. European Scientific Journal, ESJ, 21(21), 1. https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n21p1
7. Kaddoura, S., & Al Husseiny, F. (2023). The rising trend of Metaverse in education: challenges, opportunities, and ethical considerations. PeerJ Computer Science, 9, e1252. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1252
8. Kostick-Quenet, K., & Rahimzadeh, V. (2023). Ethical hazards of health data governance in the metaverse. Nature Machine Intelligence, 5(5), 480–482. https://doi.org/10.1038/s42256-023-00658-w
9. Lee, L.-H., Braud, T., Zhou, P., Wang, L., Xu, D., Lin, Z., Kumar, A., Bermejo, C., & Hui, P. (2021). All One Needs to Know about Metaverse: A Complete Survey on Technological Singularity, Virtual Ecosystem, and Research Agenda.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

10. McKinney, W. (2010). Data Structures for Statistical Computing in Python. 56–61. https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-00a
11. Mosharraf, M. (2025). Data governance in metaverse: Addressing security threats and countermeasures across the data lifecycle. Technology in Society, 82, 102910. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2025.102910
12. Mystakidis, S. (2022). Metaverse. Encyclopedia, 2(1), 486–497. https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031
13. Petrigna, L., & Musumeci, G. (2022). The Metaverse: A New Challenge for the Healthcare System: A Scoping Review. Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 7(3), 63. https://doi.org/10.3390/jfmk7030063
14. Riva, G., & Wiederhold, B. K. (2022). What the Metaverse Is (Really) and Why We Need to Know About It. Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 25(6), 355–359. https://doi.org/10.1089/cyber.2022.0124
15. Sagnier, C., Loup-Escande, E., Lourdeaux, D., Thouvenin, I., & Vallery, G. (2020). User acceptance of virtual reality: An extended technology acceptance model. International Journal of Human-Computer Interaction, 36(11), 993–1007. https://doi.org/10.1080/10447318.2019.1708612
16. Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1535), 3549–3557. https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0138
17. Sparrow, R., & Flenady, G. (2025). Bullshit universities: the future of automated education. AI & SOCIETY, 40(7), 5285–5296. https://doi.org/10.1007/s00146-025-02340-8
18. Syed Abdul, S., Upadhyay, U., Salcedo, D., & Lin, C.-W. (2022). Virtual reality enhancing medical education and practice: Brief communication. DIGITAL HEALTH, 8. https://doi.org/10.1177/20552076221143948
19. Taylor, S., & Soneji, S. (2022). Bioinformatics and the Metaverse: Are We Ready? Frontiers in Bioinformatics, 2. https://doi.org/10.3389/fbinf.2022.863676
20. Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 7(3), 225–240. https://doi.org/10.1162/105474698565686
21. Alblooshi, A. S., et al. (2026). The use of the extended reality technologies in simulation-based health professions education: a

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

bibliometric analysis. Frontiers in Medicine, 13, 1787542. https://doi.org/10.3389/fmed.2026.1787542

22. Bitloft Office. (2026, April 4). Workshop approval for VR university office demonstration study. International Balkan University.
23. Saren, F., Ghosh, C., Shit, S., & Paul, A. (2026). Metaverse in education: Opportunities, challenges, and future prospects. International Journal of Creative and Open Research in Engineering and Management, 2(4). https://doi.org/10.55041/ijcope.v2i4.168
24. Violanti, R. J. (2026, April 22). Humanizing generative AI: Three ways to keep students at the center of your classroom. Faculty Focus.
25. Wei, Y., Li, Y., Hu, W., Kang, J., Han, Z., Zhen, M., & Wang, C. (2026). Artificial intelligence and immersive digital technologies in periodontal education: a systematic review. Frontiers in Oral Health, 7, 1741033. https://doi.org/10.3389/froh.2026.1741033

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Energy Recovery from *Ulva* sp. Algal Biomass in the Form of Fuel Briquettes: The Influence of the Binder on Energy and Mechanical Performance

Kalidou Ba
Mamadou Faye
Alpha Ousmane Toure
Water, Energy, Environment and Industrial Processes Laboratory (LE3PI),
Ecole Supérieure Polytechnique (ESP), Dakar-Fann, Senegal
Cheikh Anta Diop University of Dakar, Dakar-Fann, Senegal

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p33

Submitted: 23 March 2026
Accepted: 12 August 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Ba, K., Faye, M., & Toure, A.O. (2026). *Energy Recovery from Ulva sp. Algal Biomass in the Form of Fuel Briquettes: The Influence of the Binder on Energy and Mechanical Performance.* European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 33.
https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p33

Abstract

The use of algae for energy production in the form of fuel briquettes represents a promising approach to reducing greenhouse gas emissions and promoting the energy transition. These briquettes offer a sustainable and renewable alternative to global dependence on fossil fuels. This study aims to characterise and produce fuel briquettes made from macroalgae of the genus *Ulva sp.,* collected from the jetty at SENELEC's C3 power station in Dakar (Senegal), with a view to using them as an alternative fuel to charcoal and butane gas for domestic cooking. The production method involves mixing a constant mass of dried seaweed powder with varying proportions of a mineral binder ranging from 20 % to 50 %, derived from fluosilicic acid, a by-product of the Senegalese chemical industry. Four briquette formulations were thus produced: BAL20, BAL30, BAL40 and BAL50. Physico-chemical analyses (moisture content, ash content, volatile matter and total organic carbon) and combustion tests (lower calorific value, burning time) were carried out to assess their energy performance. The results showed that the BAL20 formulation performed best, with a lower calorific value of 1,778 kcal/kg and a burn time of 85 minutes, outperforming the other formulations studied.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Analysis of variance (ANOVA) indicates that ash content (ASH) has a highly significant effect on the lower calorific value ($p = 0.0307 < 5\ \%$). These results suggest that seaweed briquettes produced using industrial waste as a binder represent a viable and environmentally friendly energy alternative that can contribute both to the management of coastal seaweed biomass and to the energy transition in Senegal.

Keywords: *Ulva* sp.; fuel briquettes; energy recovery; calcium silicate; calorific value

1. Introduction

The use of current energy sources such as fossil fuels poses a genuine environmental problem, particularly in terms of air and water pollution in recent years (François et al., 2025; Sundaram et al., 2025). These negative consequences have spurred interest in developing new technologies to generate clean energy, primarily through the utilisation of surplus plant and animal waste (Nzihou et al., 2024; Rath et al., 2024). According to recent statistics from the Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), global seaweed production has continued to rise. Around 30.1 million tonnes of aquatic plants (mainly seaweed, worth 11.7 billion US dollars) were produced in 2016, more than double the figure recorded in 2000 (FAO, 2024)). Seaweed is regarded as an important source of biomass for energy production due to its rapid growth and photosynthetic efficiency; however, its use for energy recovery remains limited on a global scale (Baghel et al., 2020; Yaman & Kucukbayrak, 2013) . Current uses of aquatic biomass mainly involve the production of cosmetics, fertilisers, industrial gums (phytocolloids), chemicals and foodstuffs, particularly in Asia (Jabeen et al., 2025; C. Li et al., 2024). The technical feasibility of converting marine microalgae into a renewable energy source has been investigated by several researchers. Wal et al. (2013) demonstrated the potential to produce butanol via fermentation and biogas via anaerobic digestion. With regard to macroalgae, anaerobic digestion has been studied for biogas production (Akila et al., 2019), pyrolysis for bio-oil production (Amrullah et al., 2022) and fermentation for bioethanol production (Toro-Mellado et al., 2025). Furthermore, Kim et al. (2019) and Yaman & Kucukbayrak (2013) demonstrated the co-production of alginate and biodiesel from the brown seaweed Laminaria japonica, via the heterotrophic cultivation of an oil-producing yeast in the supernatant of an autoclaved seaweed solution, prior to the solid-phase extraction of alginate. These processes present major constraints in resource-limited contexts, notably high capital costs, the need for specialised infrastructure and difficulties in scaling up. However, the briquetting technique is a simple, low-cost and accessible technology that

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

requires neither complex equipment nor expensive chemical inputs. It therefore offers a relevant application for the valorisation of local algal biomass, which is available in large quantities along the Senegalese coastline. Among the macroalgae found in Senegal are green algae of the genus Ulva sp., which are considered one of the most promising sources of biomass (Amrullah et al., 2022). They are relatively low in carbon but often rich in nitrogen, phosphorus and other nutrients compared with many types of terrestrial biomass (Sheppard et al., 2023). Approximately 3,852,000 kg *of* fresh *Ulva sp*. is harvested per season (March to August). This represents a potential energy source facing a challenge in terms of utilisation. Their presence is partly due to the discharge of waste or untreated sewage into the sea, which causes them to proliferate. Once collected, exposure to sunlight accelerates the decomposition process, producing hydrogen sulphide, ammonia and methane (Ahmed et al., 2024). At certain concentrations, these gases can be highly dangerous to humans and animals (Jo et al., 2013; Lars Ole et al., 2023) . To date, no study has been carried out on the utilisation of Ulva sp. green algae sourced from the cooling water of the condensers at the Cap des Biches power station in Dakar.

With this in mind, this study aims to propose the utilisation of Ulva sp. biomass in the form of fuel briquettes, using calcium silicate as a binder synthesised from fluosilicic acid, a by-product of the Senegalese chemical industry. This approach will enable algal waste to be converted into domestic energy and a local industrial by-product to be utilised as a mineral binder. The objective is to assess the influence of the binder content (20–50 per cent) on the physico-chemical, energy and mechanical properties of the briquettes produced, in order to identify the optimal formulation suited to domestic firing conditions in Senegal.

2. Materials and Methods

2.1. Raw material

A 50 kg mass of *Ulva sp*. is collected between June and October at the jetty of the C3 power station – SENELEC (Cap des Biches, Dakar; 14°43'N, 17°18'W), after being retained by the Baudrey filters in the cooling circuit. It is then transported to the laboratory to be dried out of direct sunlight at room temperature for at least 24 hours, spread out on a flat surface to ensure better aeration. This step is important for determining the water content of the fresh seaweed. The second stage involves drying the seaweed in an oven at a temperature of approximately 105°C for 24 hours. Following this stage, it is ground using a metal pestle and mortar, then sieved through a 300 µm mesh sieve. The Ulva species used are shown in Figure 1.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)



Figure 1: *Ulva* sp., near the Cap des Biches channel

2.2. Synthesis of the binder (calcium silicate)

Under normal temperature and pressure conditions, a volume of 377 mL of 25 % fluosilicic acid reacts instantaneously with a mass of 90 g of sodium chloride (NaCl). In accordance with stoichiometric proportions, this reaction produces hydrochloric acid (18 % HCl) and sodium fluorosilicate (Na_2SiF_6) (equation 1), which precipitates as a thick, gelatinous cake. The reaction took 15 minutes to complete. At the end of the reaction, vacuum filtration was carried out. The hydrochloric acid obtained is collected in a vacuum flask and the sodium fluorosilicate is retained on the filter as a cake. This precipitate is then dried at 110 °C in a MEMMERT-type oven for 24 hours. The simplified procedure for this first stage of synthesis is illustrated in Figure 2.

$$H_2SiF_6 + 2NaCL \rightarrow Na_2SiF_6 + 2HCL \quad (1)$$

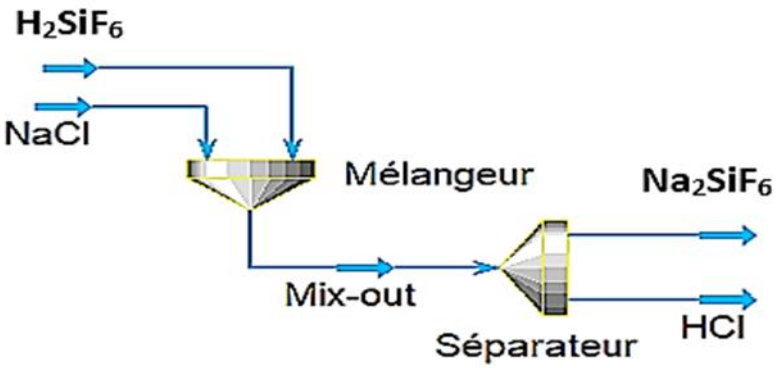


Figure 2: Process for the production of sodium fluorosilicate

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

The sodium fluorosilicate (Na_2SiF_6) obtained in the first stage of synthesis, after being filtered, dried and ground, is causticised with slaked lime for 150 minutes at 50 °C. This process involves first mixing 100 g of sodium fluorosilicate with 600 mL of distilled water heated to 50 °C. Next, 114.15 g of slaked lime is added. At the end of the process, vacuum filtration is carried out to recover the aqueous phase, which constitutes the sodium silicate (equation 2). A simplified flowchart of the process is shown in Figure 3.

$$Na_2SiF_6 + 3Ca(OH)_2 \quad H_2O \rightarrow \quad Na_2SiO_3 + 3CaF_2 + 3H_2O \tag{2}$$

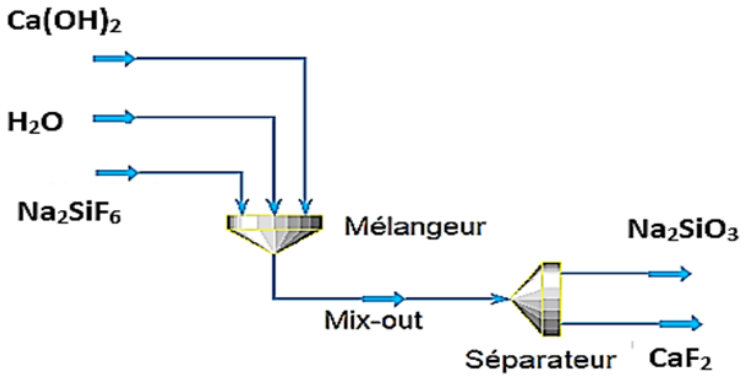


Figure 3: Process for the production of sodium silicate

The sodium silicate thus obtained is subjected to a further causticisation reaction with 43.29 g of $Ca(OH)_2$ at a temperature of 50°C for 150 minutes to produce calcium silicate and a 3 % sodium hydroxide solution (BA et al., 2022) (equation 3). Vacuum filtration is carried out to separate the solid phase from the aqueous phase. The resulting cake is dried in an oven, and the yield of calcium silicate obtained is 78.67 %. This process is illustrated in Figure 4.

$$Na_2SiO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2NaOH + CaSiO_3 \tag{3}$$

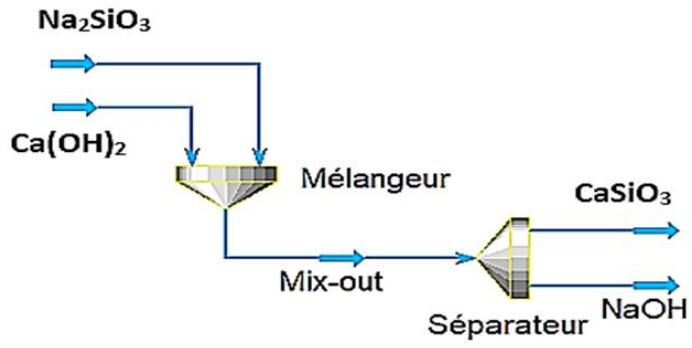


Figure 4: Process for producing calcium silicate

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

2.3. Method for producing briquettes

The seaweed powder obtained is mixed with the mineral binder ($CaSiO_3$) and wood shavings. A constant quantity of wood shavings, amounting to approximately 20 %, was incorporated into each formulation in order to increase the density of the mixture and improve its workability, as the seaweed powder alone is too light to be extruded properly. To investigate the effect of the binder content, five types of briquettes were produced, each with a total mass of 500 g, by varying the percentage of $CaSiO_3$ from 20 to 50 %, namely BAL50 (50 per cent $CaSiO_3$), BAL40 (40 per cent $CaSiO_3$), BAL30 (30 per cent $CaSiO_3$) and BAL20 (20 per cent $CaSiO_3$). For each formulation (BAL20, BAL30, BAL40 and BAL50), a batch of briquettes was produced (up to 25 briquettes per formulation) in order to have a sufficient number of samples for all the physico-chemical analyses, drop tests and combustion tests. For each analysis, two measurements were taken on two separate briquettes from the same batch. The mixture obtained from each formulation was fed directly into a homemade extruder, comprising a 0.075 kW three-phase motor and weighing a total of 16.29 kg. A screw rotating at 280 rpm compresses the paste inside the cylinder. The briquettes emerge in a cylindrical shape thanks to a cone positioned at the extruder outlet (Figure 5). The production capacity of this machine is approximately 200 kg/h. The process flow diagram is shown in Figure 6.



Figure 5: EMIE-type extruder

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

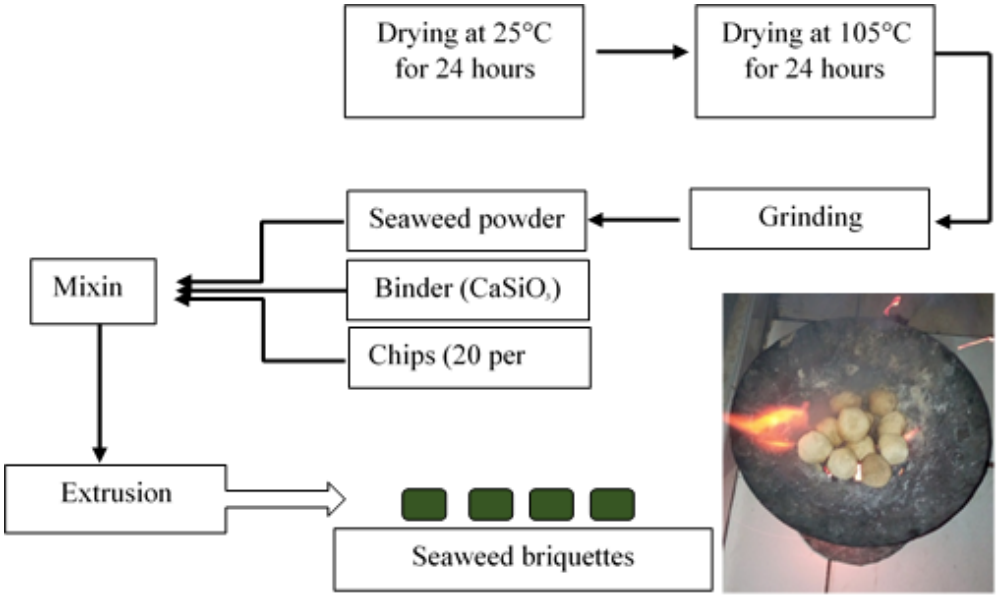


Figure 6: Process for producing briquettes made from *Ulva* sp.

2.4. Characterisation of fuel briquettes

2.4.1. Physico-chemical analyses

Following the formulation stage, the fuel briquettes are characterised by determining their moisture content, ash content and lower calorific value. These analyses were carried out by the DANGOTE Cement analysis laboratory in accordance with standard NF B55-101.

2.4.2. X-ray fluorescence (XRF) analysis

The mineral composition was determined by X-ray fluorescence spectrometry, using the Niton XL3T XRF analyser connected to a computer equipped with NDTr 6.5.2 software for data acquisition and processing. This is a rapid, non-destructive multi-element analytical technique that enables the identification and quantification of most of the chemical elements present in a sample.

For each analysis, 1.2 g of powder was mixed with 0.12 g of binder (Hoescht wax), then placed into a compression mould. A pressure of approximately 15 tonnes was applied using a press for 2 to 3 minutes to produce a compact pellet suitable for analysis. The pellets were then analysed using the Niton XL3T XRF analyser, which had been previously calibrated using certified standards.

2.4.1.2. Determination of moisture content

To determine the moisture content (H), 2 g of each briquette sample was weighed into a crucible of known mass. The crucible containing the

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

sample was placed in a calorimetric oven at 105 °C. The crucible was removed and placed in a desiccator, then left to cool to room temperature, after which it was weighed again. This procedure was repeated until a constant mass was obtained. The moisture content was calculated using equation 4.

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (4)$$

Where:
m_1: the initial mass of the sample (g)
m_2: the final mass of the dried sample (g)

2.4.1.3. Ash content

The ash content (AC) was determined by weighing 2 grams of oven-dried briquettes in a crucible of known mass. The briquette was placed in an oven for approximately 3 hours and maintained at a constant temperature of 600 °C until ash was obtained. The ash content was calculated using equation 5.

$$AC = \frac{m_4}{m_3} * 100 \quad (5)$$

m_3: the mass of the dried sample (g)
m_4: the mass of ash (g)

2.4.1.4. Total organic carbon content

Total organic carbon (TOC) was determined using the Walkley-Black method, based on oxidation with potassium dichromate in an acidic medium, followed by titration with ferrous sulphate. The samples were ground, and a mass of between 0.1 g and 1 g was placed in an Erlenmeyer flask. This sample was mixed with 10 mL of 1 N potassium dichromate solution and 20 mL of concentrated sulphuric acid. The mixture was stirred for 1 minute and then left to stand for 30 minutes. Next, 200 mL of distilled water, 10 mL of phosphoric acid and 10 to 15 drops of the ferroin indicator solution were added. The resulting solution was titrated with 0.5 N ferrous sulphate. The percentage of carbon in the sample is determined using equation 6.

$$TOC = \frac{(A - B) * V * G * 100}{P * A} \quad (6)$$

Where V = 10 mL and G = 0.004
TOC: total organic carbon (%)
A: volume of ferrous sulphate used for the blank (mL)

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

B: volume of ferrous sulphate used for the sample (mL)
V: volume of dichromate added initially
G: number of g of C per ml of dichromate
P: weight of the titrated sample on a dry basis (g)

2.4.1.5. Determination of the gross calorific value

The calorific value was determined using an XRY-1A type calorimetric bomb. This involves placing the sample on the sample holder inside the bomb. The ignition wire is connected to the holder and the ignition circuit, after which the bomb is sealed. Several purge cycles were carried out, followed by filling the bomb with O_2 at the specified pressure (20 - 30 bar), whilst checking for leaks. The bomb is then immersed in the calorimeter, which is filled with a known mass of water, and the stirring system is switched on. When the initial temperature (T_i) stabilises, it is recorded and the electric ignition is triggered to ensure complete combustion. After combustion, the final temperature (T_f) of the system in its steady state is recorded. The temperature change (ΔT), the net energy released by combustion (Q_{total}), the corrected net energy released (Q_{sample}), the gross calorific value (PCS) and the net calorific value (PCI) are calculated using the following equations:

$$\Delta T = T_f - T_i \tag{7}$$

$$Q_{totale} = K\Delta T \tag{8}$$

$$Q_{sample} = Q_{total} - Q_{wire} - Q_{other_{corrections}} \tag{9}$$

$$PCS = \frac{Q_{sample}}{m} \tag{10}$$

$$PCI = PCS - \left(m_{H2O} - \Delta H_{vap}\right) \tag{11}$$

Where:
K: The calorimetric constant of the system (J/°C), obtained by calibration
Q_{wire}: the energy supplied by the ignition wire, determined by testing or provided
$Q_{other\_corrections}$: comprises minor thermochemical corrections relating to secondary reactions that occur in the bomb
m: is the mass of the sample (g)
m_{H2O} : mass of water formed during combustion, per kg of fuel
ΔH_{vap} : latent heat of vapourisation of water

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

2.4.2. Mechanical test

This test involves determining the impact resistance (IR) in order to assess the behaviour of the briquettes during handling, transport and unloading. The method complies with the ASTM D440-49 standard. It involves dropping a briquette three times onto a solid surface from a height of 1.8 m. The mass of the briquette is measured before the test. The impact resistance is then calculated using equation 12.

$$IR = 100 - \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100 \quad (12)$$

m_0 : is the mass of the briquette measured before the drop
m_1 : is the mass of the briquette after tumbling

2.4.3. Combustion test

This analysis involves determining the combustion parameters of the briquettes, in particular the time taken for the water to boil. To do this, a saucepan containing 250 mL of water is heated on a fire fuelled by 250 g of briquettes in a sheltered, wind-free location to simulate cooking conditions. The water temperature is recorded every 5 minutes using a probe thermometer.

2.4.4. Analysis of Variance (ANOVA)

To assess the influence of ash content (ASH), total organic carbon (TOC) and moisture content (H) on the lower calorific value (PCI) of the briquettes, an analysis of variance (ANOVA) was carried out. This allows the proportion of variability explained by each factor to be compared with the residual variability of the model.

The ANOVA tests the null hypothesis (H_0) that all coefficients associated with each variable are zero, i.e. that none of the parameters considered has a significant effect on the PCI. The alternative hypothesis (H_1), on the other hand, states that at least one factor influences the PCI.

3. Results and discussion

3.1. Characterisation of Ulva species using X-ray fluorescence (XRF)

The various values obtained during elemental characterisation are set out in Table 1. The results show that Ulva sp. consists mainly of calcium (Ca: 47653.96 ppm) and potassium (K: 45509.60 ppm). Trace elements were also detected, notably magnesium (Mg: 8077.35 ppm), sulphur (S: 4977.71 ppm), phosphorus (P: 3055.05 ppm) and iron (Fe: 2,493.79 ppm). Mercury, lead and cadmium were not detected in the samples analysed, as their concentrations were below the instrument's detection limit. These results are partly comparable to those reported by Czerwik-Marcinkowska et al. (2020) on the elemental characterisation of Ulva pilifera, who identified 14 elements (Al,

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Ba, Br, Ca, Cl, Fe, I, K, Mg, Mn, Na, P, S and Si) in the thalli, with calcium as the dominant element, followed by sulphur, silicon and magnesium. Although calcium is also the dominant element in our study, its concentration remains lower than that reported by these authors, which could be explained by species-specific differences, distinct environmental conditions and the nature of the collection waters specific to the Cap des Biches site.

However, our results differ from those of Mouga et al. (2025), who reported sodium as the predominant element, with a concentration of 73.80 ± 0.45 mg/g in Ulva sp. collected from the open marine environment. The absence of detectable sodium in our samples could be explained by the fact that the algae originate from the cooling waters of the condensers at the Cap des Biches power station, a confined environment whose ionic composition differs significantly from that of open seawater. Furthermore, the season of collection (March to August) and possible industrial inputs from the site could also contribute to this particular mineral profile, dominated by calcium and potassium.

Table 1: Mineral composition of the *Ulva sp*.-type macroalgae

Chemical elements	Values in ppm (mg/kg)
Mo	0.112
Pb	< 0.001
Se	0.174
As	25.86
Hg	< 0.001
Zn	20.378
Cu	1.145
Ni	0.192
Co	0.402
Fe	2493.788
Mn	229.17
Cr	0.795
Ca	47653.96
K	45509.6
S	4977.71
Cd	< 0.001
Mg	8077.35
P	3055.046

3.2. Physico-chemical characterisation of Ulva

The various values for physico-chemical parameters such as moisture content, ash content, total organic carbon and lower calorific value are presented in Table 2. Each experiment was repeated twice to determine the standard deviation. These parameters enable an assessment of the extent to which the proportion of calcium silicate influences the fuel quality of the briquettes.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Table 2: Physico-chemical parameters of the briquettes

Physico-chemical parameters	BAL50	BAL40	BAL30	BAL20	CHAR
Moisture content (%)	6.64±0.026	6.76±0.032	6.84±0.027	6.93±0.031	5.14±0.019
TOC (%)	15.71±0.019	20.11±0.025	21.96±0.016	24.33±0.023	20.61±0.024
Ash content (%)	49.75±0.041	47.3±0.035	44.94±0.037	39.38±0.029	17.54±0.023
PCI (kcal/kg)	1289±0.024	1338±0.029	1365±0.031	1778±0.028	2939±0.032

3.3. Ash and moisture content

Ash content represents the quantity of inorganic elements and other minerals comprising the biomass that do not burn, thus leaving residues after combustion (Imaniraguha et al., 2025). Briquettes containing 50 % binder have the highest ash content, at nearly three times that of the reference charcoal (17.54 %). The ash content of sample BAL20 is 39.38 %, the lowest among the briquettes but still significantly higher than that of charcoal. This difference is mainly due to the mineral nature of the binder, which is rich in inorganic elements that contribute directly to ash formation. Furthermore, the presence of exogenous materials such as gastropods or sand in the *Ulva sp*. biomass may also increase this content. The values obtained here are lower than those reported by Olufunke O. Oyebamiji et al., which ranged from 16.70 % (peanut shells) to 79.25 % (maize straw) (Oyebamiji et al., 2025). A study has also shown that the presence of compounds such as sodium, potassium, phosphorus and chlorine in macroalgae contributes to an increase in ash content (Bilodeau et al., 2022).

With regard to moisture content, the briquettes show values within a narrow range, between 6.64 % and 6.93 %. These values are slightly higher than those of charcoal (5.14 %) and those obtained by Georges et al. for seaweed-based briquettes (4.83 %). This higher moisture content can be attributed to the hygroscopic nature of the binder, which, when suspended in water, swells and retains a significant amount of water to form an interstitial layer (Lomunyak et al., 2024). According to Nakimuli et al., an optimal moisture content improves the density, durability and compressive strength of the briquettes (Nakato et al., 2025) . Figure 7 presents a comparison of the ash and moisture contents for the different samples.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

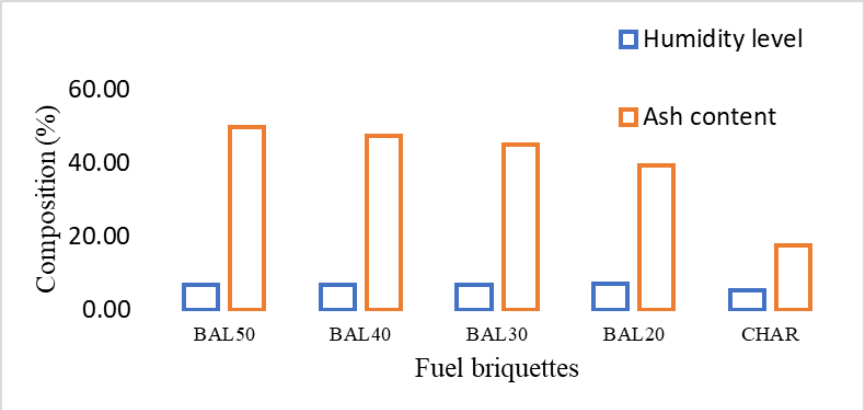


Figure 7: Effect of binder percentage on moisture content and ash content

3.4. Total organic carbon (TOC)

Total organic carbon includes all forms of organic carbon, whether dissolved, volatile or solid. It is distinct from fixed carbon, which corresponds to the fraction of carbon remaining after the removal of moisture, volatile matter and ash. Among all the samples analysed, the TOC content ranges from 15.71 % to 24.33 %. It decreases with the gradual addition of binder from 20 % to 50 %. The binder used is a mineral material; its incorporation at high levels contributes to a reduction in the organic carbon content. BAL20-type briquettes have a TOC content of 24.33 %, which is higher than that of BAL50, BAL40 and BAL30 briquettes. It has been reported in the literature that green algae biomass of *the Ulva sp.* type is very rich in organic compounds (Toro-Mellado et al., 2025) . This is why , Dogmaz and Cavas used biomass derived from *Ulva lactuca* blooms to produce biohydrogen via silver nanoparticles (Dogmaz & Cavas, 2023) . Figure 8 shows the total organic carbon content of the different briquettes.

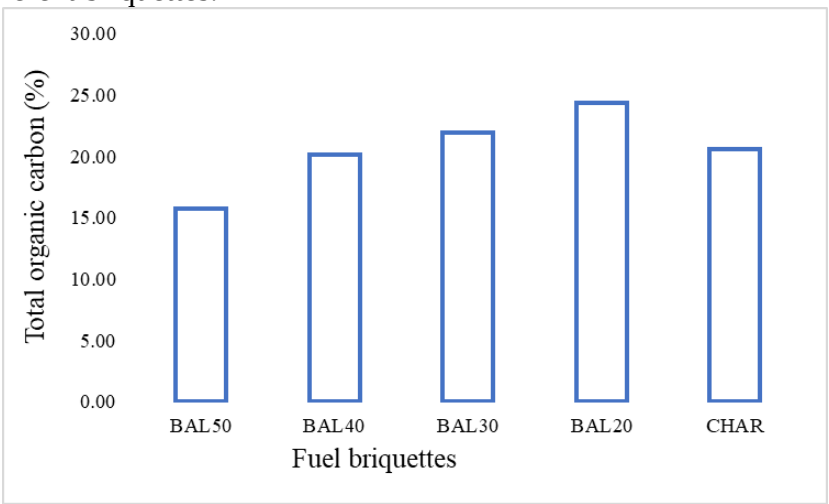


Figure 8: Effect of binder percentage on TOC

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

3.5. Lower Calorific Value

The results obtained show that the lower calorific value (PCI) of charcoal (2939 kcal/kg) is higher than that of the fuel briquettes developed. This high value is due to the presence of lignin, the decomposition of which generates a high proportion of fixed carbon. However, the results reveal an increasing trend in the LHV as the percentage of binder decreases, from 1,289 kcal/kg for the BAL50 to 1,778 kcal/kg for the BAL20 (Table 2). These values all remain lower than that of charcoal, and only the BAL20 briquettes have the highest calorific value among the briquettes tested. This decrease in calorific value can be explained by the presence of the binder in the samples and also by the relatively low organic carbon content. Calcium silicate reduces the calorific value of the fuel briquettes due to the presence of minerals within them. The value obtained for the BAL20 briquettes is lower than that reported by Brice et al., which is 10 MJ/kg (2388.45 kcal/kg). This observed discrepancy can be explained by the fact that their briquettes were produced using wood with lignin and cellulose contents of 26.6 % and 50.4 % respectively (Martial et al., 2025). Figure 9 illustrates the gross calorific values of the various fuels.

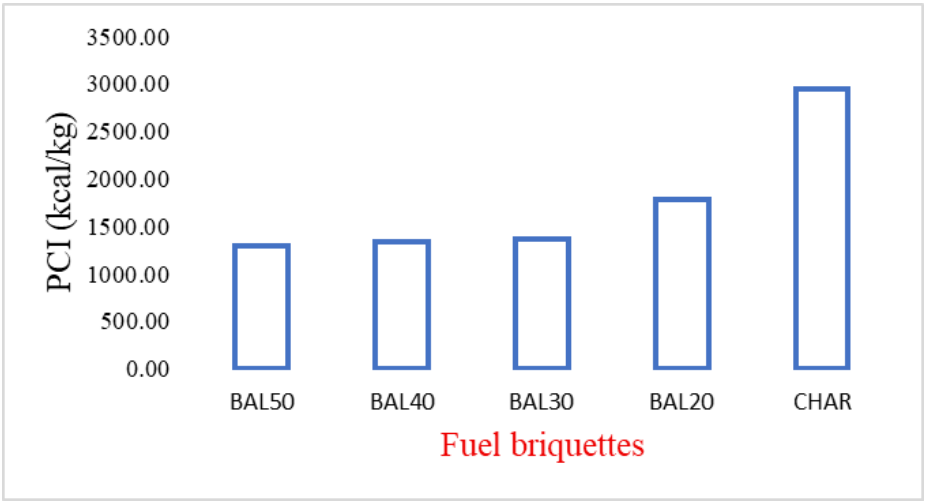


Figure 9: Effect of binder percentage on PCI

3.6. Analysis of variance (ANOVA)

The analysis of variance carried out on the lower calorific value (PCI) as a function of ash content (ASH), total organic carbon (TOC) and moisture content (H) reveals that the variability in PCI is mainly explained by the ash content. The effect of ASH is highly significant ($p = 0.0307 < 0.05$), indicating a clear and direct influence of the mineral fraction on the calorific value.

To quantify this relationship, a Pearson correlation analysis was carried out. Ash content shows the strongest negative correlation with the PCI ($r = -0.95$; $R^2 = 0.90$), confirming that ASH alone accounts for approximately

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

90% of the observed variance in the PCI. Each 1 per cent increase in ash content is associated with a decrease of approximately 48 kcal/kg in the calorific value. This relationship is explained by the inorganic nature of the $CaSiO_3$ binder, which does not contribute to combustion and dilutes the energy content of the briquettes. By contrast, moisture content ($p = 0.4547$) and total organic carbon ($p = 0.4432$) did not show any statistically significant effects at the $\alpha = 0.05$ threshold, suggesting that, within the range of variation studied, these parameters do not exert a detectable influence on the PCI.

Biomass briquettes intended for domestic use are classified as having an ash content of less than 4 per cent, a moisture content of less than 13 per cent and a minimum net calorific value of 14.5 MJ/kg (Walozi et al., 2026). The formulations studied, with ash contents ranging from 39.38 % (BAL20) to 49.75 % (BAL50), far exceed this threshold. This high ash content affects combustion efficiency by reducing the fuel's energy density, promoting clogging and slag formation, and inhibiting complete combustion (Walozi et al., 2026). However, for the traditional open hearths commonly used in sub-Saharan Africa, this constraint is less limiting, and the obtained PCI) values (1289 to 1778 kcal/kg) remain suitable for domestic use in this context. Similar results were reported by Huihui Liu et al. in their study of the hydrothermal carbonisation of natural microalgae with high ash content, where a negative correlation between the mineral fraction and calorific value was observed (Liu et al., 2019). The individual effects of ASH, TOC and H on the gross calorific value are illustrated in Figure 10.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

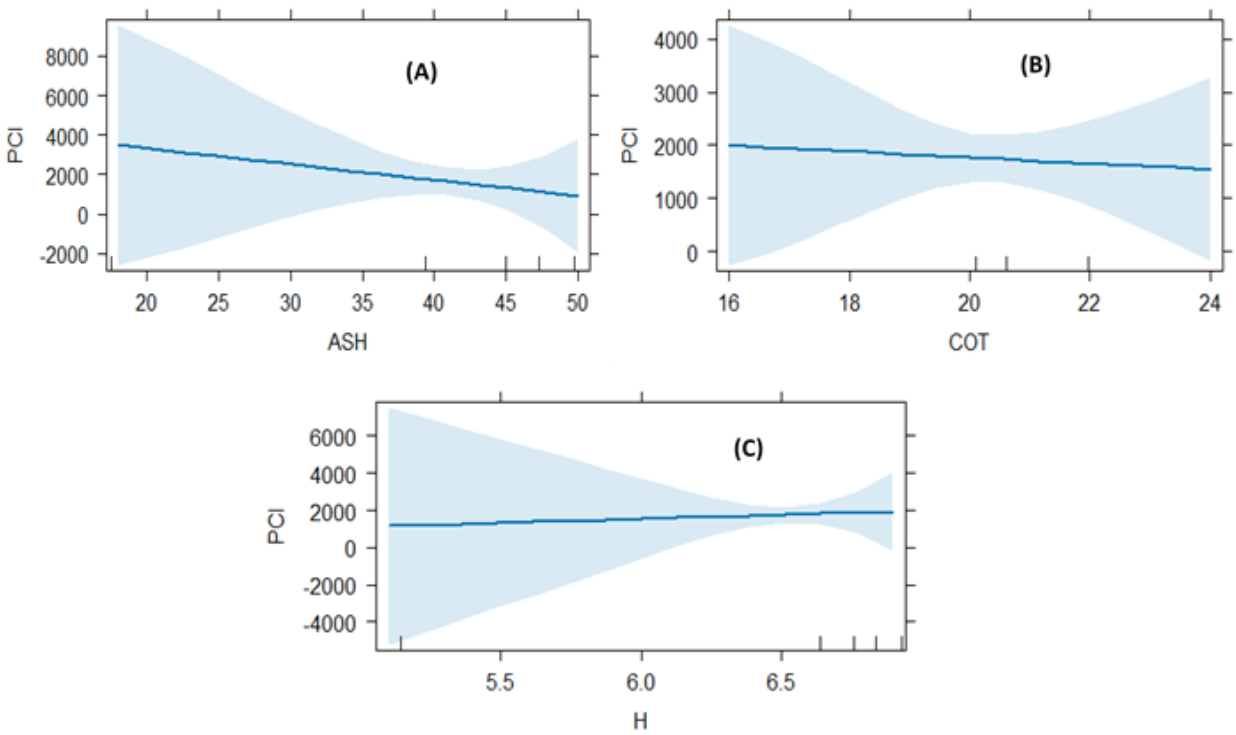


Figure 10: Effects of ash content (A), total organic carbon (B) and moisture content (C) on the lower calorific value

3.7. Impact resistance

Impact resistance ranges from 79 % (BAL20) to 84 % (BAL50) (Table 3), following a trend directly proportional to the binder content: the higher the calcium silicate content, the greater the mechanical durability. This result highlights a fundamental trade-off between mechanical properties and energy performance, directly linked to the role of calcium silicate as a structuring binder. According to Mitchual et al. (2013), briquettes with an impact resistance greater than 80 % are considered to be highly durable; in this respect, the BAL30, BAL40 and BAL50 formulations meet this criterion. These values are comparable to those reported by Njoka et al. (2024), who obtained an average impact resistance of 95.2 % for charcoal briquettes using seaweed as a binder, produced under similar conditions of manual manufacture. Nonsawang et al. (2024) also confirmed that impact resistance increases with binder content, which is consistent with the trends observed in the present study.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Table 3: Effect of the percentage of calcium silicate on impact resistance

Briquettes	BAL20	BAL30	BAL40	BAL50
Mechanical durability (%)	79	81	82	84

3.8. Combustion test

Figure 11 shows the change in water temperature, measured every 5 minutes during heating using the different types of briquettes. The results show that BAL20 is the only formulation to reach boiling point (~100°C) at 25 minutes, confirming its thermal superiority, consistent with its highest gross calorific value (1778 kcal/kg = 7.44 MJ/kg). For BAL30, a gradual rise in temperature is observed up to 84.7°C at around 25 minutes, followed by a relatively stable thermal plateau. The BAL40 and BAL50 briquettes reached their respective peaks at 69.6°C after 25 minutes and 77.6°C after 30 minutes, with less efficient combustion. This poor combustion of the BAL40 and BAL50 briquettes is probably due to the presence of very high ash content, moisture and volatile organic matter. According to Gang Li et al., several factors can affect the combustion rate; in their study, it was assumed that the higher ash content (54.3 ± 0.9 %) of the fuel was the main reason for the lower combustion rate (G. Li et al., 2022). Another study on sawdust briquettes showed that energy efficiency decreased as moisture content increased, which can reduce the combustion rate (Mkini & Bakari, 2018).

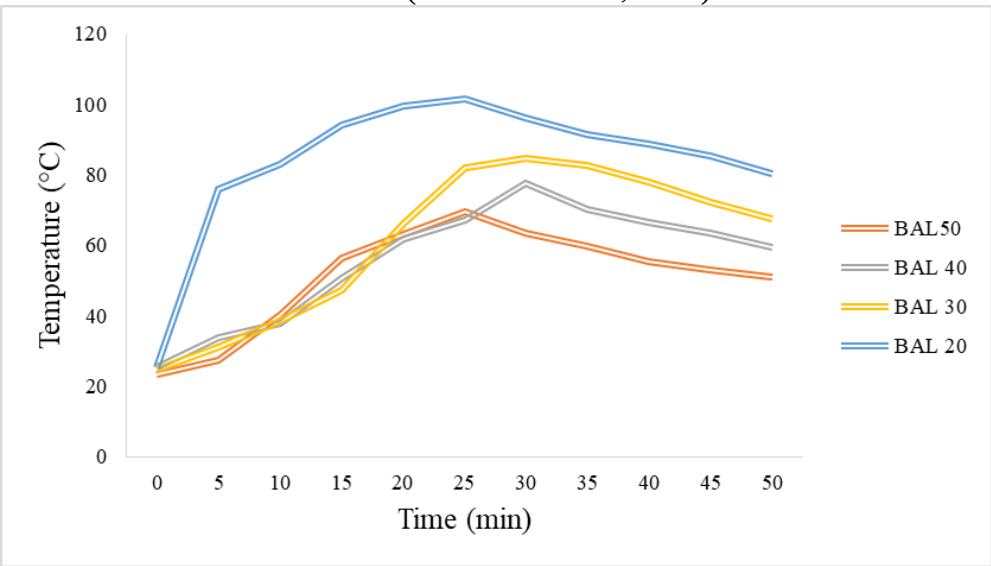


Figure 11: Change in the boiling point of water over time

Conclusion

This study has demonstrated the technical feasibility of utilising Ulva sp. waste from SENELEC's C3 power station by producing fuel briquettes as a partial substitute for conventional charcoal in the Senegalese context. The

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

results showed that the calcium silicate content significantly influences the thermal and mechanical properties of the briquettes produced. Among the formulations tested, the BAL20 briquettes performed well, with a lower calorific value (PCI) of 1,778 kcal/kg (7.44 MJ/kg), although this value remains lower than that of conventional charcoal (PCI = 2939 kcal/kg; 12.30 MJ/kg).

Although this lower calorific value is lower than that of conventional charcoal, it remains comparable to that of other biomass briquettes reported in the literature (Mitchual et al., 2013; Njoka et al., 2024), suggesting a viable solution for domestic applications in rural areas where conventional charcoal is economically unaffordable.

Statistical analysis (ANOVA) confirmed that ash content is the most influential factor, with a statistically significant effect ($p < 0.05$; $p = 0.031$), whilst moisture content and total organic carbon (TOC) did not reach the significance threshold. This result can be explained by the small variation in moisture content between the formulations, which may have limited its discriminatory power, whilst the effect of TOT was probably masked by the dominant effect of the high content of the mineral binder. Furthermore, the mechanical strength of the briquettes increases with the proportion of binder, reaching an optimal durability of 84 % for the BAL50 briquettes.

However, the high ash content of the briquettes, particularly for the BAL20 (39.38 %), presents a major challenge for large-scale deployment in terms of the maintenance of combustion systems and the management of residues. Consequently, further studies are required to reduce the proportion of mineral binder by combining it with organic binders, in order to lower the ash content whilst preserving the mechanical integrity of the briquettes. Furthermore, a cost-benefit analysis should be carried out to assess the economic and environmental viability of the seaweed-based briquette production process.

Despite these limitations, this study represents an initial investigation into the energy recovery of Ulva sp. macroalgae, sourced from industrial cooling water, in the form of fuel briquettes, using a mineral binder derived from a by-product of the Senegalese chemical industry, subject to further optimisation of the formulation.

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.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

References:

1. Ahmed, M. S., Lebrini, M., Pellé, J., Rioual, S., Amintas, O., Boulanger, C., Lescop, B., & Roos, C. (2024). Study of atmospheric corrosion of zinc in a tropical marine environment rich in H_2S, resulting from the decomposition of *Sargassum* algae. *Materials and Corrosion*, *75*(9), 1133–1141. https://doi.org/10.1002/MACO.202414292
2. Akam, N. G., Diboma, B. S., Mfomo, J. Z., Ndiwe, B., Bôt, B. V., & Biwolé, A. B. (2024). Physicochemical characterisation of briquette fuel produced from cocoa pod husks: The case of Cameroon. *Energy Reports*, *11*, 1580–1589. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.01.029
3. Akila, V., Manikandan, A., Sahaya Sukeetha, D., Balakrishnan, S., Ayyasamy, P. M., & Rajakumar, S. (2019). Biogas and biofertiliser production from marine macroalgae: An effective anaerobic digestion of *Ulva* sp. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *18*, 101035. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101035
4. Amrullah, A., Farobie, O., Bayu, A., Syaftika, N., Hartulistiyoso, E., Moheimani, N. R., Karnjanakom, S., & Matsumura, Y. (2022). Slow pyrolysis of *Ulva lactuca* (Chlorophyta) for sustainable production of bio-oil and biochar. *Sustainability*, *14*(6), 3233. https://doi.org/10.3390/su14063233
5. BA, K., Diop, E. H. M., Toure, A. O., & Sambe, F. M. (2022). Optimisation of crystal violet adsorption by calcium silicate waste material. *Scientific African*, *18*, e01417. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01417
6. Baghel, R. S., Suthar, P., Gajaria, T. K., Bhattacharya, S., Anil, A., & Reddy, C. R. K. (2020). Seaweed biorefinery: A sustainable process for valorising the biomass of brown seaweed. *Journal of Cleaner Production*, *263*, 121359. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121359
7. Bilodeau, M., Barnabé, S., Riverin, L., & Fequet, K. (2022). The potential for integrating marine algae from the Lower North Shore into Quebec's energy mix. *Revue des sciences de l'eau*, 43–47.
8. Czerwik-Marcinkowska, J., Piwowarczyk, R., Uher, B., Tomal, E., & Wojciechowska, A. (2020). X-ray fluorescence techniques in determining the habitat preferences of *species—Ulva pilifera* (Ulvales, Chlorophyta): a case study from Montenegro. *Molecules*, *25*(21), 5022. https://doi.org/10.3390/molecules25215022
9. Dogmaz, S., & Cavas, L. (2023). Biohydrogen production via green silver nanoparticles synthesised from *Ulva lactuca* bloom biomass. *Bioresource Technology*, *379*, 129028. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129028

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

10. Farobie, O., Amrullah, A., Bayu, A., Syaftika, N., Anis, L. A., & Hartulistiyoso, E. (2022). In-depth study of bio-oil and biochar production from the macroalgae *Sargassum* sp. via slow pyrolysis. *RSC Advances*, *12*(16), 9567–9578. https://doi.org/10.1039/D2RA00702A
11. François, M., Lin, K., Hussain, J., & Mdlovu, N. V. (2025). Enhancement of biomass energy: Thermal conversion, biogas yield, and machine learning insights. *Journal of the Energy Institute*, *121*, 102131. https://doi.org/10.1016/j.joei.2025.102131
12. Goffeng, L. O., Austigard, Å. D., Svendsen, K. H., Skare, Ø., Einarsdottir, E., Madsø, L., & Heldal, K. K. (2023). A cross-sectional study of sensory-motor neuropsychological function among sewage plant and sewage network workers exposed to hydrogen sulphide whilst handling wastewater. *Annals of Work Exposures and Health*, *67*(9), 1027–1042. https://doi.org/10.1093/annweh/wxad051
13. Imaniraguha, J., Mushimiyimana, T., Lucas, C., & Condo, A. (2025). Production and characterisation of briquettes from *Panicum maximum* Jacq. (Guinea grass) and cassava peel waste. *Energy Reports*, *14*, 1043–1050. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.07.033
14. Jabeen, F., Zil-E-Aimen, N., Ahmad, R., Mir, S., Awwad, N. S., & Ibrahium, H. A. (2025). Carrageenan: Structure, properties and applications with special emphasis on food science. *RSC Advances*, *15*(27), 22035–22062. https://doi.org/10.1039/d5ra03296b
15. Jo, J. Y., Kwon, Y. S., Lee, J. W., Park, J. S., Rho, B. H., & Choi, W. I. (2013). Acute respiratory distress due to methane inhalation. *Tuberculosis and Respiratory Diseases*, *74*(3), 120–123. https://doi.org/10.4046/trd.2013.74.3.120
16. Kim, G., Hwan, Y., Kim, I., & Han, J. (2019). Co-production of biodiesel and alginate from *Laminaria japonica*. *Science of the Total Environment*, *673*, 750–755. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.049
17. Li, C., Liang, Y., Miao, Q., Ji, X., Duan, P., & Quan, D. (2024). The influence of microalgae fertiliser on soil water conservation and soil improvement: Yield and quality of potted tomatoes. *Agronomy*, *14*(9), 2102. https://doi.org/10.3390/agronomy14092102
18. Li, G., Hao, Y., Yang, T., Wu, J., Xu, F., Li, L., Wang, B., Li, M., Zhao, N., Wang, N., Liu, C., Huang, Z., Zhou, Y., & Zhao, Y. (2022). Air pollutant emissions from sludge-bituminous briquettes as a potential household energy source. *Case Studies in Thermal Engineering*, *37*, 102251. https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102251
19. Liu, H., Chen, Y., Yang, H., Gentili, F. G., Söderlind, U., Wang, X., Zhang, W., & Chen, H. (2019). Hydrothermal carbonisation of natural

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

microalgae with a high ash content. *Fuel*, *249*, 441–448. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.004

20. Lomunyak, G., Osodo, B., Njoka, F., & Kombe, E. (2024). Characterisation, optimisation and emission analysis of hand-made charcoal dust briquettes using starch, paper and algae binders. *Heliyon*, *10*(24), e40991. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40991
21. Martial, B., Lemaire, R., & Nikiema, J. (2025). Insight into the production factors influencing the physicochemical properties of densified briquettes comprising wood shavings and rice husk. *Industrial Crops and Products*, *223*, 120134. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.120134
22. Mitchual, S. J., Frimpong-Mensah, K., & Darkwa, N. A. (2013). Effect of species, particle size and compacting pressure on relaxed density and compressive strength of fuel briquettes. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, *4*(1), 30. https://doi.org/10.1186/2251-6832-4-30
23. Mkini, R. I., & Bakari, Z. (2018). Effect of moisture content on combustion and friability characteristics of biomass waste briquettes made by small-scale producers in Tanzania. *International Journal of Engineering Research and Reviews*, *3*(1), 66–72.
24. Mouga, T., Almeida, M. M., Pitacas, F. I., Rodrigues, A. M., Vitória, C., & Anjos, O. (2025). Elemental and nutritional characterisation using vibrational spectroscopy analysis of *Ulva* sp., *Gracilaria multipartita*, and *Sargassum muticum*. *Applied Sciences*, *15*(8), 4212. https://doi.org/10.3390/app15084212
25. Nakato, C., Kaggwa, F., De Greef, J., Kilama, D., Blondeau, J., & Kawuma, S. (2025). Review of machine learning applications for predicting the quality of biomass briquettes for sustainable and low-carbon energy solutions. *Green Energy and Resources*, *3*(3), 100130. https://doi.org/10.1016/j.gerr.2025.100130
26. Nonsawang, S., Juntahum, S., Sanchumpu, P., Suaili, W., Senawong, K., & Laloon, K. (2024). Unlocking renewable fuel: Charcoal briquette production from agro-industrial waste using cassava-based industrial binders. *Energy Reports*, *12*, 4966–4982. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.10.053
27. Nzihou, A., Ifunanya, G., & Gonz, M. (2024). A review on biochar briquetting: Common practices and recommendations to enhance mechanical properties and environmental performance. *Journal of Cleaner Production*, *469*, 143193. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143193
28. Njoka, F., Kombe, E., et al. (2024). Characterisation, optimisation and emission analysis of manually-made charcoal dust briquettes with

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

starch, paper and algae binders. Heliyon, 10(24), e40991. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40991

29. Oyebamiji, O. O., Olaleru, A. S., Oyeleke, R. B., & Ofodile, L. N. (2025). Evaluation and characterisation of biochar and briquettes from agricultural waste for sustainable energy production. *Waste Management Bulletin*, *3*(3), 100198. https://doi.org/10.1016/j.wmb.2025.100198
30. Rath, D. P., Mahapatro, A., & Pattanayak, B. (2024). Briquette production and performance evaluation from coal and agricultural waste. *Materials Today: Proceedings*. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.12.019
31. Sheppard, E. J., Hurd, C. L., Britton, D. D., Reed, D. C., & Bach, L. T. (2023). Seaweed biogeochemistry: Global assessment of C:N and C:P ratios and implications for ocean afforestation. *Journal of Phycology*, *59*(4), 879–892. https://doi.org/10.1111/jpy.13381
32. Sundaram, T., Kamalesh, R., Saravanan, A., Yaashikaa, P. R., Vickram, A. S., Teena, R. A., & Thiruvengadam, S. (2025). Harnessing algal biomass for renewable energy and biofuel production: Current strategies and future insights. *International Journal of Biological Macromolecules*, *319*, 145487. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.145487
33. Sundblad, B.-M., Larsson, B.-M., Acevedo, F., Ernstgård, L., Johanson, G., Larsson, K., & Palmberg, L. (2004). Acute respiratory effects of exposure to ammonia on healthy persons. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, *30*(4), 313–321. https://doi.org/10.5271/sjweh.800
34. Toro-Mellado, F., Piña, F., Baltrusch, K. L., Inoubli, S., Flórez-Fernández, N., Torres, M. D., Contreras-Porcia, L., & Domínguez, H. (2025). Potential applications of *Ulva* spp. *Food Bioscience*, *71*, 107256. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.107256
35. Van der Wal, H., Sperber, B. L. H. M., Houweling-Tan, B., Bakker, R. R. C., Brandenburg, W., & López-Contreras, A. M. (2013). Production of acetone, butanol, and ethanol from biomass of the green seaweed *Ulva lactuca*. *Bioresource Technology*, *128*, 431–437. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.094
36. Walozi, R., Onep, G. S., Sanusi, Y. S., Babiker, O. E., Dennison, M. S., Candia, A., & Okurut, S. (2026). *A comprehensive review of chemical treatments for biomass feedstock to enhance briquette characteristics*.
37. Yaman, S., & Kucukbayrak, S. (2013). Production of biobriquettes from carbonised brown seaweed. *Fuel Processing Technology*, *106*, 33–40. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.06.014

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Effet de la granulométrie et de deux méthodes de séchage sur le rendement d'extraction, la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante des feuilles de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. (Anacardiaceae)

Bakary Moussa Cisse
Faculté de Pharmacie, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali
Centre d'excellence africain de formation, de recherche et d'expertises en sciences du médicament (CEA CFOREM), Burkina Faso
Mahamane Haidara
Faculté de Pharmacie, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali
Institut National de Recherche sur la Médecine et la Pharmacopée Traditionnelles (INRMPT), Mali
Aïchata Ben Adam Mariko
Faculté de Pharmacie, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali
Centre d'excellence africain de formation, de recherche et d'expertises en sciences du médicament (CEA CFOREM), Burkina Faso
Adama Denou
Mamadou Lamine Diarra
Faculté de Pharmacie, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali
Rasmané Semde
Laboratoire du Développement du Médicament (LADME) de l'Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso
Rokia Sanogo
Faculté de Pharmacie, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali
Institut National de Recherche sur la Médecine et la Pharmacopée Traditionnelles (INRMPT), Mali

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p55

Submitted: 09 June 2026
Accepted: 08 August 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Cite As:
Cisse, B.M., Haidara, M., Mariko, A.B.A., Denou, A., Diarra, M.L., Semde, R., & Sanogo, R. (2026). *Effet de la granulométrie et de deux méthodes de séchage sur le rendement d'extraction, la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante des feuilles de Sclerocarya birrea (A. Rich.) Hochst. (Anacardiaceae)*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 55. https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p55

Résumé

La Diabétisane 1 est un médicament traditionnel au Mali à base de feuilles pulvérisées de *Sclerocarya birrea*, utilisée en décoction contre le diabète, mais cette forme présente des inconvénients pratiques. L'objectif de notre étude était d'étudier l'impact de la granulométrie de la poudre et de deux méthodes de séchage (lyophilisation et étuvage à 50 °C) sur le rendement d'extraction, la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante. Deux granulométries ont été testées, fine (0,088 mm) et grossière (0,9 mm). Les résultats ont montré que la poudre fine donnait un rendement d'extraction (17,70 %) et une teneur en polyphénols (685,22 mg EAG/100 g MS) significativement supérieurs à ceux de la poudre grossière (16,20 % et 502,34 mg EAG/100 g MS), sans différence notable d'activité antioxydante. Comparées sur la poudre fine, les deux méthodes de séchage n'ont pas donné de différence significative ni en teneur en polyphénols totaux (670,59 et 685,22 mg EAG/100 g MS), ni en activité antioxydante (CI_{50} = 1,8 µg/mL pour les deux), bien que l'étuvage ait produit un rendement significativement plus élevé (19,58 %). La couleur des extraits est d'acajou pour l'étuvage, rouille pour la lyophilisation, sans affecter le pH (5,0 ± 0,2) ni la saveur astringente. L'étuvage, méthode simple et économique, s'avère donc une alternative viable à la lyophilisation, particulièrement adaptée aux contextes à ressources limitées, facilitant le développement d'une formulation solide accessible de Diabétisane 1.

Mots-clés: *Sclerocarya birrea*, polyphénols, granulométrie, étuvage, diabétisane 1

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Effect of Particle Size and Two Drying Methods on the Extraction Yield, Total Polyphenol Content and Antioxidant Activity of the Leaves of *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. (Anacardiaceae)

Bakary Moussa Cisse
Faculty of Pharmacy, University of Science, Engineering and Technology, Bamako, Mali. African Centre of Excellence for Training, Research and Expertise in Pharmaceutical Sciences (CEA CFOREM), Burkina Faso
Mahamane Haidara
Faculty of Pharmacy, University of Science, Technology and Engineering, Bamako, Mali. National Institute for Research into Traditional Medicine and Pharmacopoeia (INRMPT), Mali
Aïchata Ben Adam Mariko
Faculty of Pharmacy, University of Science, Technology and Engineering, Bamako, Mali. African Centre of Excellence for Training, Research and Expertise in Pharmaceutical Sciences (CEA CFOREM), Burkina Faso
Adama Denou
Mamadou Lamine Diarra
Faculty of Pharmacy, University of Science, Technology and Engineering, Bamako, Mali
Rasmané Semde
Drug Development Laboratory (LADME) at Joseph Ki-Zerbo University, Ouagadougou, Burkina Faso
Rokia Sanogo
Faculty of Pharmacy, University of Science, Technology and Engineering, Bamako, Mali. National Institute for Research into Traditional Medicine and Pharmacopoeia (INRMPT), Mali

Abstract

In Mali, Diabétisane 1, a traditional medicine made from pulverized leaves of *Sclerocarya birrea*, is used as a decoction against diabetes, but this form has practical drawbacks. The objective of our study was to evaluate the impact of powder particle size and two drying methods (freeze-drying and oven drying at 50°C) on the extraction yield, total polyphenol content, and antioxidant activity. Two particle sizes were tested, fine (0.088 mm) and coarse (0.9 mm). The results showed that the fine powder yielded a higher extraction yield (17.70%) and polyphenol content (685.22 mg GAE/100 g DM), significantly higher than those of the coarse powder (16.20% and 502.34 mg GAE/100 g DM), without a notable difference in antioxidant activity.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Compared to the fine powder, the two drying methods differed neither in polyphenol content (670.59 vs 685.22 mg GAE/100 g DM) nor in antioxidant activity (IC_{50} = 1.8 µg/mL), although oven drying produced a significantly higher yield (19.58%). Only the color of the extract varied (mahogany for oven drying, rust for freeze-drying), without affecting the pH (5.0 ± 0.2) or the astringent flavor. Oven drying, a simple and economical method, therefore proves to be a viable alternative to freeze-drying, particularly suited to contexts with limited resources, facilitating the development of an accessible solid formulation of Diabétisane 1.

Keywords: *Sclerocarya birrea*, polyphenols, particle size, oven drying, Diabetisane 1

Introduction

Sclerocarya birrea (A. Rich.) Hochst., communément appelé prunier d'Afrique, est une Anacardiaceae largement utilisée en Afrique subsaharienne dans la médecine traditionnelle pour le traitement de diverses affections, notamment le diabète de type II. Les feuilles de cette plante sont particulièrement reconnues pour leurs propriétés hypoglycémiantes (Gafar et al., 2021 ; Youl et al., 2020).

Dans le cadre d'un programme de recherche mené par l'Institut National de Recherche sur la Médecine et la Pharmacopée Traditionnelles (INRMPT) ou ex-DMT (Département Médecine Traditionnelle) visant l'évaluation de remèdes antidiabétiques, une enquête ethnobotanique a été conduite auprès de thérapeutes traditionnels. Celle-ci a permis d'identifier le décocté de feuilles de *Sclerocarya birrea* (*S. birrea)* comme un remède fréquemment utilisé dans la prise en charge du diabète (Coulibaly, 1988). Cette observation a conduit à la formulation de Diabétisane 1, un médicament traditionnel amélioré à base de poudre de feuilles de *S. birrea*.

Depuis sa mise au point, la Diabétisane 1 a fait l'objet de plusieurs études évaluant sa qualité, son efficacité et sa sécurité d'emploi. Ces travaux ont porté sur la composition phytochimique de ce médicament (Dao, 1998 ; Haïdara, 1999), ses activités antiradicalaires (Dagnoko, 2009) et hypoglycémiantes (Keita et al., 1998), sa toxicité subchronique (Maïga, 2010), ainsi que son efficacité en conditions cliniques (Sanogo, 2008). L'ensemble de ces résultats a confirmé l'activité antidiabétique de la tisane sur le diabète de type II. Toutefois les formes liquides telles que les décoctés présentent plusieurs limites pratiques dont un temps de préparation long, une durée de conservation réduite, une variabilité de la concentration en principes actifs selon les modes de préparation, et une nécessité d'ingestion d'une grande quantité d'eau. Cette dernière contrainte constitue un inconvénient majeur chez les patients souffrant d'insuffisance rénale (Chabrier, 2010). Afin de

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

surmonter ces inconvénients, nous avons entrepris le développement d'une forme galénique solide orale à partir de Diabétisane 1. Une étape préliminaire essentielle à cette formulation consistait à rechercher le profil pharmacognosique et l'activité antiradicalaire des feuilles de *Sclerocarya birrea*, utilisées pour la préparation de la tisane. C'est l'extrait lyophilisé du décocté qui a donné le plus grand rendement et la plus grande teneur en polyphénols totaux (Cissé et al., 2024). Or, ces composés phénoliques sont largement reconnus pour leurs effets antidiabétiques dans le diabète de type II (Kim et al., 2016 ; Solayman et al., 2016), suggérant qu'ils pourraient jouer un rôle clé dans l'activité thérapeutique de *S. birrea*.

Cependant, la majorité des études antérieures sur les extraits secs de cette plante ont utilisé des lyophilisats, sans tenir compte de paramètres critiques tels que la granulométrie de la poudre végétale ou les méthodes de dessiccation de l'extrait. Or, ces facteurs peuvent influencer significativement le rendement d'extraction et la libération des composés bioactifs. L'objectif de la présente étude était donc d'étudier l'influence de la granulométrie de la poudre végétale et de deux méthodes de dessiccation de l'extrait (lyophilisation et étuvage) sur le rendement d'extraction, la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante des feuilles de *Sclerocarya birrea*.

Matériels et Méthodes

Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de feuilles de *Sclerocarya birrea*, récoltées à Siby (région de Koulikoro, Mali) en juillet 2020. Un spécimen a été déposé à l'herbier de l'Institut National de Recherche sur la Médecine et la Pharmacopée Traditionnelles (INRMPT) de Bamako sous le numéro 0071 DMT. Les feuilles ont été séchées à l'ombre dans la salle de séchage de l'INRMPT pendant 22 jours. Après séchage, elles ont été broyées à l'aide d'un moulin de marque Resch, modèle SM 2000 OSI/1430 µpm. La poudre obtenue a été conservée dans des bocaux hermétiques, à l'abri de la lumière et à température ambiante.

Matériel de laboratoire

Les réactifs et solvants utilisés sont de nature analytique.

Deux tamis de mailles différentes (0,088 mm et 0,9 mm), ont été utilisés pour suivre l'influence de la granulométrie des poudres des feuilles de *Sclerocarya birrea*.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)



Figure 1 : Tamis de taille 0,9 mm



Figure 2 : Tamis de taille 0,088

Le lyophilisateur de marque Thermo Scientific Heto LyoLab 3000 et l'étuve de marque Memmert GmbH + Co. KG ont été utilisés pour obtenir des extraits secs à partir des décoctés de la poudre des feuilles de *Sclerocarya birrea*.



Figure 3 : Image du lyophilisateur utilisé



Figure 4 : Image d'étuve utilisé

Méthodes

- **Préparation des poudres**

Après broyage, deux tamis de mailles différentes ont été utilisés pour le tamisage. À cet effet, le tamis avec des mailles de 0,9 mm a servi pour obtenir une poudre grossière tandis que la poudre fine a été obtenue à l'aide du tamis présentant des mailles de 0,088 mm.

- **Préparation des extraits**

✓ **Extraits obtenus à partir des poudres grossières et fine**

Une prise d'essai de 100 g de chaque type de poudre (grossière et fine) a été bouillie dans 1000 mL d'eau distillée pendant 15 minutes. Après refroidissement, les mélanges ont été filtrés à l'aide de trois couches de compresse stérile et de trois couches de coton hydrophile. Les filtrats ont été concentrés à l'évaporateur rotatif à 50 °C, puis lyophilisés.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Les rendements d'extraction, les dosages des polyphénols totaux et l'évaluation de l'activité antiradicalaire par la méthode DPPH ont permis de comparer les effets de la granulométrie des poudres.

✓ **Extraits obtenus par les méthodes de dessiccation**

Deux prises d'essai de 100 g de poudre fine ont été traitées de la même manière. Chaque prise d'essai a été bouillie dans 1000 mL d'eau distillée pendant 15 minutes, refroidie, puis filtrée à l'aide de trois couches de compresse stérile et de trois couches de coton hydrophile. Les filtrats ont été concentrés à l'évaporateur rotatif à 50 °C. L'un des extraits a été lyophilisé, l'autre a été séché à l'étuve à 50 °C pendant 5 jours.

Les rendements d'extraction, les teneurs en polyphénols totaux, l'activité antiradicalaire par la méthode DPPH, l'examen organoleptique et le pH ont permis de comparer les deux méthodes de dessiccation.

- **Détermination des caractères organoleptiques des extraits**

L'examen organoleptique a consisté à observer les extraits secs, puis à les toucher, sentir et goûter afin d'en déterminer la couleur, la saveur et l'odeur.

- **Détermination du pH**

Dix grammes (10 g) de chaque extrait sec (lyophilisé et séché à l'étuve) ont été mis en macération dans 75 mL d'eau distillée pendant 30 minutes. Après filtration, le pH du filtrat a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre. Chaque essai a été réalisé en triplicata. Les valeurs de pH ont été obtenues par lecture directe au pH-mètre.

- **Rendement**

Les rendements d'extraction en pourcentage ont été calculés selon la formule suivante :

$$Rendement = \frac{Pe \times 100}{PE}$$

$$Pe = PBe - PBV$$

Où Pe est le poids de l'extrait ; PBV est le poids du ballon vide ; PBe est le poids du ballon contenant l'extrait. PE = 100 g.

- **Dosage des polyphénols totaux**

Les teneurs en composés phénoliques dans les extraits ont été estimées par la méthode de Folin-Ciocalteu décrite par Singleton et al., 200 µL de l'extrait (0,1 mg/mL) ont été mélangés à 1000 µL de réactif de Folin-Ciocalteu (10 %). Après 5 min à température ambiante, 800 µL de solution de carbonate de sodium (7,5 %) ont été ajoutés. Après 2 h d'incubation du mélange à

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

température ambiante et à l'abri de la lumière, l'absorbance a été mesurée à 765 nm. Chaque échantillon a été analysé en triplicata. Une courbe d'étalonnage a été tracée dans les mêmes conditions opératoires en utilisant une série de dilutions d'acide gallique ($y = 0{,}0184x + 0{,}0252$; $R^2 = 0{,}9981$). Les résultats ont été exprimés en milligrammes équivalents d'acide gallique par 100 grammes de matière sèche (mg EAG/100 g MS) [Singleton et al., 1999].

- **Détermination de l'activité antioxydante**

L'activité antioxydante des extraits a été évaluée in vitro à l'aide du test DPPH· dans le méthanol, le DPPH· se présente comme un radical libre de couleur violette qui devient peu intense après l'acquisition du proton de l'antioxydant. Ainsi, la mesure de la réduction de l'intensité de couleur de la solution de DPPH. méthanolique peut être utilisée pour évaluer la capacité des antioxydants à donner le proton. Les extraits à tester ont été dissoutes dans du méthanol et l'activité antiradicalaire du DPPH· a été réalisée comme décrit par Velázquez et al. (2003).

L'acide gallique a été utilisé comme contrôle positif et les absorbances ont été lues à 517 nm. Tous les échantillons ont été analysés en triplicata. Le pourcentage d'inhibition a été calculé selon l'équation suivante :

$$\%Inhibition = \frac{Absorbance\ du\ blanc - Absorbance\ d'échantillon}{Absorbance\ du\ blanc} \times 100$$

Les CI50 (concentrations qui inhibent 50 % du radical DPPH·) ont été déduites de la ligne de régression linéaire obtenue à partir du graphique représentant le pourcentage d'inhibition du DPPH·.

- **Analyses statistiques**

Le traitement statistique des données a été effectué à l'aide du logiciel GraphPad Prism® version 5.03. Le seuil de significativité retenu est de 5 % ($\alpha = 0{,}05$). Une valeur de $p < 0{,}05$ a été considérée comme statistiquement significative. Les valeurs de p exactes sont rapportées dans les tableaux.

Résultats

Granulométrie de la poudre des feuilles de *Sclerocarya birrea* destinée à l'extraction

On observe que la poudre représentée sur la figure 6 est plus fine que celle de la figure 5.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)



Figure 5 : Poudre grossière des feuilles *de S. Birrea*

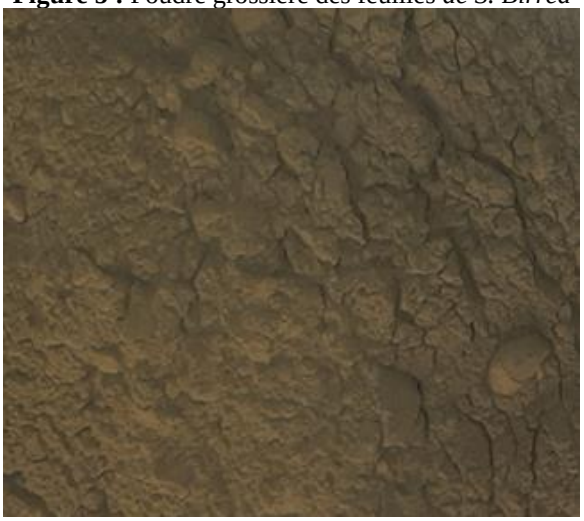


Figure 6 : Poudre fine des feuilles *de S. birrea*

Comparaison de la granulométrie des poudres

Les résultats de la comparaison des poudres de feuilles ont été consignés dans le Tableau I. Le rendement du lyophilisat obtenu à partir de la poudre fine (P_F) était de 17,70%. Cette valeur était significativement plus élevée ($p < 0,01$) que celle obtenue à partir de la poudre grossière (P_G) qui était de 16,20%. En revanche, une différence significative ($p < 0,01$) est observée concernant la teneur en polyphénols totaux, qui est plus élevée dans la poudre fine (685,22 mg EAG /100 g MS) que dans la poudre grossière (502,34 mg EAG /100 g MS). Il n'existe pas de différence significative ($p > 0,05$) pour l'activité antioxydante exprimée en concentration inhibitrice 50 entre la poudre grossière (1,7 µg/mL) et la poudre fine (1,8 µg/mL).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Tableau 1 : Comparaison des paramètres extraits issus de la poudre grossière (P_G) et de la poudre fine (P_F)

Paramètre	P_G	P_F	Valeur de *p*
Rendement d'extraction (%)	16,20 ± 0,1000	17,70 ± 0,2082	0,0029. **
Teneur en polyphénols totaux (mg EAG/100 g MS)	502,34 ± 2,0	685,22 ± 2.4	0,0001 **
Activité antiradicalaire CI_{50} (µg/mL)	1,7 ± 0,058	1,8 ± 0,058	0,2879 ns

** p < 0,05 (différence significative) ; ns : non significatif (p > 0,05). Test *t* de Student non apparié.

Comparaison des deux méthodes de dessiccation (lyophilisation et étuvage) :

La poudre fine, dont les performances ont été jugées satisfaisantes, a été retenue pour comparer les deux méthodes de dessiccation.

Examen organoleptique des extraits obtenus par les méthodes de dessication

La poudre d'extrait obtenue après lyophilisation (figure 7) était de couleur rouille, contrairement à celle issue de l'étuvage (figure 8), qui était de couleur acajou. Les deux échantillons présentaient une saveur astringente et une odeur peu marquée.



Figure 7 : Extrait obtenu après lyophilisation



Figure 8 : Extrait obtenu après étuvage

pH

Le pH des deux extraits était de 5 ± 0,2.

Rendements d'extraction, teneurs en polyphénols totaux et activité antioxydante déterminés à partir du lyophilisat et de l'extrait obtenu après séchage à l'étuve de la poudre fine.

Les rendements respectifs du lyophilisat et de l'extrait séché à l'étuve sont indiqués dans le Tableau II. Le rendement de l'extrait obtenu par étuvage (E_E) (19,58 %) était significativement plus élevé (p < 0,01) que celui du lyophilisat (E_L) (17,70 %). Les teneurs en polyphénols totaux n'ont pas montré

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

de différence significative ($p > 0,05$) entre l'extrait lyophilisé (E_L : 685,22 mg EAG/100 g MS) et l'extrait étuvé (E_E : 670,59 mg EAG/100 g MS). Nous n'avons pas non plus observé de différence significative ($p > 0,05$) avec l'activité antioxydante exprimée en concentration inhibitrice 50 entre les deux extraits, dont la valeur était de 1,8 µg/mL.

Tableau 2 : Comparaison des paramètres entre les deux méthodes de dessiccation.

Paramètre	E_L	E_E	Valeur de *p*
Rendement d'extraction (%)	17,70 ± 0,2082	19,58 ± 0,25	0,0045. **
Teneur en polyphénols totaux (mg EAG/100 g MS)	685,22 ± 2,4	670,59 ± 5,112	0,0607 ns
Activité antiradicalaire CI_{50} (µg/mL)	1,8 ± 0,058	1,8 ± 0,10	1,0000 ns

** $p < 0,05$ (différence significative) ; ns : non significatif ($p > 0,05$). Test t de Student non apparié.

Discussion

L'étude s'est concentrée sur deux aspects principaux, l'influence de la granulométrie de la poudre végétale et le mode de séchage des extraits sur le rendement d'extraction, la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par le test DPPH (radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle).

Effet de la granulométrie de la poudre végétale

Les résultats ont révélé que la poudre fine (P_F) a produit un rendement d'extraction significativement ($p < 0,01$) plus élevé (17,70 %) que la poudre grossière (P_G) avec 16,20 %. Cette différence s'inscrivait dans le cadre des principes classiques de la cinétique d'extraction d'où la réduction de la taille des particules augmente la surface spécifique du matériau végétal, ce qui favorise la diffusion du solvant et l'accès aux composés intracellulaires. Ce constat était en accord avec les résultats des travaux antérieurs (Azwanida, 2015 ; Gbohaïda et al., 2015 ; Petko, 2010 ; Karam et al., 2015), qui avaient également démontré l'impact positif de la granulométrie fine sur l'efficacité d'extraction. De même, la teneur en polyphénols totaux était significativement ($p < 0,01$) plus élevée dans l'extrait obtenu à partir de la poudre fine (685,22 mg EAG/100 g MS) par rapport à celle issue de la poudre grossière (502,34 mg EAG/100 g MS). Cette observation a confirmé que la finesse de la poudre améliorait non seulement le rendement massique, mais aussi la libération des métabolites secondaires polaires tels que les polyphénols (Kähkönen et al., 1999).

En revanche, aucune différence significative ($p > 0,05$) n'a été observée concernant l'activité antioxydante entre les deux granulométries (1,7 µg/mL pour P_G et 1,8 µg/mL pour P_F). Bien que la teneur en polyphénols soit plus élevée dans la poudre fine, l'activité antioxydante reste similaire à celle

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

présentée par la poudre grossière. Cela pourrait s'expliquer par une possible dégradation partielle de certains polyphénols sensibles lors du broyage fin, ou par la contribution d'autres composés non phénoliques à l'activité antioxydante. Il est également possible que la relation entre teneur en polyphénols et activité antioxydante ne soit pas toujours linéaire, en raison d'effets synergiques ou antagonistes entre les composés présents (Fadili et al., 2015 ; Mghezzi et al., 2016).

Comparaison des méthodes de séchage (lyophilisation et étuvage)

L'étude a comparé deux méthodes de dessiccation des extraits aqueux, la lyophilisation (E_L) et le séchage à l'étuve (E_E). Les extraits présentaient des couleurs différentes selon le mode de séchage, rouille pour le lyophilisat et acajou pour l'extrait étuvé. Ces différences chromatiques pouvaient être attribuées à des réactions de brunissement favorisées par la chaleur lors de l'étuvage (Loeuff, 2022). Malgré cela, les deux extraits conservaient une saveur astringente, typique des tanins et autres polyphénols présents dans les feuilles de *S. birrea* (Deneulin, 2013). Leur odeur, en revanche, était peu marquée. Ce résultat est en accord avec les observations rapportées par Dagnoko en 2009. Le pH des deux extraits était identique (5,0 ± 0,2), ce qui indiquait une stabilité acido-basique indépendante du mode de séchage. Ce pH légèrement acide est favorable à la stabilité de nombreux polyphénols et pourrait contribuer à l'activité antimicrobienne potentielle de ces extraits (Nyoni et al., 2019). Le rendement a été significativement ($p < 0,01$) plus élevé avec l'étuvage (19,58 %) qu'avec la lyophilisation (17,70 %). Cette différence pourrait s'expliquer par une possible déshydratation plus complète ou une concentration accrue des solutés lors du séchage à température modérée (souvent 40-60 °C), bien que ce procédé puisse également entraîner des pertes de composés volatils ou thermolabiles (Müller et al., 2019). Cependant, ni la teneur en polyphénols totaux, ni l'activité antioxydante n'ont montré de différence significative entre les deux méthodes ($p > 0,05$). Ce qui suggérerait que le séchage à l'étuve, malgré sa simplicité et son faible coût, a préservé efficacement les composés antioxydants. Ces résultats se sont révélés intéressants, car ils ont partiellement remis en question l'idée largement répandue selon laquelle la lyophilisation était systématiquement supérieure pour préserver les composés bioactifs (Désage et al., 2009). Dans le cas de *S. birrea*, l'étuvage s'est avéré une alternative tout aussi efficace, particulièrement dans un contexte de production à grande échelle ou en milieu à ressources limitées.

Conclusion

Cette étude a montré que la poudre fine extrait plus de polyphénols totaux de *Sclerocarya birrea* que la poudre grossière, sans altérer l'activité

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

antioxydante. Le séchage à l'étuve surpasse la lyophilisation en termes de rendement, tout en préservant la qualité et l'efficacité du produit. Ces résultats soutiennent le développement ultérieur d'une formulation solide simplifiée de la Diabétisane 1, dans l'attente d'études de formulation, de stabilité et de contrôle qualité.

Contributions des auteurs

BMC a conçu et conduit l'étude et participé à la rédaction de l'article. MH ABAM AD et MLD ont participé à la rédaction de l'article. R. SEMDE et R. SANOGO ont relu et corrigé l'article.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Ces travaux ont été menés dans le cadre d'un projet de thèse soutenu par le Programme de Formation des Formateurs (PFF). Aucun financement supplémentaire spécifique n'a été reçu pour les travaux expérimentaux rapportés dans cet article.

References:

1. Azwanida NN. (2015). A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitations. Medicinal and Aromatic Plants, 4(3) :196.
2. Chabrier JY. (2010). Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie. Faculté de Pharmacie, Université Henri Poincaré de Nancy, Nancy, p. 165.
3. Cissé BM, Doumbia S, Haïdara M, Semdé R, Sanogo R. (2024). Profil pharmacognosique et activité antiradicalaire des feuilles de *Sclerocarya birrea* (A. Rich) Hoscht (Anacardiaceae), utilisées pour la préparation de la Diabétisane 1 au Mali. Revue RAMReS – Série Pharm. Méd. Trad. Afr., 23(2) :27-33.
4. Coulibaly B. (1988). Contribution à l'étude des remèdes traditionnels utilisés dans le traitement du diabète au Mali. Ecole National de Médecine et de Pharmacie du Mali, p. 112.
5. Dagnoko S. (2009). Etude de la qualité des feuilles de *Sclerocarya birrea* utilisées dans le traitement du Diabète. FMPOS, Université de Bamako, Bamako, p.118.
6. Dao A. (1998). Etude botanique et phytochimique de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst (Anacardiaceae). FMPOS, Université du Mali, Bamako, p. 69.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

7. Deneulin P. (2013). Perception sensorielle des tanins. Conference: SwissExpo At: Lausanne – Beaulieu, Ecole d'Ingénieurs de Changins, p. 27.
8. Désage SF, Matthieu T. (2009). La Lyophilisation ou Cryodessiccation. Université Jean Monnet de Saint-Etienne, p. 28.
9. Fadili K., Amalich S., N'Dedianhoua SK., Bouachrine M., Mahjoubi M., El Hilali F., Zair T. (2015). Teneurs en polyphénols et évaluation de l'activité antioxydante des extraits de deux espèces du Haut Atlas du Maroc : Rosmarinus officinalis et Thymus satureioides. International Journal of Innovation and Scientific Research, 17(1) :24-33.
10. Gafar A., Coulidiaty V., Noëla E., Youl H., Yaméogo TM., Ki-Zerbo J. (2021). *Sclerocarya birrea*: Review of the pharmacology of its antidiabetic effects and toxicity. African J Pharm Pharmacol, 15(8) :164–73.
11. Gbohaïda V., Mèdoatinsa SE., Nonviho G., Bogninou GS., Reine DC., Sohounhloué CK. (2015). Etude chimique et évaluation de l'Influence de la granulométrie sur la cinétique d'extraction des polyphénols naturels de *Pterocarpus erinaceus* acclimaté au Bénin. International Journal of Innovation and Applied Studies, 12 (2) : 325-333.
12. Haïdara TK. (1999). Etude botanique, phytochimique, et Pharmacologique de trois plantes de la pharmacopée malienne indiquées dans le traitement du diabète. FMPOS, Université du Mali, Bamako, p. 93.
13. Kähkönen MP. et al. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 47(8) : 3476-3482.
14. Karam MC., Petit J., Zaiter A.., Becker L., Dicko A., Baudelaire E., Scher J. (2015). Effets des procédés de broyage et de tamisage sur les propriétés physico-chimiques et antioxydantes des poudres de thé vert. ResearchGate.
15. Keita A., Mariko E., Haidara TK. (1998). Etude de l'activité hypoglycémiante des feuilles de *Sclerocarya birrea* (A. Rich) Hochst. (Anacardiaceae) II. Action de la fraction butanolique de l'extrait aqueux. Pharm. Méd. Trad. Afr. vol. 10, p. 16-25.
16. Kim Y., Keogh J., Clifton P. (2016). Polyphenols and Glycemic Control. Nutrients, *8*(1) :17.
17. Loeuff J. (2022). Caractérisation des procédés de séchage de macroalgues brunes en vue de leur valorisation en bioraffinage. École Doctorale n° 602 Sciences pour l'Ingénieur, Universite Bretagne Sud, Pontivy, p. 209.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

18. Maïga B. (2010). Etude de la photochimie, de l'activité antiradicalaire et de la toxicité sub-chronique des feuilles de *Sclerocarya birrea*, (A.Rich) Hoscht (Anacardiaceae), utilisées dans le traitement traditionnel du diabète au Mali. FMPOS, Université de Bamako, Bamako, p. 82.
19. Mghezzi HR, Karoune S, Kechebar MSA, Bounab H. 2016. Etude des composés phénoliques et des activités antioxydantes de *l'Acacia ehrenbergiana* de la région de Tindouf. CRSTRA Journal Algérien des Régions Arides (JARA), (13), 27-34.
20. Müller J., Heindl A. (2006). Drying of Medicinal Plants. Editors : Bogers, R J Craker, L E Lange, p. 237-252.
21. Nyoni S., Muzenda E., Mukaratirwa MN. (2019). Characterization and evaluation of antibacterial activity of silver nanoparticles prepared from *sclerocarya birrea* stem bark and leaf extracts. *Nano Biomed Eng.*, 11(1) :28–34.
22. Petko IP. (2010). Etude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions. Institut National Polytechnique de Toulouse, Université de Toulouse, Toulouse p. 239.
23. Sanogo S. 2008. Etude de la phytochimie et de l'effet hypoglycémiant de trois (3) plantes utilisées dans la pharmacopée traditionnelle au Mali. FMPOS, Université de Bamako, Bamako, p. 103.
24. Singleton VL., Orthofer R., Lamuela RM. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu Reagent. Methods Enzymol, vol 299, p. 152-178.
25. Solayman M., Ali Y., Alam F., Islam A., Alam N., Ibrahim KM., Hua GS. (2016). Polyphenols : potential future arsenals in the treatment of diabetes. Current Pharmaceutical Design., 22(5) :549-65.
26. Velazquez E., Tournier HA., Buschiazzo PM., Saavedra G., Schinella. (2003). Activité antioxydante des extraits des plantes du Paraguay. Fitoterapia, 74(1-2) :91-7.
27. Youl EN., Nassouri S., Ilboudo S., Ouedraogo M., Sombie CB., Ilboudo S., Guissou IP. (2020). Hypoglycemic and antihyperglycemic activities of the aqueous ethanolic extracts of Gymnema sylvestre (RETZ) R. Br. Ex SCHULT and *Sclerocarya birrea* (A. RICH) HOCHST. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 14(9) :339-346.

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Fréquence, facteurs associés et profil microbiologique des suppurations post-césariennes à l'hôpital de zone Saint Jean de Dieu de Boko, Bénin, 2020–2024

Cossi Prudencio Corneille Kamoutchoni
Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé, Université d'Abomey-Calavi. Hôpital de zone saint jean de Dieu de Boko, Zone Sanitaire Parakou-N'Dali, Direction Départementale de la Santé du Borgou, Bénin
Angelo Challa
Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé, Université d'Abomey-Calavi, Bénin. Institut supérieur des Paramédicaux NIGHTINGALE, Niger
Gutemberg Kpossou
Hôpital de Zone Saint Jean de Dieu de Boko, Zone Sanitaire Parakou-N'Dali, Direction Départementale de la Santé du Borgou, Bénin
Mavlyson Kolawolé Zinvokpodo
Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la Santé, Université d'Abomey-Calavi. Commune de Copargo, Zone Sanitaire Djougou-Copargo-Ouaké, Direction Départementale de la Santé de la Donga, Bénin
Morelle Capo-Chichi
Laure Aguida
Paulin Dossou
Yves Alloukoutou
Sofonie Toumoudagou
Hôpital de Zone Saint Jean de Dieu de Boko, Zone Sanitaire Parakou-N'Dali, Direction Départementale de la Santé du Borgou, Bénin

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p70

Submitted: 20 January 2026
Accepted: 14 August 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Kamoutchoni C.P.C, Challa A., Kpossou G., Zinvokpodo M.K., Capo-Chichi M., Aguida L., Dossou P., Alloukoutou Y., & Toumoudagou S.((2026). *Fréquence, facteurs associés et profil microbiologique des suppurations post-césariennes à l'hôpital de zone Saint Jean de Dieu de Boko, Bénin, 2020–2024.* European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 70.
https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p70

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Résumé

Introduction : Les infections du site opératoire (ISO) constituent une complication fréquente des césariennes et représentent un problème majeur de santé publique. Cette étude vise à estimer la prévalence, à identifier les facteurs associés et à décrire le profil microbiologique des suppurations post-césariennes à l'hôpital de zone Saint Jean de Dieu de Boko.

Méthodologie : Il s'est agit d'une étude rétrospective, descriptive et analytique menée de janvier 2020 à décembre 2024. Ont été incluses toutes les paturientes ayant subi une césarienne durant la période d'étude. Les données sociodémographiques, cliniques et opératoires ont été analysées. Les prélèvements de pus ont fait l'objet d'un examen cytobactériologique. Le diagnostic des suppurations post opératoires et des infections est conforme aux définitions internationales des Centers for Disease Control and Prévention (CDC).

Résultats : Sur 4 818 césariennes pratiquées, 151 cas de suppurations ont été enregistrés, soit une prévalence de 3,13 %. Les suppurations étaient plus fréquentes après des interventions en urgence (OR = 1,67 ; p = 0,020) et en présence de liquide amniotique non clair (OR = 7,34 ; p < 0,001). La réalisation des pansements à l'hôpital était protectrice (OR = 0,52 ; p = 0,001). Les germes les plus isolés étaient *Escherichia coli (34,78%)* et *Staphylococcus aureus (34,78%)*. 47,83 % des souches étaient multirésistantes, dominées par les entérobactéries productrices de beta lactamases (BLSE) et les Staphylococcus aureus résistant à la méticilline (SARM).

Conclusion : Les suppurations post-césariennes restent fréquentes dans notre contexte, avec une prévalence comparable à celles observées dans d'autres pays africains. L'optimisation de la prévention passe par le renforcement de l'asepsie, la surveillance microbiologique et l'adaptation de l'antibioprophylaxie.

Mots-clés: Suppuration post-césarienne, infection du site opératoire, antibioprophylaxie, Bénin

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Frequency, Associated Factors, and Microbiological Profile of Post-Cesarean Suppurations at Saint Jean de Dieu District Hospital in Boko, Benin, 2020–2024

Cossi Prudencio Corneille Kamoutchoni
Public Health Unit, Faculty of Health Sciences, University of Abomey-Calavi. Saint Jean de Dieu Zone Hospital of Boko, Parakou–N'Dali Health Zone, Borgou Departmental Directorate of Health, Benin
Angelo Challa
Public Health Unit, Faculty of Health Sciences, University of Abomey-Calavi, Benin. NIGHTINGALE Higher Institute of Paramedical Sciences, Niger
Gutemberg Kpossou
Saint Jean de Dieu Zone Hospital of Boko, Parakou–N'Dali Health Zone, Borgou Departmental Directorate of Health, Benin
Mavlyson Kolawolé Zinvokpodo
Public Health Unit, Faculty of Health Sciences, University of Abomey-Calavi. Copargo Municipality, Djougou–Copargo–Ouaké Health Zone, Donga Departmental Directorate of Health, Benin
Morelle Capo-Chichi
Laure Aguida
Paulin Dossou
Yves Alloukoutou
Sofonie Toumoudagou
Saint Jean de Dieu Zone Hospital of Boko, Parakou–N'Dali Health Zone, Borgou Departmental Directorate of Health, Benin

Abstract

Introduction: Surgical site infections (SSIs) are a frequent complication of cesarean sections and represent a major public health concern. This study aimed to estimate the prevalence, identify associated factors, and describe the microbiological profile of post-cesarean wound suppurations at the Saint Jean de Dieu District Hospital in Boko.

Methodology: This was a retrospective, descriptive, and analytical study conducted from January 2020 to December 2024. All women who underwent cesarean delivery during the study period were included. Sociodemographic, clinical, and operative data were analyzed. Pus samples were subjected to cytobacteriological examination. The diagnosis of postoperative wound suppuration and infection followed the international definitions of the Centers for Disease Control and Prevention (CDC).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Results: Out of 4,818 cesarean sections performed, 151 cases of wound suppuration were recorded, corresponding to a prevalence of 3.13%. Suppurations were more frequent after emergency procedures (OR = 1.67; p = 0.020) and in the presence of non-clear amniotic fluid (OR = 7.34; p < 0.001). Dressing changes performed in the hospital were protective (OR = 0.52; p = 0.001). The most commonly isolated pathogens were Escherichia coli (34.78%) and Staphylococcus aureus (34.78%). Multidrug-resistant strains accounted for 47.83% of isolates, mainly extended-spectrum beta-lactamase (ESBL)-producing Enterobacteriaceae and methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA).

Conclusion: Post-cesarean wound suppurations remain frequent in our setting, with a prevalence comparable to that reported in other African countries. Improving prevention requires strengthening aseptic measures, enhancing microbiological surveillance, and adapting antibiotic prophylaxis.

Keywords: Post-cesarean suppuration, surgical site infection, antibiotic prophylaxis, Benin

Introduction

Les infections du site opératoire (ISO) constituent une complication majeure de la césarienne, responsable d'une morbidité maternelle accrue, d'un allongement de la durée d'hospitalisation et d'un surcoût pour les systèmes de santé et surtout pour la paturiente opérée en particulier dans les contextes à ressources limitées. Une méta-analyse mondiale récente rapporte une incidence post-césarienne estimée à l'échelle globale autour de 5–6 %, avec d'importantes variations régionales (1%–20% selon les séries), témoignant d'une hétérogénéité marquée liée aux pratiques de prévention, au suivi post-sortie et au contexte épidémiologique local (Allegranzi et *al*, 2016).

En Afrique subsaharienne, les études montrent des prévalences plus élevées, souvent supérieures aux valeurs rapportées dans les pays à ressources élevées ; des synthèses récentes centrées sur le continent estiment une prévalence régionale pouvant atteindre ≈11,91 % ou plus selon les séries et la méthodologie de surveillance, ce qui souligne l'importance d'une meilleure connaissance locale des déterminants et des profils microbiologiques (Bagheri et *al*, 2011). Ces différences expliquent en grande partie le poids disproportionné des ISO post-césariennes sur la santé maternelle en milieu hospitalier africain.

Le spectre microbiologique des ISO post-césariennes est dominé par des cocci Gram-positifs (notamment Staphylococcus aureus et Staphylococcus epidermidis) mais comprend également une part importante de bacilles Gram-négatifs (dont Escherichia coli, Klebsiella spp. et Pseudomonas spp.), avec des profils de résistance croissants rapportés dans

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

plusieurs séries hospitalières (Zejnullahu et al, 2019). La connaissance précise des germes impliqués et de leurs profils de sensibilité est essentielle pour adapter l'antibioprophylaxie, les antiseptiques pour la préparation cutanée, le traitement empirique et les politiques locales de lutte contre les infections.

Les lignes directrices internationales pour la prévention des ISO (WHO, CDC) recommandent des mesures standardisées (antibioprophylaxie appropriée en péri-opératoire, technique opératoire et antisepsie cutanée optimisées, surveillance individuelle et post-sortie) ; pourtant, l'impact réel de ces recommandations dépend fortement de leur mise en œuvre locale et de la connaissance des facteurs de risque contextuels (urgence obstétricale, rupture prolongée des membranes, comorbidités maternelles, durée opératoire, matériel et pratiques de soins) (Matteshent et *al*, 2019).

Au Bénin, les césariennes représentent une part croissante des accouchements, en particulier dans les hôpitaux de zone et les centres de référence. Cependant, la littérature nationale reste limitée concernant la prévalence des infections du site opératoire post-césarienne, leurs déterminants et les germes impliqués. Corriger une telle situation est d'autant plus important dans un contexte où la grande majorité de ces interventions révèle un caractère urgent. Quelques études ponctuelles menées dans des structures universitaires ou de référence à Cotonou et Parakou rapportent des taux variables d'ISO, mais elles ne permettent pas de rendre compte des réalités dans les hôpitaux périphériques, où les ressources en termes de prévention, de diagnostic microbiologique et de prise en charge sont plus limitées (Dègbey et al, 2021). Le renforcement de la lutte contre les IAS a récemment été formalisé à travers l'adoption d'un Plan Quinquennal de Prévention et Contrôle des Infections (PQPCI 2024-2028), lancé officiellement le 5 mars 2025 (WHO, 2025). L'objectif visé est de réduire la prévalence des IAS à un taux inférieur à 2 % d'ici la fin de la mise en œuvre du plan (Artsen, 2025). Le plan encourage la surveillance active des IAS à tous les niveaux (structures hospitalières et soins de santé primaires), avec élaboration de guides nationaux de surveillance, formation du personnel, désignation de points focaux, et restitution régulière des données (MS, 2021). Le document national PCI 2021-2024 souligne que la surveillance des IAS est une fonction essentielle des programmes PCI, et insiste sur la mise en place d'un système national de suivi et évaluation (S&E), la collecte et l'analyse des données de surveillance, le renforcement des capacités en microbiologie et la supervision régulière *(Ibedem*). Le plan mise aussi sur des stratégies multimodales pour changer les pratiques de soins (par exemple hygiène des mains, usage sécurisé de dispositifs, stérilisation, gestion des déchets, contrôle de l'environnement) (*Ibedem*).

Les limites et défis mentionnés dans ce plan sont multiples. Lors du diagnostic initial, il avait été constaté que beaucoup de structures sanitaires,

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

notamment dans les formations sanitaires de première ligne, avaient des scores faibles en matière de surveillance des IAS, selon les outils IPCAF / IPCAT2 de l'OMS (*Ibidem*). Le plan de contrôle des infections national antérieur (PCIGDD) lié au projet COVID-19 mentionne des lacunes persistantes dans la gestion des déchets infectieux, l'existence et l'application de procédures internes, et la fiabilité des données sur les déchets, ce qui constitue un facteur de risque pour la survenue d'IAS (World Bank, 2021). Le défi de l'hygiène des mains reste un obstacle majeur dans les hôpitaux béninois, identifiée comme un point faible structurel pour la prévention des IAS (Noso Info, 2025).

L'hôpital de zone Saint Jean de Dieu de Boko situé au Nord Est du Bénin constitue un centre de référence pour une population importante du département du Borgou, accueillant aussi bien les cas programmés que les urgences obstétricales complexes. L'absence de données locales fiables sur les taux d'ISO post-césariennes, leurs facteurs de risque et les profils microbiologiques dans cette structure empêche la mise en place d'une politique de prévention adaptée et limite la comparaison avec les standards régionaux ou internationaux. Les objectifs de cette étude étaient de :

1. Déterminer la fréquence réelle des ISO post-césariennes,
2. Identifier les facteurs associés aux ISO post-césarienne
3. Définir les germes isolés et leurs profils de résistance

Cadre et Méthodologie

Notre étude s'est déroulée dans l'hôpital saint Jean de Dieu de Boko qui est un centre confessionnel catholique crée depuis 1966 et ériger en hôpital de référence de la zone sanitaire N'dali-Parakou.

Nous avons mené une étude descriptive, analytique et rétrospective portant sur les dossiers des patientes ayant bénéficié d'une césarienne entre le 1er janvier 2020 et le 31 décembre 2024. Les critères d'inclusion étaient la disponibilité d'un dossier complet, clair et lisible. Ont été exclus les trente deux dossiers ne mentionnant pas explicitement la survenue ou non d'une suppuration. La définition de la suppuration post-césarienne a été retenue selon les critères du Centers for Disease Control and Prevention (Berrios-Torres et *al*, 2017). La collecte des données a été réalisée par deux sages-femmes préalablement formées, à l'aide de l'outil KoboCollect. La variable dépendante étudiée était la survenue d'une suppuration du site opératoire.

Les variables indépendantes incluaient les caractéristiques sociodémographiques ; les antécédents médicaux et obstétricaux ; les variables liées à l'intervention chirurgicales, les variables cliniques et paracliniques ; et les variables liées aux soins et actes invasifs. Les données ont été analysées avec SPSS version 28. L'analyse descriptive a permis de calculer fréquences, proportions, moyennes et écarts-types. L'analyse bivariée a utilisé le test du

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Chi² ou le test exact de Fisher pour les variables qualitatives, et le test de student pour les variables quantitatives. Les variables associées avec une valeur de $p < 0,20$ ont été introduites dans un modèle de régression logistique multivariée afin d'identifier les facteurs indépendants associés à la suppuration post-césarienne. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$. Nous avons obtenu l'autorisation de la direction de l'hôpital pour notre étude mais nous n'avons pas solliciter d'autorisation éthique puisque nous avons uniquement utiliser les dossiers medicaux.

Résultats

Notre population d'étude était constituée de 4818 femmes qui ont subi une césarienne à l'hôpital de zone de boko entre janvier 2020 et décembre 2024.

Le tableau ci-dessous présente les paramètres de dispersion des variables quantitatives âge, gestité et parité des patientes de notre étude.

Tableau I : Paramètres de dispersion des variables Age, gestité et parité des patientes césarisées à l'hôpital saint Jean de Dieu de Boko de 2020 à 2024

	Age en année	Gestité	Parité
Moyenne	26,6	3,1	1,9
Médiane	26,0	3,0	2,0
Mode	24,0	1,0	0,0
Écart type	6,3	2,1	1,9
Extrême inferieur	12,0	1,0	0,0
Extrême supérieur	44,0	12,0	11,0

Notre échantillon était composé majoritairement de femmes au foyer (51,43%), suivies des revendeuses (17,14%), des élèves ou étudiantes (14,29%), des artisanes (8,57%) et, dans une moindre proportion, des fonctionnaires (2,86%). La référence a constitué le principal mode d'admission, représentant 60 % des cas, et les interventions chirurgicales ont été réalisées en urgence dans 66 % des situations. Les antécédents médicaux étaient globalement sans particularité, toutefois 8,7 % des patientes présentaient une hypertension artérielle et/ou un antécédent de pré éclampsie. Par ailleurs, la proportion des paturientes opérées vivant avec le VIH était estimée à environ 1,2 % (n=58). Les principales indications des césariennes sont illustrées dans la figure N°1.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

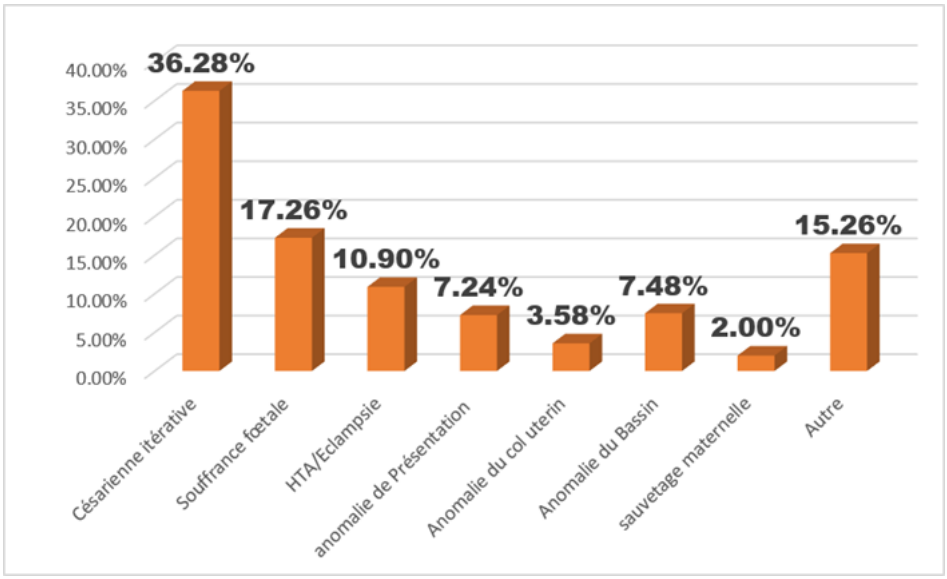


Figure 1 : Fréquences relatives des motifs de césarienne à l'hôpital saint Jean de Dieu de Boko de 2020 à 2024

Les césariennes étaient réalisées en moyenne en une durée de 28 minutes avec un écart de 11,4 minutes et la durée moyenne d'hospitalisation poste césarienne est de 4 jours

Le taux de suppuration globale des césariennes à l'hôpital saint Jean de Dieu de Boko de 2020 à 2024 était de 3,13%. L'évolution de ce taux comparé au nombre de césarienne par année est représentée dans la figure 2.

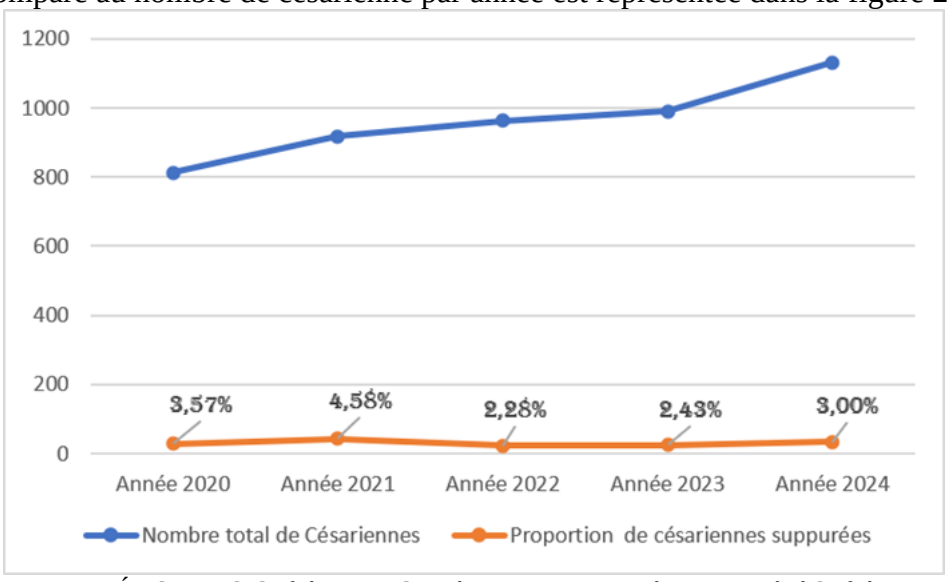


Figure 2 : Évolution de la fréquence des césariennes par années comparée à la fréquence des suppurations post-césariennes chez les patientes césarisées à l'hôpital saint Jean de Dieu de Boko de 2020 à 2024

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Le délai de suppuration après les césariennes est exprimé dans le tableau II.

Tableau II : Paramètres de dispersion du Délai de suppuration en jours

Moyenne	Médiane	Mode	Ecart type	Minimum	Maximum
7,11	7	5	2,63	3	13

La figure 3 nous présente la proportion des césariennes ayant suppurées par rapport au mode d'admission au bloc opératoire.

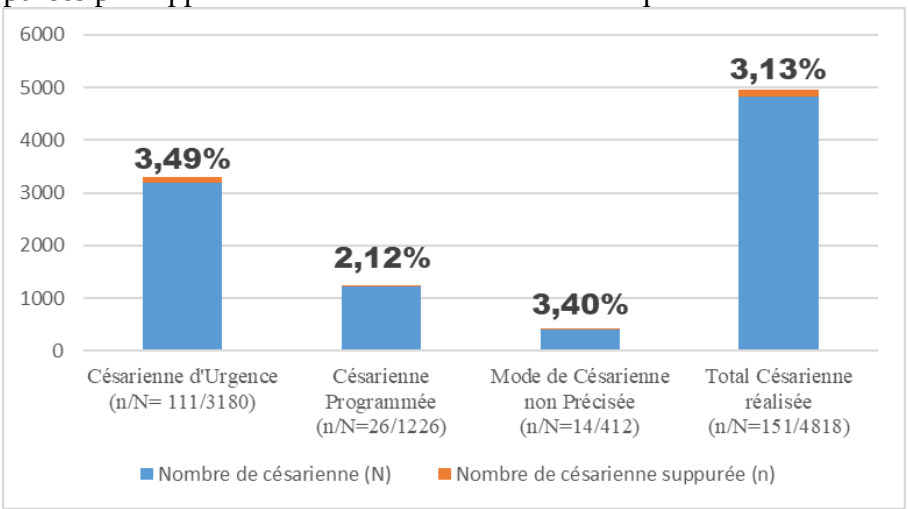


Figure 3 : Proportion de suppuration des césariennes en fonction du mode d'admission au bloc opératoire à l'hôpital saint Jean de Dieu de Boko de 2020 à 2024

Parmi les cas de suppuration observés, 58,95 % concernaient des césariennes réalisées pendant les gardes. De plus, 76,16 % de ces suppurations étaient survenues après des interventions effectuées par des médecins généralistes. La figure 4 nous montre la proportion des suppurations en fonction de la qualification des opérateurs.

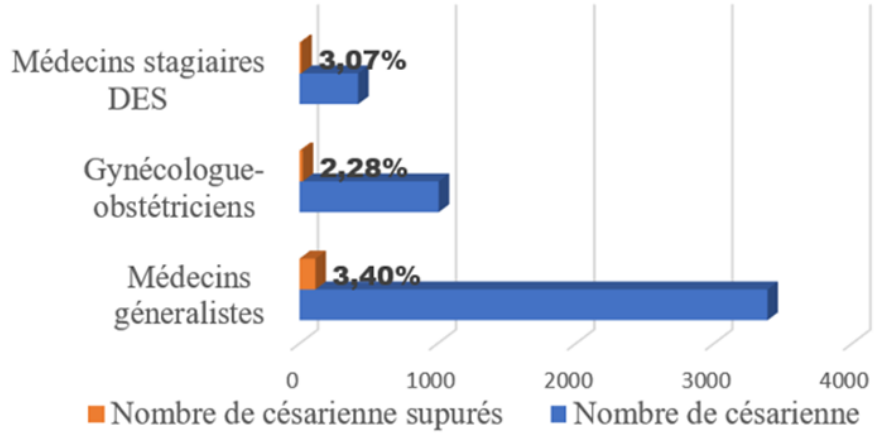


Figure 4 : Fréquence des césariennes suppurées en fonction de la qualification des opérateurs à l'hôpital saint Jean de Dieu de Boko de 2020 à 2024

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Le tableau III montre le rapport de l'analyse des associations des variables indépendantes et de la variable dépendante qu'est la survenue ou non de suppuration post césarienne. En effet nous avons introduit les variables indépendantes dans le tableau et avons calculés les Odds Ratio ajusté et les p-value.

Tableau III : Paramètre d'association de certains facteurs avec la survenue ou non de suppuration post césarienne à l'hôpital saint Jean de Dieu de Boko de 2020 à 2024

Variable de Comparaison	Odds Ratio	IC95%	p-value
Qualification de l'opérateur (Spécialiste vs Non spécialiste)	0,67	0,43 – 1,05	0,084
Rupture prématurée des membranes (Oui vs Non)	1,30	0,88 - 1,91	0,205
Qualité du liquide amniotique (liquide non clair vs Clair)	7,34	4,98 -10,82	0,0001
Antibioprophylaxie (Ampicilline vs Ceftriaxone/Amoxicilline acide clavulanique)	0,75	0,54 -1,06	0,118
Lieu de réalisation des pansements (Hôpital vs Autre)	0,52	0,37 - 0,72	0,001
Urgence vs Programmées	1,67	1,08 - 2,57	0,020
Saignement post césarienne avec reprise du pansement (oui vs Non)	1,10	0,34 - 3,5	0,755

L'examen cytobactériologique du pus a été effectué chez 49 paturientes présentant une suppuration, soit 32,45 % des cas. La culture était positive dans 46,94 % des prélèvements, négative dans 36,73 % et polymicrobienne dans 16,33 %. La répartition des germes identifiés dans les prélèvements de pus est illustrée dans la figure 5 :

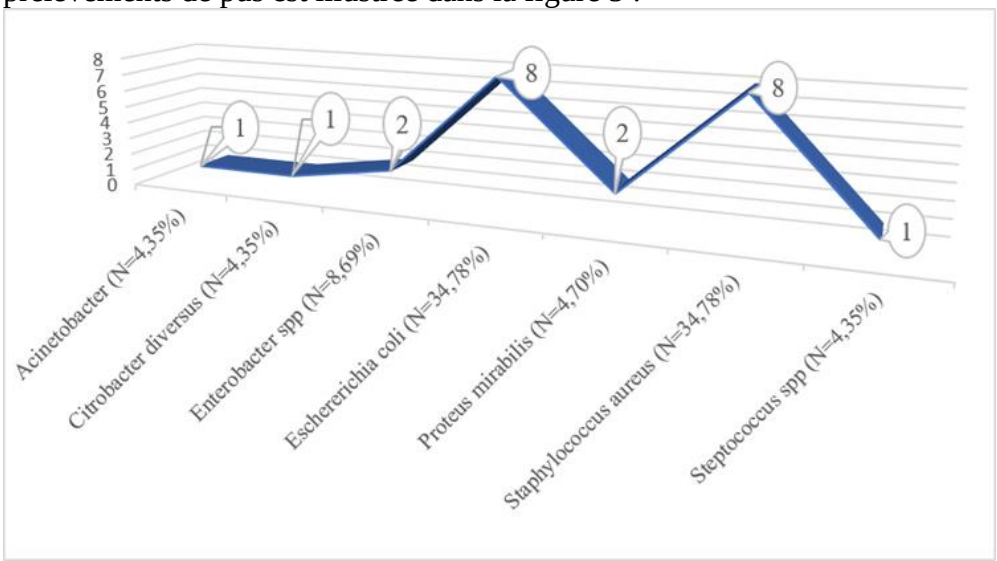


Figure 5 : Féquence des germes retrouvés dans les cultures de pus post-césariennes réalisés à l'hôpital saint Jean de Dieu de Boko de 2020 à 2024

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Parmi les germes responsables des suppurations post-césariennes, *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* étaient les plus fréquemment isolés. L'antibiogramme a révélé que près de la moitié des souches (47,83 %) étaient multirésistantes, dominées essentiellement par les BLSE et les SARM.

Discussion

Dans notre étude portant sur 4 818 femmes ayant subi une césarienne à l'hôpital de zone Saint Jean de Dieu de Boko entre janvier 2020 et décembre 2024, la prévalence des infections du site opératoire (ISO) était de 3,13 %. Cette prévalence est comparable à celle rapportée en Arabie Saoudite par Gadeer et al. (3,4 %) (Gadeer et *al*, 2020), inférieure à celle décrite à Bamako par Ba Berthe et al. (5,25 %) (Fouedjio et *al*, 2021), mais supérieure à celle retrouvée à Yaoundé par Fouedjio JH et al. (1,81 %) . Toutefois, il convient de souligner que la taille des échantillons des études citées était nettement inférieure à celle de notre travail, ce qui confère à nos résultats une robustesse accrue. Dans l'ensemble, la prévalence observée demeure en dessous de la moyenne mondiale estimée entre 5,63 % (Gadeer et *al*, 2020).

L'analyse des facteurs associés a montré que la réalisation des pansements à l'hôpital réduisait significativement le risque de suppuration (OR = 0,52 ; p = 0,001). Ce résultat met en évidence l'importance du respect des mesures d'asepsie et de l'environnement contrôlé hospitalier dans la prévention des ISO, rejoignant les recommandations de l'OMS et des CDC qui insistent sur l'importance des soins postopératoires rigoureux (Berrios-Torres et *al*, 2017).

L'aspect du liquide amniotique est apparue comme un facteur déterminant : un liquide amniotique non clair augmentait de façon significative le risque d'ISO (OR = 7,34 ; p < 0,001). Ce constat concorde avec les données de Zejnullahu et al. au Kosovo, qui rapportaient également un risque accru d'infection en présence de liquide teinté ou méconial (Zejnullahu et *al*, 2019).

Par ailleurs, notre étude a montré que les césariennes en urgence étaient significativement plus à risque d'ISO que les césariennes programmées (OR = 1,67 ; p = 0,020). Ce résultat est en accord avec les travaux de Opøien et al. en Norvège (Hans et *al*, 2007), qui ont rapporté une augmentation significative des infections postopératoires dans les contextes d'urgence, probablement liée aux conditions opératoires moins optimales et à l'absence de préparation préopératoire.

En revanche, l'antibioprophylaxie ne montrait pas de différence statistiquement significative entre les molécules utilisées dans notre série, notamment entre l'ampicilline et la ceftriaxone ou l'amoxicilline-acide clavulanique. Ce résultat diverge de certaines recommandations internationales qui privilégient les céphalosporines de première génération

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

(Allegranzi et *al*, 2016), mais corrobore les observations faites dans certains contextes africains où l'ampicilline demeure efficace (Ba Berthe et *al*, 2019).

Concernant le profil microbiologique, les germes les plus fréquemment isolés étaient *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*, ce qui est en accord avec les données de la littérature (Zejnullahu et *al*, 2019). Toutefois, près de la moitié des souches identifiées (47,8 %) étaient multirésistantes, avec une forte prévalence de BLSE et de SARM, confirmant la menace croissante de l'antibiorésistance en Afrique subsaharienne (Bagheri et *al*, 2011).

Enfin, si l'obésité est rapportée dans plusieurs études comme un facteur de risque majeur d'ISO post-césarienne (Gadeer et *al*, 2020), notre étude n'a pas inclus ce paramètre dans son analyse. Cette limite mérite d'être prise en compte dans de futurs travaux afin d'élargir la compréhension des déterminants de l'ISO dans notre contexte.

Dans l'ensemble, nos résultats suggèrent que le renforcement de l'asepsie lors des soins postopératoires, l'anticipation des césariennes programmées, ainsi que la surveillance microbiologique et l'adaptation de l'antibioprophylaxie sont des mesures prioritaires pour réduire la morbidité liée aux suppurations post-césariennes dans notre contexte.

Conclusion

Cette étude, menée sur un large échantillon de 4 818 femmes ayant subi une césarienne à l'hôpital de zone Saint Jean de Dieu de Boko, a permis de déterminer une prévalence de la suppuration post-césarienne, valeur proche de celles rapportées dans d'autres contextes internationaux mais inférieure à la moyenne mondiale.

Les principaux facteurs associés identifiés étaient l'‘aspect du liquide amniotique, la réalisation des pansements en milieu hospitalier et le caractère urgent de l'intervention. Le profil microbiologique dominé par *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*, associé à une proportion élevée de souches multirésistantes, souligne la nécessité d'une vigilance particulière dans le choix et l'utilisation des antibiotiques.

Ces résultats mettent en évidence plusieurs pistes d'intervention :

- renforcer la prévention des ISO par une meilleure anticipation des césariennes programmées et le respect rigoureux des protocoles d'asepsie ;
- privilégier la réalisation des pansements en milieu hospitalier afin de réduire le risque infectieux ;
- mettre en place une surveillance régulière des germes et de leur profil de résistance pour adapter l'antibioprophylaxie aux réalités locales ;
- intégrer des actions de formation continue du personnel médical et paramédical sur la prévention des ISO.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

En somme, bien que la prévalence des suppurations post-césariennes dans notre contexte demeure relativement faible et acceptable, la forte proportion de bactéries multirésistantes constitue une alerte qui justifie la mise en œuvre de stratégies renforcées de prévention et de contrôle des infections.

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

L'étude a été conduite dans le respect des principes éthiques de la Déclaration d'Helsinki. Aucune intervention supplémentaire n'a été réalisée en dehors des soins habituels. Les données utilisées provenaient des dossiers médicaux existants, et leur traitement a garanti l'anonymat et la confidentialité des patientes. L'autorisation du responsable de l'hôpital a été obtenue avant la mise en œuvre de l'étude mais nous avons pas sollicité d'avis éthique.

References:

1. Allegranzi, B., Zayed, B., Bischoff, P., Kubilay, N. Z., de Jonge, S., de Vries, F., Gomes, S. M., Gans, S., Wallert, E. D., Wu, X., Abbas, M., Boermeester, M., & Pittet, D. (2016). New WHO recommendations on intraoperative and postoperative measures for surgical site infection prevention: An evidence-based global perspective. *The Lancet Infectious Diseases, 16*(12), e288–e303. https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)30402-9
2. Bagheri Nejad, S., Allegranzi, B., Syed, S. B., Ellis, B., & Pittet, D. (2011). Health-care-associated infection in Africa: A systematic review. *Bulletin of the World Health Organization, 89*(10), 757–765. https://doi.org/10.2471/BLT.11.088179
3. Mojtahedi, M. F., Gholami, M., Ahmadi, A., & Khazaei, Z. (2023). Global incidence of surgical site infections following caesarean section: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Hospital Infection, 139,* 82–92. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2023.05.019
4. Zejnullahu, V. A., Isjanovska, R., Sejfija, Z., & Zejnullahu, V. A. (2019). Surgical site infections after cesarean sections at the University Clinical Center of Kosovo: Rates, microbiological profile and risk

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

factors. *BMC Infectious Diseases, 19*(1), Article 752. https://doi.org/10.1186/s12879-019-4383-7

5. Opøien, H. K., Valbø, A., Grinde-Andersen, A., & Walberg, M. (2007).
   Post-cesarean surgical site infections according to CDC standards: Rates and risk factors. A prospective cohort study. *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica, 86*(9), 1097–1102. https://doi.org/10.1080/00016340701515225
6. Berríos-Torres, S. I., Umscheid, C. A., Bratzler, D. W., Leas, B., Stone, E. C., Kelz, R. R., Reinke, C. E., Morgan, S., Solomkin, J. S., Mazuski, J. E., Dellinger, E. P., Itani, K. M., Berbari, E., Segreti, J., Parvizi, J., Blanchard, J., Allen, G., Kluytmans, J., Donlan, R., & Schecter, W. P. (2017). Centers for Disease Control and Prevention guideline for the prevention of surgical site infection, 2017. *JAMA Surgery, 152*(8), 784–791. https://doi.org/10.1001/jamasurg.2017.0904
7. Mattishent, K., Thavarajah, M., Sinha, A., Peel, A., Egger, M., & Solomkin, J. (2019). Safety of 80% vs 30–35% fraction of inspired oxygen in patients undergoing surgery: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Anaesthesia, 122*(3), 311–324. https://doi.org/10.1016/j.bja.2018.11.026
8. Berthe, B. (2019). *Infections du site opératoire post-césarienne : étude comparative entre première césarienne et césariennes itératives au Centre de santé de référence de la Commune V – Bamako* [Mémoire de doctorat, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako].
9. Dégbey, C., Aguemon, B., Ossou-Nguiet, P. M., Amoussou-Guenou, D., & Houngbo, C. (2021). Prevalence and factors associated with surgical site infections in the University Clinics of Traumatology and Urology of the National University Hospital Centre Hubert Koutoukou Maga in Cotonou. *Frontiers in Public Health, 9*, Article 629351. https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.629351
10. World Health Organization Regional Office for Africa. (2025). Prévenir les infections associées aux soins : Le Bénin adopte un plan quinquennal pour renforcer la prévention et le contrôle des infections.
11. Artsen Zonder Vakantie. (2025). Bénin : Lancement du plan quinquennal de prévention et contrôle des infections 2024–2028.
12. Ministère de la Santé, République du Bénin. (2021). *Plan national de prévention et contrôle des infections 2021–2024*.
13. LE DEPLOIEMENT, F. A. P., & DE REPONSE, P. D. P. E. (2021). Plan de contrôle des infections et de gestion des déchets dangereux. Bénin. World Bank Document

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

14. Noso Info (2025). Bulletin pour la prévention et la maîtrise des infections associées aux soins. *Simple et complexe : le défi de l'hygiène des mains dans les hôpitaux du Bénin*. 29(*3*). Simple et complexe : le défi de l'hygiène des mains dans les hôpitaux du Bénin. - NOSO INFO
15. Gadeer R, Baatiah N. Y, Alageel N, et al. (December 19, 2020) Incidence and Risk Factors of Wound Infection in Women Who Underwent Cesarean Section in 2014 at King Abdulaziz Medical City, Jeddah. Cureus 12(12): e12164. DOI 10.7759/cureus.12164
16. Fouedjio, J., Mbongo, J., Kamdem, T., Meka, E., Fouelifack, Y., Nkwabong, E., & Tebeu, J. (2021). Facteurs Associés aux Infections du Site Opératoire après Césarienne à Yaoundé: Infections du site opératoire après césarienne. HEALTH SCIENCES AND DISEASE, 22(10). https://doi.org/10.5281/hsd.v22i10.3025
17. Gadeer R, Baatiah N Y, Alageel N, et al. (December 19, 2020) Incidence and Risk Factors of Wound Infection in Women Who Underwent
18. Cesarean Section in 2014 at King Abdulaziz Medical City, Jeddah. Cureus 12(12): e12164. DOI 10.7759/cureus.12164

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Prévalence des marqueurs moléculaires de résistance de *Plasmodium falciparum* à la Sulfadoxine-Pyriméthamine et à l'Amodiaquine au début de la chimioprévention du paludisme saisonnier au Togo

Yao Mawuenyégan Agbo, MD, Msc
Faculté des sciences de la santé, Université de Lomé, Togo
Komi Kusiaku, MD, MPH
Kossi Alowe, Msc
Kokou Messan Afanou, Msc
Bakenanmè Lare, Msc
Tinah Atcha-Oubou, MD, MPH
Programme National de Lutte contre le Paludisme, Togo
Prof. Nadiédjoa Kokou Douti, MD
Service de Pédiatrie, CHU Campus, Lomé,
Faculté des sciences de la santé, Université de Lomé, Togo

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p85

Submitted: 21 May 2026
Accepted: 28 July 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Agbo, Y.M., Kusiaku, K., Alowe, K., Afanou, K.M., Lare, B., Atcha-Oubou, T., & Douti, N.K. (2026). *Prévalence des marqueurs moléculaires de résistance de Plasmodium falciparum à la Sulfadoxine-Pyriméthamine et à l'Amodiaquine au début de la chimioprévention du paludisme saisonnier au Togo*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 85. https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p85

Résumé

Objectif: Déterminer la prévalence des marqueurs de résistance de *P.falciparum* à la Sulfadoxine-Pyriméthamine et à l'Amodiaquine au début de la mise en œuvre de la chimioprévention du paludisme saisonnier (CPS) au Togo. **Méthodes:** Une enquête transversale conduite dans la région des Savanes, zone éligible, et dans une zone témoin hors de la zone éligible, a porté sur des enfants âgés de 3 à 59 mois, symptomatiques ou non, résidant depuis plus de 6 mois dans les localités tirées. L'analyse moléculaire a recherché les mutations sur les codons 51, 59 et 108 de *Pfdhfr*, et 437 et 540 de *Pfdhps* pour la sulfadoxine-pyriméthamine ; ainsi que les mutations sur le codon 76 de *Pfcrt* et 86 de *Pfmdr1* pour l'amodiaquine. **Résultats:** La

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

prévalence de l'allèle triple mutant *Pfdhfr* était élevée avec 86,4% en zone CPS et 77,9% en zone non-CPS avec une différence significative (p=0,008). La prévalence de la mutation 437G *Pfdhps* était élevée dans les deux zones (83,2% et 78,2%). Par contre, celle de la mutation 540E était faible (1,8% et 4,3%). La prévalence de l'allèle double mutant *Pfdhps* en a été impacté avec 1,4% et 4,3%, et une différence significative (p=0,04). Les prévalences des mutations sur *Pfcrt* et *Pfmdr1* étaient inférieures à la moyenne en Afrique. **Conclusion:** L'utilisation de sulfadoxine-pyriméthamine et amodiaquine pour la CPS n'était pas compromise. Des données de base de la surveillance moléculaire de la résistance de *P.falciparum* aux antipaludiques au Togo sont disponibles.

Mots-clés: Chimioprévention du paludisme saisonnier, marqueurs de résistance, *P. falciparum*, Togo

Prevalence of Molecular Markers of *Plasmodium falciparum* Resistance to Sulfadoxine-Pyrimethamine and Amodiaquine at the Start of Seasonal Malaria Chemoprevention in Togo

Yao Mawuenyégan Agbo, MD, Msc
Faculty of Health Sciences, University of Lomé, Togo
Komi Kusiaku, MD, MPH
Kossi Alowe, Msc
Kokou Messan Afanou, Msc
Bakenanmè Lare, Msc
Tinah Atcha-Oubou, MD, MPH
National Malaria Control Programme, Togo
Prof. Nadiédjoa Kokou Douti, MD
Paediatrics Department, CHU Campus, Lomé,
Faculty of Health Sciences, University of Lomé, Togo

Abstract

Objective: To determine the prevalence of *P.falciparum* resistance markers to Sulfadoxine-Pyrimethamine and Amodiaquine at the start of the implementation of seasonal malaria chemoprevention (SMC) in Togo. **Methods:** A cross-sectional survey conducted in the Savanes region, an eligible area, and in a control area outside the eligible area, focused on children aged 3 to 59 months, symptomatic or not, residing for more than 6 months in the selected localities. Molecular analysis was performed to screen for mutations at codons 51, 59, and 108 of *Pfdhfr*, and 437 and 540 of *Pfdhps* for

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

sulfadoxine-pyrimethamine; as well as mutations at codon 76 of *Pfcrt* and codon 86 of *Pfmdr1* for amodiaquine. **Results:** Triple mutant *Pfdhfr* allele prevalence was high, 86.4% in SMC area and 77.9% in the non-SMC area, with a significant difference (p=0.008). Prevalence of 437G *Pfdhps* mutation was high in both areas (83.2% and 78.2%). In contrast, prevalence of 540E mutation was low (1.8% and 4.3%). Double mutant *Pfdhps* allele prevalence was impacted by this, 1.4% and 4.3%, with a significant difference (p=0.04). Prevalence of mutations in *Pfcrt* and *Pfmdr1* was lower than the average observed in Africa. **Conclusion:** The use of sulfadoxine-pyrimethamine and amodiaquine for SMC was not compromised. Baseline data from molecular surveillance of *P. falciparum* resistance to antimalarial drugs in Togo are available.

Keywords: Seasonal malaria chemoprevention, resistance markers, *P. falcipar*um, Togo

Introduction

Le paludisme, comme défi majeur de santé publique, persiste en Afrique subsaharienne depuis plusieurs décennies. En 2023, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a rapporté 263 millions de cas et 597.000 décès. L'Afrique subsaharienne a fourni 94% des cas (soit 246 millions) et 95% des décès (soit 569.000), dont 76% (soit 432.000) ont concernés les enfants de moins de 5 ans (World Health Organization, 2024). Au début des années 2000, les dirigeants africains avaient pris des engagements politiques forts en faveur de la lutte contre le paludisme en Afrique subsaharienne (World Health Organization, 2003). Les changements de politique thérapeutique qui en ont résulté, notamment l'adoption des Combinaisons Thérapeutiques à base de dérivés de l'Artémisinine (CTA) selon les recommandations de l'OMS (World Health Organization, 2006) et l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticides, ont apporté des nouvelles perspectives pour le contrôle et l'élimination du paludisme. Les résultats ont été encourageants, avec, d'une part une réduction des cas de plus de 50%, et d'autre part, une réduction de la mortalité spécifique de 26% à l'échelle mondiale et de 33% en Afrique subsaharienne sur la période 2000 – 2011 (World Health Organization, 2011).

Cependant, les chiffres restaient élevés avec 216 millions de cas et 655.000 décès dont 86% ont concernés les enfants de moins de 5 ans (World Health Organization, 2011). De nouvelles stratégies de prévention ont été mise en place au début de la décennie 2010 – 2020, avec l'administration de doses curatives d'antipaludiques dans des conditions spécifiques. Ainsi, la Chimioprévention du Paludisme Saisonnier (CPS) a été déployée chez les enfants de moins de 5 ans (World Health Organization, 2012), afin d'éviter les décès massifs durant les pics annuels de transmission. Elle utilise l'association

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Sulfadoxine-Pyriméthamine et Amodiaquine (SP/AQ). La prévention du paludisme chez les femmes enceintes a également été mise en œuvre à travers le Traitement Préventif Intermittent (TPIg) (World Health Organization, 2013) visant à éviter les avortements, les faibles poids de naissance, les mortinaissances et les décès maternels et infantiles. Elle est basée sur l'administration de Sulfadoxine-Pyriméthamine lors des consultations prénatales. Le succès de ces deux stratégies a été très vite menacé par le problème de la résistance de *Plasmodium falciparum* aux molécules utilisées. En effet, depuis les constatations des échecs thérapeutiques in vivo, des études ont permis d'identifier dans le monde, des marqueurs moléculaires associés à la résistance de *P. falciparum* aux différentes molécules. Ainsi des mutations sur les gènes codant pour la dihydrofolate réductase (Sibley *et al*., 2001 ; Hyde *et al*., 2005) et la dihydroptéroate synthétase (Wang *et al*., 1997a ; Wang *et al*., 1997b), ont été identifiées comme associés à la résistance de *P. falciparum* à la Sulfadoxine – Pyriméthamine. De même, des mutations sur le multidrug resistance gene 1 (*Pfmdr1*) et le chloroquine resistance transporter (*Pfcrt*) ont été identifiées comme associées à la résistance de *P. falciparum* à l'Amodiaquine (Happi *et al*., 2006 ; Holmgren G *et al*., 2006).

Au Togo, le paludisme est endémique dans tous les districts sanitaires et toute la population est à risque, mais les enfants de moins de 5 ans et les femmes enceintes sont les plus vulnérables. En 2013, 40% des cas ont été diagnostiqués chez les moins de 5 ans avec plus de 74% des décès (Ministère de la Santé, 2013). Les CTA ont été rendus disponibles à partir de 2006 et les différentes évaluations de leur efficacité thérapeutique ont donné des résultats satisfaisants (Dorkenoo *et al*., 2012). Toutefois, l'OMS recommandait des tests complémentaires tels que l'étude des marqueurs moléculaires pour la surveillance de la résistance aux antipaludiques (World Health Organization, 2010). Au début de la mise en œuvre de la CPS, il n'existait pas de données de grande échelle sur la prévalence des marqueurs moléculaires de la résistance de *P. falciparum* aux antipaludiques au Togo. L'adoption de la CPS avec l'utilisation en traitement de masse de la combinaison SP/AQ avait motivé de cette étude. Et même à ce jour il n'existe que des données parcellaires provenant des études d'efficacité thérapeutique des CTA (Dorkenoo *et al*., 2016).

Les objectifs de cette étude étaient, principalement, de déterminer la prévalence des marqueurs moléculaires de la résistance de *P. falciparum* à la sulfadoxine-pyriméthamine et à l'amodiaquine et d'en établir une cartographie, et accessoirement d'examiner l'influence de quelques facteurs sur la prévalence de ces marqueurs de résistance. Aujourd'hui, dans l'optique de la surveillance moléculaire de la résistance de *P. falciparum* aux antipaludiques au Togo, il est apparu nécessaire de rendre publiques ces

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

données de base afin qu'elles servent de point de comparaison aux nouvelles études.

Matériels et méthodes

Collecte des données

Une enquête transversale a été conduite en février 2014 dans une zone constituée de quatre districts sanitaires de la région des Savanes, à savoir Kpendjal, Cinkassé, Tône et Tandjouare. La région des Savanes est située au nord du Togo à la frontière avec le Burkina-Faso et est éligible à la CPS. Parallèlement, une zone témoin a été enquêtée dans deux districts situés hors de la zone CPS, à savoir le district de Tchaoudjo dans la région Centrale et les districts de la région Lomé-Commune, tous au sud de la zone CPS. Dans les deux zones, un échantillonnage en grappes à deux niveaux avec probabilité proportionnelle à la taille des populations a été utilisé pour le choix des localités. En assumant une fréquence attendue de quadruple mutation (*Pfdhfr* 108, 51, 59 et *Pfdhps* 437) de 20% sur la base d'une étude faite au Burkina Faso (Konaté et *al.*, 2011), et une proportion de données manquantes ou incomplètes de 5%, pour une précision de 5% et un risque alpha de 5%, un effectif de 542 enfants ayant un TDR positif a été déterminé. Dix localités ont donc été tirées au hasard dans les districts de la zone CPS et vingt localités dans les districts de la zone non-CPS, soit 9 enfants à TDR positif par localité.

L'enquête s'était déroulée de façon simultanée dans les deux zones. Elle a porté sur des enfants âgés de 3 à 59 mois présentant ou non de la fièvre, et séjournant depuis plus de 6 mois dans les localités tirées dans chaque zone. Le dépistage a été réalisé à l'aide d'un test de diagnostic rapide (TDR) détectant l'antigène spécifique HRP-2 de *P. falciparum* dans le sang total (Bioline® Malaria Antigen P.f, Standard Diagnostics, Inc, Korea). Les enfants chez lesquels le TDR a été positif ont été inclus dans l'étude. Des prélèvements sur confettis par ponction au bout du doigt ont été réalisés chez tous les enfants inclus.

Analyse des échantillons

L'analyse moléculaire des échantillons a été réalisée au Malaria Research and Training Center (MRTC, Bamako, Mali) en fin d'année 2014. Pour la sulfadoxine-pyriméthamine, les mutations étudiées ont porté sur les codons 51, 59 et 108 du gène codant pour la dihydrofolate réductase (*Pfdhfr*), et les codons 437 et 540 du gène codant pour la dihydroptéroase synthétase (*Pfdhps*). Pour l'amodiaquine, les mutations étudiées ont porté sur le codon 76 du gène codant pour la chloroquine resistance transporter (*Pfcrt*) et sur le codon 86 du gène codant pour la multi-drug resistance-1 (*Pfmdr1*). L'ADN parasitaire a été extrait en utilisant le mini kit QIAGEN®. La détection des mutations sur le *Pfcrt* et le *Pfmdr1* (Djimde et *al*., 2001), ainsi que sur le *Pfdhfr*

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

et le *Pfdhps* a été réalisée par PCR nichée (Diourte et *al*., 1999 ; Tekete et *al*., 2009).

Analyse statistique

Les données ont été analysées par Epi-info 7. Les fréquences absolues des marqueurs de résistance ont été déterminées en faisant le rapport du nombre d'échantillons portant des parasites mutants ou mixtes au nombre total des échantillons analysés avec des résultats disponibles (mutants, mixtes ou sauvages).

Les fréquences absolues et les pourcentages des mutations ponctuelles individuelles du *Pfdhfr* (N51I, C59R et S108N), du *Pfdhps* (A437G et K540E), ainsi que du *Pfcrt* (K76T) et du *Pfmdr1* (N86Y) ont été calculés. Pareillement, les fréquences absolues et les pourcentages des mutations combinées : la triple mutation (*Pfdhfr* 51, 59 et 108), la quadruple mutation (*Pfdhfr* 51, 59 et 108 + *Pfdhps* 437), la quintuple mutation (*Pfdhfr* 51, 59 et 108 + *Pfdhps* 437 et 540), ainsi que la double mutation (*Pfcrt* K76T + *Pfmdr1* N86Y), ont été calculés.

Considérations éthiques

Cette enquête a été approuvée par le comité de bioéthique du Ministère de la Santé du Togo. Dans chaque ménage, l'objectif de l'étude et le contenu du formulaire de consentement ont été expliqué aux parents en langue locale par l'agent de santé communautaire (ASC), et leur signature obtenue avant tout prélèvement. Les résultats des TDR sont directement donnés aux parents. Les enfants présentant une température axillaire supérieure ou égale à 37,5 °C avec un TDR positif ont été pris en charge sur place par l'ASC avec de l'artémether-luméfantrine (AL), ou référé au centre de santé de la localité selon la gravité de leur état après explication aux parents. Les confettis prélevés avant le traitement ont été codés de façon anonyme.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)



Figure 1 : Carte du Togo avec les districts impliqués dans l'étude

Résultats

L'enquête a porté sur 2965 enfants de 3 à 59 mois répartis entre les deux zones.

Tableau 1 : Caractéristiques générales des enfants

Caractéristiques	Zone CPS	Zone non-CPS
Nombre d'enfants testés (N = 2965)	1047	1918
Nombre d'enfants testés ayant un TDR positif (n = 627)	318 (30,37%)	309 (16,11%)
Sex-ratio des enfants positifs (M/F)	0,89 (150/168)	1,03 (157/152)
Age moyen des enfants positifs (mois)	37,41	33,32
Nombre d'enfants positifs avec des symptômes (n = 245)	67 (21,06%)	178 (57,60%)
Nombre d'enfants positifs vivant en milieu rural	318 (100%)	190 (61,48%)
Nombre d'enfants positifs dormant toujours sous MILDA (n = 309)	134 (42,13%)	175 (56,63%)

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Analyse des marqueurs de résistance à la sulfadoxine-pyriméthamine

L'étude des mutations moléculaires associées à la résistance de *P. falciparum* à la sulfadoxine-pyriméthamine a été réalisée sur 559 échantillons tirés au hasard des 627 positifs, à raison de 279 pour la zone CPS et 280 pour la zone non-CPS (Tableau 2).

- Prévalence des mutations et allèles du gène *Pfdhfr*

Sur l'ensemble des échantillons analysés dans les deux zones, la mutation S108N a présenté les allèles mutants 108N (92,8%) et mixte 108S108N (5,5%), ainsi que l'allèle sauvage 108S (1,6%). Elle était moins fréquente en zone CPS, mais la différence entre les deux zones n'était pas significative (p = 0,3).

La mutation C59R a présenté les allèles mutants 59R (78%) et mixte 59C59R (11,4%), ainsi que l'allèle sauvage 59C (10,6%). Elle était plus fréquente en zone CPS qu'en zone non-CPS avec une différence significative (p = 0,04).

La mutation N51I a présenté les allèles mutants 51I (67,4%) et mixte 51N51I (18,2%), ainsi que l'allèle sauvage 51N (14,3%). Elle était plus fréquente en zone CPS qu'en zone non-CPS avec une différence significative (p = 0,001).

L'allèle triple mutant 51I/59R/108N était plus fréquente en zone CPS (86,4%) qu'en zone non-CPS (77,9%) avec une différence significative (p = 0,008).

Tableau 2 : Prévalence des mutations sur le gène *Pfdhfr* selon la zone d'étude

Mutations	Zone CPS (n=279)	Zone non CPS (n=280)	p
N51I	252 (90,3%)	227 (81,1%)	0,001
C59R	257 (92,1%)	243 (86,8%)	0,04
S108N	273 (97,8%)	277 (98,9%)	0,3
Triple mutation (51I/59R/108N)	241 (86,4%)	218 (77,9%)	0,008

- Cartographie des mutations sur le gène *Pfdhfr* selon les districts

Ces niveaux de prévalence répartis selon les districts sont rapportés dans le tableau 3 :

Tableau 3 : Prévalence des mutations sur le gène *Pfdhfr* selon les districts

Mutations	Cinkassé	Kpendjal	Tandjouare	Tône	Lomé-C	Tchaoudjo
N51I	89,8%	92,5%	85,1%	93,2%	85,3%	71,9%
C59R	92,2%	95,0%	88,1%	91,8%	90,6%	78,7%
S108N	100%	100%	98,5%	93,2%	99,0%	98,9%
Triple mutation (51, 59 et 108)	86,4%	91,3%	82,1%	84,9%	82,7%	67,4%

Dans tous les districts, la prévalence de la mutation S108N est à 100% ou presque, tandis que le triple mutant est supérieur à 80% sauf dans Tchaoudjo (zone non-CPS).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Cette cartographie des mutations sur le gène *Pfdhfr* est visualisée sur la figure 2 ci-après :

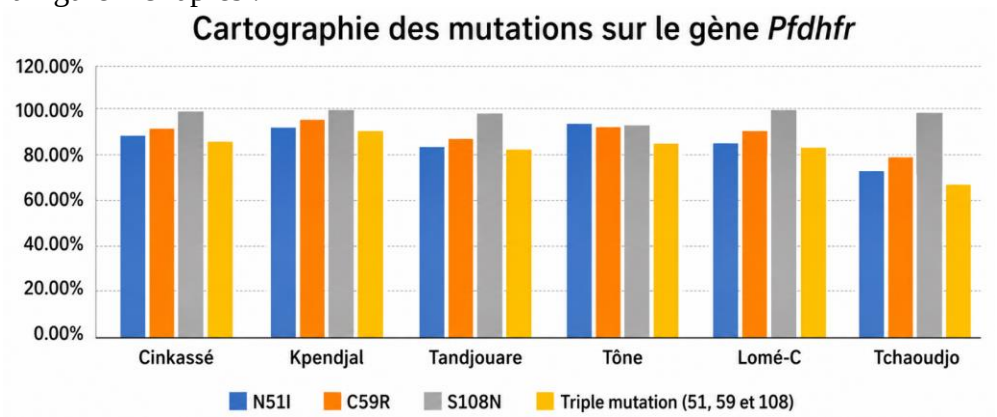


Figure 2 : Cartographie des mutations sur le gène *Pfdhfr*

➢ Prévalence des mutations et allèles du gène *Pfdhps*

Sur l'ensemble des échantillons analysés dans les deux zones (Tableau 4), la mutation K540E a présenté presqu'exclusivement l'allèle sauvage 540K (97%), mais aussi les allèles mutants 540E (0,5%) et mixte 540K/540E (2,5%). Elle était plus rare en zone CPS qu'en zone non-CPS mais la différence n'était pas significative (p=0,08).

La mutation A437G a présenté les allèles mutants 437G (61,9%) et mixte 437A437G (18,8%), ainsi que l'allèle sauvage 437A (19,3%). Elle était plus fréquente en zone CPS mais la différence n'était pas significative (p=0,14).

Tableau 4 : Prévalence des mutations sur le gène *Pfdhps* selon la zone d'étude

Mutations	Zone CPS (n=279)	Zone non CPS (n=280)	p
A437G	232 (83,2%)	219 (78,2%)	0,14
K540E	5 (1,8%)	12 (4,3%)	0,08
Double mutation (437G/540E)	4 (1,4%)	12 (4,3%)	0,04

L'allèle double mutant 437G540E est plus rare en zone CPS (1,4%) qu'en zone non-CPS (4,3%) avec une différence significative (p=0,04).

➢ Cartographie des mutations sur le gène *Pfdhps* selon les districts

Ces niveaux de prévalence répartis selon les districts sont rapportés dans le tableau 5 :

Tableau 5 : Prévalence des mutations sur le gène *Pfdhps* selon les districts

Mutations	Cinkassé	Kpendjal	Tandjouare	Tône	Lomé-C	Tchaoudjo
A437G	93,2%	86,3%	58,2%	94,1%	85,9%	61,8%
K540E	1,7%	0,0%	1,5%	4,1%	4,7%	3,4%
Double mutation (437 et 540)	1,7%	0,3%	1,5%	2,7%	4,7%	3,4%

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Dans tous les districts, la mutation K540E est rare et sa prévalence reste inférieure à 5%. Cette cartographie des mutations sur le gène *Pfdhps* est visualisée sur la figure 3 ci-après :

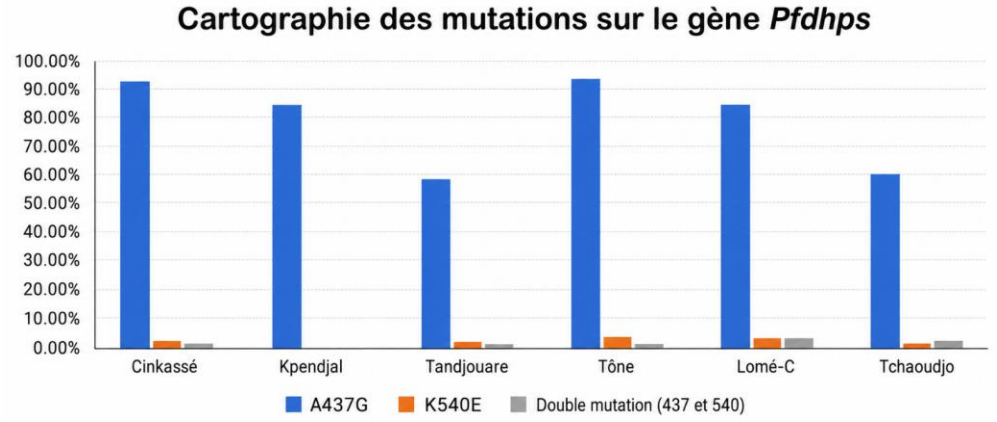


Figure 3 : Cartographie des mutations sur le gène *Pfdhps*

- Prévalence des combinaisons de mutations entre les gènes *Pfdhfr* et *Pfdhps*

L'allèle quadruple mutant 51I/59R/108N + 437G était plus fréquent en zone CPS (73,5%) qu'en zone non-CPS (63,2%) avec une différence significative (p=0,009).

L'allèle quadruple mutant 51I/59R108N + 540E était plus rare en zone CPS (1,8%) qu'en zone non-CPS (3,9%) mais la différence n'était pas significative (p=0,13).

L'allèle quintuple mutant 51I/59R108N + 437G/540E était plus rare en zone CPS (1,4%) qu'en zone non-CPS (3,9%) mais la différence n'était pas significative (p=0,06).

- Cartographie des combinaisons de mutations *Pfdhfr* et *Pfdhps*

Ces niveaux de prévalence répartis selon les districts sont rapportés dans le tableau 6 :

Tableau 6 : Prévalence des combinaisons de mutations sur les gènes *Pfdhfr* et *Pfdhps* selon les districts

Mutations	Cinkassé	Kpendjal	Tandjouare	Tône	Lomé-C	Tchaoudjo
Quadruple mutation *dhfr* (51, 59 et108) + *dhps*437	83,1%	80,0%	50,7%	79,5%	71,7%	44,9%
Quadruple mutation *dhfr* (51, 59 et 108) + *dhps*540	1,7%	0,0%	1,5%	4,1%	4,2%	3,4%
Quintuple mutation *dhfr* (51, 59 et 108) + *dhps* (437 et 540)	1,7%	0,0%	1,5%	2,7%	4,2%	3,4%

La prévalence des combinaisons est très influencée par la rareté ou l'abondance de la mutation sur le gène *Pfdhps*.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Cette cartographie des combinaisons de mutations sur les gènes *Pfdhfr* et *Pfdhps* est visualisée sur la figure 4 ci-après :

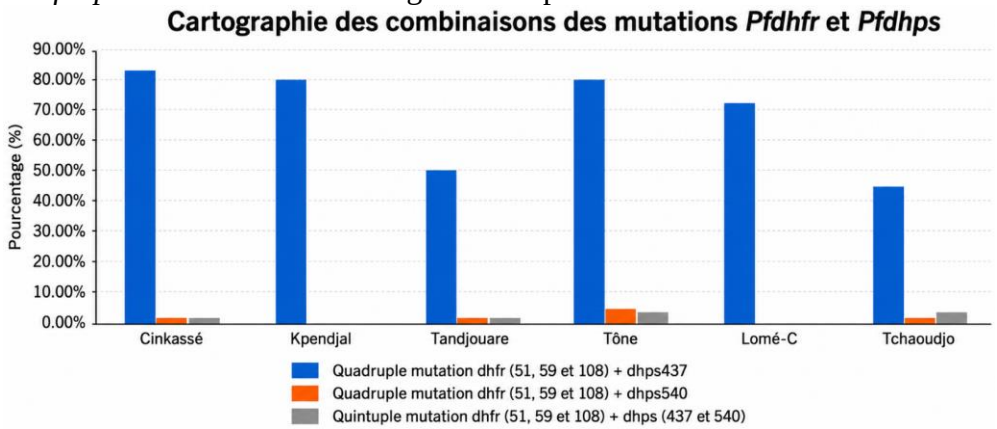


Figure 4 : Cartographie des combinaisons des mutations sur les gènes *Pfdhfr* et *Pfdhps*

Analyse des marqueurs de résistance à l'Amodiaquine

➢ Prévalence des mutations et allèles des gènes *Pfcrt* et *Pfmdr1*

L'étude des marqueurs moléculaires associés à la résistance de *P. falciparum* à l'amodiaquine, a été réalisée sur 548 échantillons positifs tirés au hasard, à raison de 272 pour la zone CPS et 276 pour la zone non-CPS (Tableau 7). Les mutations étudiées ont porté sur le codon 76 du gène *Pfcrt* et le codon 86 du gène *Pfmdr1*. Sur l'ensemble des deux zones, la mutation K76T a présenté les allèles mutant 76T (9,3%) et mixte 76K76T (22,3%), ainsi que l'allèle sauvage 76K (68,4%). La mutation N86Y a présenté les allèles mutant 86Y (9,9%) et mixte 86N/86Y (11,1%), ainsi que l'allèle sauvage 86N (79%).

Tableau 7 : Prévalence des mutations sur le *Pfcrt* et le *Pfmdr1* selon la zone d'étude

Mutations	Zone CPS (n=272)	Zone non CPS (n=276)	p
Pfcrt K76T	80 (29,4%)	93 (33,7%)	0,28
Pfmdr1 N86Y	42 (15,4%)	73 (26,4%)	0,001
Double mutation (76T et 86Y)	15 (5,5%)	31 (11,2%)	0,01

La mutation K76T était moins fréquente en zone CPS qu'en zone non-CPS, mais la différence n'était pas significative (p = 0,28). La mutation N86Y était moins fréquente en zone CPS qu'en zone non-CPS, et la différence était significative (p=0,001). L'allèle double mutant 76T/86Y était moins fréquente en zone CPS qu'en zone non-CPS, et la différence était significative (p=0,01).

Examen de l'influence de quelques facteurs sur la fréquence des marqueurs

L'influence de certains facteurs tels que le sexe, le milieu d'habitation et la présence de symptômes (hyperthermie) sur la fréquence des marqueurs moléculaires, a été examiné.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Pour les marqueurs associés à la résistance de *P. falciparum* à la SP, il n'y a pas eu de différence significative dans la fréquence des marqueurs en fonction du sexe. L'influence du milieu d'habitation a été notable sur la mutation 540E, qui était plus fréquente en milieu urbain qu'en milieu rural avec une différence significative (p = 0,01). Cette influence s'est répercutée sur la prévalence des mutations groupées impliquant cette mutation 540E ; ainsi la double mutation *Pfdhps* 540E/437G (p = 0,008), la quadruple mutation 51I/59R/108N + 540E (p = 0,008) et la quintuple mutation 51I/59R108N + 437G/540E (p = 0,004) étaient plus fréquentes en milieu urbain avec une différence significative. L'influence de la présence de symptômes (hyperthermie) a été notable, avec une différence significative, sur la mutation individuelle 51I (p = 0,001), mais aussi sur la triple mutation 51I/59R/108N (p = 0,009) et la quadruple mutation 51I/59R/108N + 437G (p = 0,01), qui étaient plus fréquentes chez les enfants asymptomatiques que les enfants symptomatiques.

Pour les marqueurs associés à la résistance de *P. falciparum* à l'amodiaquine, ni le sexe ni le milieu d'habitation, n'ont eu une influence sur les mutations K76T et N86Y. Toutefois, la mutation K76T était plus fréquente chez les enfants asymptomatiques que chez les enfants symptomatiques avec une différence significative (p = 0,01).

Discussion

Cette étude réalisée au début de la mise en œuvre de la chimioprévention du paludisme saisonnier au Togo avait pour but de fournir des données de bases sur la prévalence des marqueurs moléculaires associés à la résistance de *P. falciparum* à la sulfadoxine-pyriméthamine et à l'amodiaquine au Togo.

Mutations *Pfdhfr*

Les prévalences des mutations ponctuelles portant sur les codons 51, 59 et 108 du gène *Pfdhfr* étaient globalement élevées comme déjà observé ailleurs à cette époque en Afrique subsaharienne. Elles ont été identifiées de l'Est à l'Ouest du continent par plusieurs auteurs. Ainsi, en 2008, en Tanzanie leurs prévalences étaient respectivement de 96,4%, 94% et 97,6% chez des enfants symptomatiques, et 83,3%, 100% et 100% chez des enfants asymptomatiques (Gesase *et al*., 2009). Au Benin, en 2013, leurs prévalences étaient respectivement de 96,2%, 93,9% et 97,6% (Ogouyèmi-Hounto *et al*., 2013). Les allèles mutants du *Pfdhfr* sont individuellement connus pour être associés à un faible niveau de résistance. Mais en fonction du nombre de mutations présentes, ils codent pour des niveaux de résistance intermédiaire ou élevée. Par contre, leurs combinaisons en triple mutant contenant les

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

mutations 51-59-108 confère une composante significative de résistance à la sulfadoxine-pyriméthamine (Plowe *et al*., 1997 ; Naidoo & Roper, 2011).

Mutations *Pfdhps*

Sur le gène *Pfdhps*, la prévalence de la mutation 437G était élevée tandis que celle de la mutation 540E était très faible. Ceci était cohérent avec les prévalences retrouvées au Bénin voisin, où la mutation 437G était à 71,1% tandis qu'aucun allèle mutant de 540E n'avait été retrouvé (Ogouyèmi-Hounto *et al*., 2013). En Afrique de l'Ouest et du Centre, cette mutation était rare (Naidoo & Roper, 2011). Au même moment, en Afrique de l'Est, les prévalences élevées des mutations sur le gène *Pfdhps* avaient déjà été révélées. Ainsi en Tanzanie, en 2008, les prévalences observées de la mutation 437G étaient de 95,4% chez des enfants symptomatiques et 100% chez des enfants asymptomatiques ; de même les prévalences de la mutation 540E étaient de 94,3% et 100% respectivement dans les mêmes groupes d'enfants (Gesase *et al*., 2009).

Combinaisons de mutations *Pfdhfr* et *Pfdhps*

En Afrique de l'Est et australe, l'apparition de l'allèle double mutant (A437G+K540E), dans cette région où la prévalence de l'allèle triple mutant *Pfdhfr* était déjà élevé, avait alerté sur l'arrivée d'un niveau significatif d'échec thérapeutique à la sulfadoxine-pyriméthamine (Naidoo & Roper, 2010). En effet, plusieurs études réalisées, notamment au Kenya (Omar *et al*., 2001), en Ouganda (Staedke *et al*., 2004) et au Malawi (Kublin *et al*., 2002), avaient démontré que la combinaison du triple mutant *Pfdhfr* et du double mutant *Pfdhps* était prédictive d'un échec thérapeutique précoce de la sulfadoxine-pyriméthamine. Dès lors, en Afrique, la mutation 540E était devenue un marqueur épidémiologique pertinent de la quintuple mutation et par conséquent de l'efficacité de la sulfadoxine-pyriméthamine (Naidoo & Roper, 2010 ; Organisation Mondiale de la Santé, 2010).

Mutations *Pfcrt* et *Pfmdr1*

Dans les deux zones d'études, les prévalences des mutations 76T du *Pfcrt* (29,40% et 33,70%), 86Y du *Pfmdr1* (15,40% et 26,40%), et du double mutant (5,5% et 11,2%) retrouvées au Togo, étaient inférieures à celles observées sur le continent dans la période. Ainsi au Bénin, les prévalences étaient de 93,9% pour l'allèle mutant 76T du *Pfcrt*, de 57,1% pour le 86Y du *Pfmdr1*, et de 55,2% pour le double mutant 76T86Y (Ogouyèmi-Hounto *et al*., 2013). En moyenne, les prévalences de ces mutations étaient de 67,6% en Afrique l'Est, et de 73,3% en Afrique de l'Ouest (Meera *et al*., 2014). Par conséquent, une certaine efficacité semblait être conservée à l'amodiaquine au Togo.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Conclusion

Au terme de cette étude, réalisée au début de la mise en œuvre de la CPS au Togo, il est apparu que malgré une prévalence élevée du triple mutant *Pfdhfr,* la faible prévalence de la mutation 540E a impacté favorablement la prévalence du double mutant *Pfdhps* et du quintuple mutant *Pfdhfr/Pfdhps*, et par conséquent le niveau d'efficacité de la sulfadoxine-pyriméthamine. Parallèlement, les prévalences des mutations sur la *Pfcrt* et la *Pfmdr1*, étaient nettement inférieures à la moyenne en Afrique subsaharienne, conservant également une certaine efficacité à l'amodiaquine. Au vu de ces résultats, l'utilisation de la sulfadoxine-pyriméthamine et de l'amodiaquine dans le cadre la CPS n'était pas compromise.

Toutefois, les prévalences élevées de l'allèle mutant 437G de *Pfdhps* et du triple mutant *Pfdhfr*, ainsi que la possible apparition d'autres mutations pertinentes déjà observées en Afrique subsaharienne, imposent la nécessité de mettre en place une surveillance moléculaire de ces mutations pouvant être à l'origine de la perte de l'efficacité des antipaludiques. Il était donc nécessaire de rendre publique ces données qui constituent la base pour cette surveillance moléculaire de la résistance *P. falciparum* aux antipaludiques au Togo.

Remerciements : Les auteurs remercient les autorités sanitaires nationales, des régions et des districts enquêtés, le personnel de santé des districts, les agents de santé communautaires et les populations pour leur engagement et leur disponibilité.

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 recherche a été approuvée par le Comité de Bioéthique pour la Recherche en Santé du Ministère en charge de la santé du Togo et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. Diourte, Y., Djimdé, A., Doumbo, O. K., Sagara, I., Coulibaly, Y., Dicko, A., Diallo, M., Diakité, M., Cortese, J. F. & Plowe, C. V. (1999). Pyrimethamine-sulfadoxine efficacy and selection for mutations in Plasmodium falciparum dihydrofolate reductase and

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

dihydropteroate synthase in Mali. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, *60*(3), 475-478.

2. Djimdé, A., Doumbo, O. K., Cortese, J. F., Kayentao, K., Doumbo, S., Diourté, Y., Coulibaly, D., Dicko, A., Su, X. Z., Nomura, T., Fidock, D. A., Wellems, T. E. & Plowe, C. V. (2001). A molecular marker for chloroquine-resistant falciparum malaria. *New England journal of medicine*, *344*(4), 257-263.
3. Dorkenoo, M.A., Barrette, A., Agbo, Y.M., Bogreau, H., Kutoati, S., Sodahlon, Y. K. & Morgah, K. (2012). Surveillance of the efficacy of artemether-lumefantrine and artesunate-amodiaquine for the treatment of uncomplicated *Plasmodium falciparum* among children under five in Togo, 2005-2009. *Malaria Journal*, *11*, 338.
4. Dorkenoo, A. M., Yehadji, D., Agbo, Y. M., Layibo, Y., Agbeko, F., Adjeloh, P., Yakpa, K., Sossou, E., Awokou, F. & Ringwald, P. (2016). Therapeutic efficacy trial of artemisinin-based combination therapy for the treatment of uncomplicated malaria and investigation of mutations in k13 propeller domain in Togo, 2012–2013. *Malaria journal*, *15*(1), 1-9.
5. Gesase, S., Gosling, R. D., Hashim, R., Ord, R., Naidoo, I., Madebe, R., Mosha, J. F., Joho, A., Mandia, V., Mrema, H., Mapunda, E., Savael, Z., Lemnge, M., Mosha, F. W., Greewood, B., Roper, C. & Chandramohan, D. (2009). High resistance of Plasmodium falciparum to sulphadoxine/pyrimethamine in northern Tanzania and the emergence of dhps resistance mutation at Codon 581. *PLoS One*, *4*(2), e4569.
6. Happi, C. T., Gbotosho, G. O., Folarin, O. A., Bolaji, O. M., Sowunmi, A., Kyle, D. E., Milhous, W., Wirth, D. F. & Oduola, A. M. J. (2006). Association between mutations in plasmodium falciparum chloroquine resistance transporter and p. falciparum multidrug resistance 1 genes and in vivo amodiaquine resistance in p. falciparum malaria–infected children in Nigeria. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, *75*(1), 155-161.
7. Holmgren, G., Gil, J. P., Ferreira, P. M., Veiga, M. I., Obonyo, C. O. & Björkman, A. (2006). Amodiaquine resistant Plasmodium falciparum malaria in vivo is associated with selection of pfcrt 76T and pfmdr1 86Y. *Infection, Genetics and Evolution*, *6*(4), 309-314.
8. Hyde, J. E. (2005). Exploring the folate pathway in Plasmodium falciparum. *Acta tropica*, *94*(3), 191-206.
9. Konaté, A. T., Yaro, J. B., Ouédraogo, A. Z., Diarra, A., Gansané, A., Soulama, I., Kangoyé, D. T., Kaboré, Y., Ouédraogo, E., Ouédraogo, A., Tiono, A. B., Ouédraogo, I. N., Chandramohan, D., Cousens, S., Milligan, P. J., Sirima, S. B., Greenwood, B. & Diallo, D. A. (2011).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Intermittent preventive treatment of malaria provides substantial protection against malaria in children already protected by an insecticide-treated bednet in Burkina Faso : a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *PLoS medicine*, *8*(2), e1000408.

10. Kublin, J. G., Dzinjalamala, F. K., Kamwendo, D. D., Malkin, E. M., Cortese, J. F., Martino, L. M., Mukadam, R. A. G., Rogerson, S. J., Lescano, A. G., Molyneux, M. E., Winstanley, P. A., Chimpeni, P., Taylor, T. E. & Plowe, C. V. (2002). Molecular markers for failure of sulfadoxine-pyrimethamine and chlorproguanil-dapsone treatment of Plasmodium falciparum malaria. *The Journal of infectious diseases*, *185*(3), 380-388.
11. Ministère de la Santé, Togo. Mise en œuvre du plan stratégique national 2011-2015 de lutte contre le paludisme : rapport annuel du Programme National de Lutte contre le Paludisme (2013). Ministère de la Santé, Togo.
12. Naidoo, I. & Roper, C. (2010). Following the path of most resistance: dhps K540E dispersal in African Plasmodium falciparum. *Trends in parasitology*, *26*(9), 447-456.
13. Naidoo, I. & Roper, C. (2011). Drug resistance maps to guide intermittent preventive treatment of malaria in African infants. *Parasitology*, *138*(12), 1469-1479.
14. Ogouyèmi-Hounto, A., Ndam, N. T., Kinde Gazard, D., d'Almeida, S., Koussihoude, L., Ollo, E., Azagnandji, C., Bello, M., Chippaux, J-P. & Massougbodji, A. (2013). Prevalence of the molecular marker of Plasmodium falciparum resistance to chloroquine and sulphadoxine/pyrimethamine in Benin seven years after the change of malaria treatment policy. *Malaria Journal*, *12*(1), 147.
15. Omar, S. A., Adagu, I. S. & Warhurst, D. C. (2001). Can pretreatment screening for dhps and dhfr point mutations in Plasmodium falciparum infections be used to predict sulfadoxine-pyrimethamine treatment failure? *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, *95*(3), 315-319.
16. Organisation Mondiale de la Santé. (2010). Recommandation générale de l'OMS sur le traitement préventif intermittent du nourrisson à la sulfadoxine-pyriméthamine pour lutter contre le paludisme à Plasmodium falciparum en Afrique (No. WHO/HTM/GMP/2010.01). Organisation mondiale de la Santé. https://iris.who.int/handle/10665/338711
17. Plowe, C. V., Cortese, J. F., Djimde, A., Nwanyanwu, O. C., Watkins, W. M., Winstanley, P. A., Estrada-Franco, J. G., Mollinedo, R. E., Avila, J. C., Cespedes, J. L., Carter, J. & Doumbo, O. K. (1997). Mutations in Plasmodium falciparum dihydrofolate reductase and

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

dihydropteroate synthase and epidemiologic patterns of pyrimethamine-sulfadoxine use and resistance. *Journal of Infectious Diseases*, *176*(6), 1590-1596.

18. Sibley, C. H., Hyde, J. E., Sims, P. F., Plowe, C. V., Kublin, J. G., Mberu, E. K., Cowman, A. F., Winstanley, P. A., Watkins, W. M. & Nzila, A. M. (2001). Pyrimethamine–sulfadoxine resistance in Plasmodium falciparum: what next?. *Trends in parasitology*, *17*(12), 582-588.
19. Staedke, S. G., Sendagire, H., Lamola, S., Kamya, M. R., Dorsey, G. & Rosenthal, P. J. (2004). Relationship between age, molecular markers, and response to sulphadoxine–pyrimethamine treatment in Kampala, Uganda. *Tropical Medicine & International Health*, *9*(5), 624-629.
20. Tekete, M., Djimde, A. A., Beavogui, A. H., Maiga, H., Sagara, I., Fofana, B., Ouologuem, D., Dama, S., Kone, A., Dembele, D., Wele, M., Dicko, A. & Doumbo, O. K. (2009). Efficacy of chloroquine, amodiaquine and sulphadoxine-pyrimethamine for the treatment of uncomplicated falciparum malaria: revisiting molecular markers in an area of emerging AQ and SP resistance in Mali. *Malaria Journal*, *8*(1), 34.
21. Venkatesan, M., Gadalla, N. B., Stepniewska, K., Dahal, P., Nsanzabana, C., Moriera, C., Price, R. N., Mårtensson, A., Rosenthal, P. J., Dorsey, G., Sutherland, C. J., Guérin, P., Davis, T. M. E., Ménard, D., Adam, I., Ademowo, G., Arze, C., Baliraine, F. N., Berens-Riha, N., Björkman, A., Borrmann, S., Checchi, F., ... & Sibley, C. H. (2014). Polymorphisms in Plasmodium falciparum chloroquine resistance transporter and multidrug resistance 1 genes: parasite risk factors that affect treatment outcomes for P. falciparum malaria after artemether-lumefantrine and artesunate-amodiaquine. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, *91*(4), 833.
22. Wang, P., Lee, C. S., Bayoumi, R., Djimde, A., Doumbo, O., Swedberg, G., Dao, L. D., Mshinda, H., Tanner, M., Watkins, W. M., Sims, P. F. & Hyde, J. E. (1997). Resistance to antifolates in Plasmodium falciparum monitored by sequence analysis of dihydropteroate synthetase and dihydrofolate reductase alleles in a large number of field samples of diverse origins. *Molecular and biochemical parasitology*, *89*(2), 161-177.
23. Wang, P., Read, M., Sims, P. F. & Hyde, J. E. (1997). Sulfadoxine resistance in the human malaria parasite Plasmodium falciparum is determined by mutations in dihydropteroate synthetase and an

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

additional factor associated with folate utilization. *Molecular microbiology*, *23*(5), 979-986.

24. World Health Organization, Global Partnership to Roll Back Malaria, World Bank, United Nations Development Programme, African Summit on Roll Back Malaria (2000 : Abuja, Nigeria) et al., (2003). La Déclaration d' Abuja et le plan d' action : extrait du Sommet africain pour faire reculer le paludisme, Abuja, 25 avril 2000 (WHO/CDS/RBM/2000.17). Organisation mondiale de la Santé. https://apps.who.int/iris/handle/10665/67817
25. World Health Organization (2006). Guidelines for the treatment of Malaria, 1st ed. World Health Organization. https://ec.europa.eu/echo/files/policies/sectoral/health_2006_malaria_treatment_guidelines_who.pdf
26. World Health Organization (2010) : Global report on antimalarial drug efficacy and drug resistance: 2000-2010.Geneva: World Health Organization.
27. World Health Organization (2011). World malaria report 2011 https://www.who.int/publications/i/item/9789241564403
28. World Health Organization (2012). WHO policy recommendation: seasonal malaria chemoprevention (SMC) for plasmodium falciparum malaria control in highly seasonal transmission areas of the Sahel sub-region in Africa. World Health Organization. https://iris.who.int/handle/10665/337978
29. World Health Organization. Policy brief for the implementation of intermittent preventive treatment of malaria in pregnancy using sulfadoxine-pyrimethamine (IPTp-SP). Geneva, World Health Organization, 2013. https://www.who.int/publications/i/item/WHO-HTM-GMP-2014.4
30. World Health Organisation (2024). Rapport 2024 sur le paludisme dans le monde. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/malaria/world-malaria-reports/world-malaria-report-2024-global-briefing-kit-fre.pdf

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Études ethnomédicinales, phytochimiques et activité antiradicalaire de *Euphorbia hirta* L. utilisée à visée galactogène dans la médecine traditionnelle chez les Sara-Kaba de Hélibongo et Kémata, dans la province du Moyen-Chari (Tchad)

Ndjebwo Oroma Mina
Département des Sciences Biomédicales et Pharmacie,
Faculté des Sciences de la Santé Humaine, Université de N'Djamena, Tchad
Laboratoire de Recherche, Diagnostic et Expertise Scientifique,
Unité de Phytochimie et Pharmacognosie, Ndjamena, Tchad

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p103

Submitted: 13 March 2026
Accepted: 12 August 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Oroma Mina, N., (2026). *Études ethnomédicinales, phytochimiques et activité antiradicalaire de Euphorbia hirta L. utilisée à visée galactogène dans la médecine traditionnelle chez les Sara-Kaba de Hélibongo et Kémata, dans la province du Moyen-Chari (Tchad).* European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 103. https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p103

Résumé

L'insuffisance de production et la mauvaise qualité du lait maternel constituent l'une des causes de consultation dans les structures sanitaires et l'arrêt de l'allaitement maternel dans le monde, particulièrement au Tchad.

Objectif : Cette étude consiste à contribuer à la valorisation de la recette à base de ***Euphorbia hirta* L.** employée dans la médecine traditionnelle pour favoriser la production du lait maternel en cas d'insuffisance ou de la mauvaise qualité nutritionnelle.

Méthodologie : Une enquête analytique descriptive et semi-structurée était menée auprès de **150 tradipraticiens de santé** de la communauté **Sara-Kaba** de **Hélibongo** et **Kémata** sur la recette à base de *Euphorbia hirta* L. afin de faire la lumière sur ses propriétés **galactogènes** employées en médecine traditionnelle. Les personnes ressources ont été interrogées individuellement sur la base de leur disponibilité, consentement libre et éclairé. Les répondants étaient interviewés à travers un entretien semi-structuré et à l'aide d'une fiche d'enquête préétablie. Les investigations

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

ethnobotaniques et phytochimiques ont été effectuées afin de décrire les caractéristiques ethnomédicales, ensuite d'identifier les constituants chimiques et enfin de réaliser le criblage qualitatif de l'activité antiradicalaire de *Euphorbia hirta* L.

Résultats: Les personnes interrogées étaient en majorité ménagères (**80 %**). La plante entière était utilisée (**100 %**) à l'état sec (**50 %**) ou frais (**50 %**) et sous forme de décoction (**100 %**). La recette était administrée par voie orale et jusqu'à satisfaction. Le criblage phytochimique a permis de mettre en évidence plusieurs métabolites secondaires, les **hétérosides cardiotoniques**, **stérols /terpénoïdes** , **alcaloïdes**, **tanins catéchiques**, **anthocyanosides** , **flavones** sont les plus représentés. Les différents tests de caractérisation des quinones libres, anthraquinones, saponosides et tanins galliques étaient négatifs. Le rendement (**R= 14,4 %)** le plus élevé était obtenu par le solvant alcoolique. Le test qualitatif préliminaire par la colorimétrie mettant en évidence l'extrait végétal et DPPH était positif ainsi que la confirmation par la technique Thin Layer Chromatographic utilisant la **CCM-DPPH**.

Conclusion: Les études ethnomédicales et phytochimiques ont permis de relever le potentiel galactogène traditionnel de l'espèce *Euphorbia hirta* L. employée dans la médecine traditionnelle chez les Sara-Kaba de Helibongo et Kémata. Les résultats de cette étude pourraient servir de base de données permettant d'effectuer d'éventuels tests pharmacologiques.

Mots-clés: Ethnobotanique, phytochimie, activité antiradicalaire, galactogène, Tchad

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Ethnomedicinal and Phytochemical Studies and Antiradical Activity of *Euphorbia hirta* L. used as a Galactagogue in Traditional Medicine among the Sara-Kaba Communities of Helibongo and Kemata in the Moyen-Chari Province (Chad)

Ndjebwo Oroma Mina
Department of Biomedical Sciences and Pharmacy,
Faculty of Human Health Sciences, University of N'Djamena, Chad
Research, Diagnostic and Scientific Expertise Laboratory,
Phytochemistry and Pharmacognosy Unit, Ndjamena, Chad

Abstract

Insufficient milk production and poor-quality breast milk are among the reasons for seeking medical advice at healthcare facilities and discontinuing breastfeeding worldwide, particularly in Chad.

Objective: The aim of this study was to contribute to the valorisation of the ***Euphorbia hirta*** **L.- based** remedy used in traditional medicine to promote breast milk production in cases of insufficient supply or poor nutritional quality.

Methodology: A descriptive, semi-structured survey was conducted amongst **150 traditional healers** from the **Sara-Kaba** community of **Helibongo** and **Kemata** regarding the *Euphorbia hirta* L.- based remedy, in order to shed light on its galactagogue properties in traditional medicine. Key informants were interviewed individually based on their availability and after obtaining their free and informed consent. Respondents were interviewed using a semi-structured interview guide and a pre-established questionnaire. Ethnobotanical and phytochemical investigations were conducted to describe the ethnomedical characteristics, identify the chemical constituents, and perform a qualitative screening of the antioxidant activity of *Euphorbia hirta L*.

Results: The majority of respondents were housewives (**80 %**). The whole plant was used (**100 %**), either in dried form (**50 %**) or fresh form (**50 %**), and prepared as a decoction (**100 %**). The preparation was administered orally until the desired effect was achieved. Phytochemical screening revealed the presence of several secondary metabolites, with **cardiotonic glycosides**, **sterols/terpenoids**, **alkaloids**, **catechic tannins**, **anthocyanosides**, and **flavones** being the most abundant. Tests for the characterisation of free quinones, anthraquinones, saponins, and gallic tannins were negative. The highest yield (**R = 14.4 %**) was obtained using an alcoholic solvent. The preliminary qualitative colorimetric test involving the plant extract and DPPH

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

was positive, and this result was confirmed using thin-layer chromatography (TLC) with the **TLC-DPPH** technique.

Conclusion: Ethnomedical and phytochemical studies revealed the traditional galactogenic potential of *Euphorbia hirta* L., which is used in traditional medicine among the Sara-Kaba people of Helibongo and Kemata. The findings of this study could serve as a database for future pharmacological investigations.

Keywords: Ethnobotany, Phytochemistry, Antioxidant activity, Galactogenic, Chad

Introduction

Le monde végétal constitue une source abondante de ressources, dont une grande majorité demeure encore de nos jours sous-exploités. Parmi ces ressources, *Euphorbia hirta* L. (Euphorbiaceae) est connue depuis des millénaires par les Sara-Kaba pour ses vertus thérapeutiques. L'espèce *Euphorbia hirta* L. est employée pour ses multiples efficacités dans le traitement de diverses pathologies dont celle de la production ou mauvaise qualité nutritionnelle du lait maternel. En outre, au regard de ses différentes efficacités en médecine traditionnelle chez les Sara-Kaba, *Euphorbia hirta* L. est recommandée pour pallier à la pathologie liée de la production ou mauvaise qualité nutritionnelle du lait maternel.

L'insuffisance de production ou la mauvaise qualité nutritionnelle du lait maternel est un problème ressenti dans les pays à faibles ressources ainsi que ceux développés, et constitue l'un des motifs d'arrêt de l'allaitement du nouveau-né. Selon les études menées par Mathur et *al*. (1992), le syndrome de Sheehan est à l'origine d'un panhypopituitarisme de degré variable et est régulièrement cité comme la cause d'agalactie. En Europe, précisément en France, pour une étude réalisée, la prévalence est 38 % de cas d'insuffisance de production du lait maternel (Mathur et *al*., 1992). L'agalactie est un cas exceptionnel dans les pays développés mais reste la première cause d'insuffisance de production du lait maternel dans les pays en développement (Mathur et *al*., 1992).

En Afrique de l'Ouest et du Centre, le taux d'allaitement exclusivement des jeunes enfants de moins de 06 mois par le lait maternel est de 20 % (Sokol et *al*., 2007). En Afrique, selon Sokol et *al*. (2007), les taux d'allaitement étaient variables, s'élevant respectivement à 5 % en Côte d'Ivoire, 4 % en Sierra Leone, 3 % au Mali et au Sénégal (34 %). Au Togo, le pourcentage de nourrissons exclusivement allaités au lait maternel au cours des six premiers mois était de 64,3 % (INSEED, 2017).

Par contre, au Tchad, la dernière enquête nutritionnelle SMART 2022 mentionne que seulement 7,3 % d'enfants âgés de 0 à 6 mois étaient sous

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

allaitement exclusif au sein maternel (UNICEF, 2024). De nos jours, les pesanteurs socioprofessionnelles influencent l'allaitement maternel à cela s'ajoute la production insuffisante du lait chez certaines femmes.

L'insuffisance de production du lait maternel et sa mauvaise qualité nutritionnelle ont été depuis fort longtemps prise en charge par la médecine traditionnelle Tchadienne. Cette ancienne pratique est particulièrement ancrée dans les communautés **Sara-kaba** de **Hélibongo** et **Kémata, dans la Province du Moyen-Chari (Sud-Est du Tchad)**. La prise en charge se fait à base d'une herbacée, *Euphorbia hirta* L., elle est utilisée en médecine traditionnelle par les populations Sara-kaba pour des effets galactogènes, aidant ainsi les femmes allaitantes en cas d'insuffisance de production ou la mauvaise qualité du lait maternel. La plante est connue localement sous le vocable ≤ ***Bah Ndreh*** (***bah***: lait et ***Ndreh*** : pigeon) ≥, ce qui signifie littéralement le lait de pigeon. Le lait maternel produit par ces femmes atteintes de ces troubles physiologiques est appelé par les populations Sara-Kaba de Hélibongo et Kémata ≤ ***Bah katah*** (***bah*** : lait et ***katah*** : salé) ≥, ce qui signifie à la lettre le lait salé. Traditionnellement, le test de la qualité de ce lait, consiste à mettre une fourmi en contact avec une petite quantité fraichement tirée dans un petit récipient. La mort de l'insecte confirme que le lait maternel est impropre pour la consommation. En outre, sa consommation pourrait dans le pire de cas, entrainer la mort des nourrissons.

L'espèce *Euphorbia hirta* L. est employée à cet effet par la population Sara-Kaba depuis des décennies, cette pratique est transmise de génération en génération faisant ainsi partie intégrante des traditions de la communauté. Au regard de ce qui précède, l'usage de *Euphorbia hirta* L. à visée galactogène pourrait être considéré comme la recette de grand-mère.

Le monde végétal est en général pourvoyeur de plusieurs effets bénéfiques pour lutter contre plusieurs troubles physiologiques, y compris l'insuffisance de production ou la mauvaise qualité du lait maternel. C'est donc au regard de ce qui précède, que la présente étude se propose de décortiquer les perceptions scientifiques relatives à l'utilisation de *Euphorbia hirta* L. à visée galactogène traditionnel.

L'objectif général est de contribuer à la valorisation de la recette locale à base de *Euphorbia hirta* L. utilisée dans la prise en charge de l'insuffisance de production ou la mauvaise qualité du lait maternel.

Les objectifs spécifiques sont:

- déterminer les caractéristiques sociodémographiques des répondants ;
- décrire les pratiques ethnomédicales associées à l'usage de cette plante ;
- réaliser un screening phytochimique de la recette employée ;
- évaluer la capacité antiradicalaire de l'extrait végétal.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

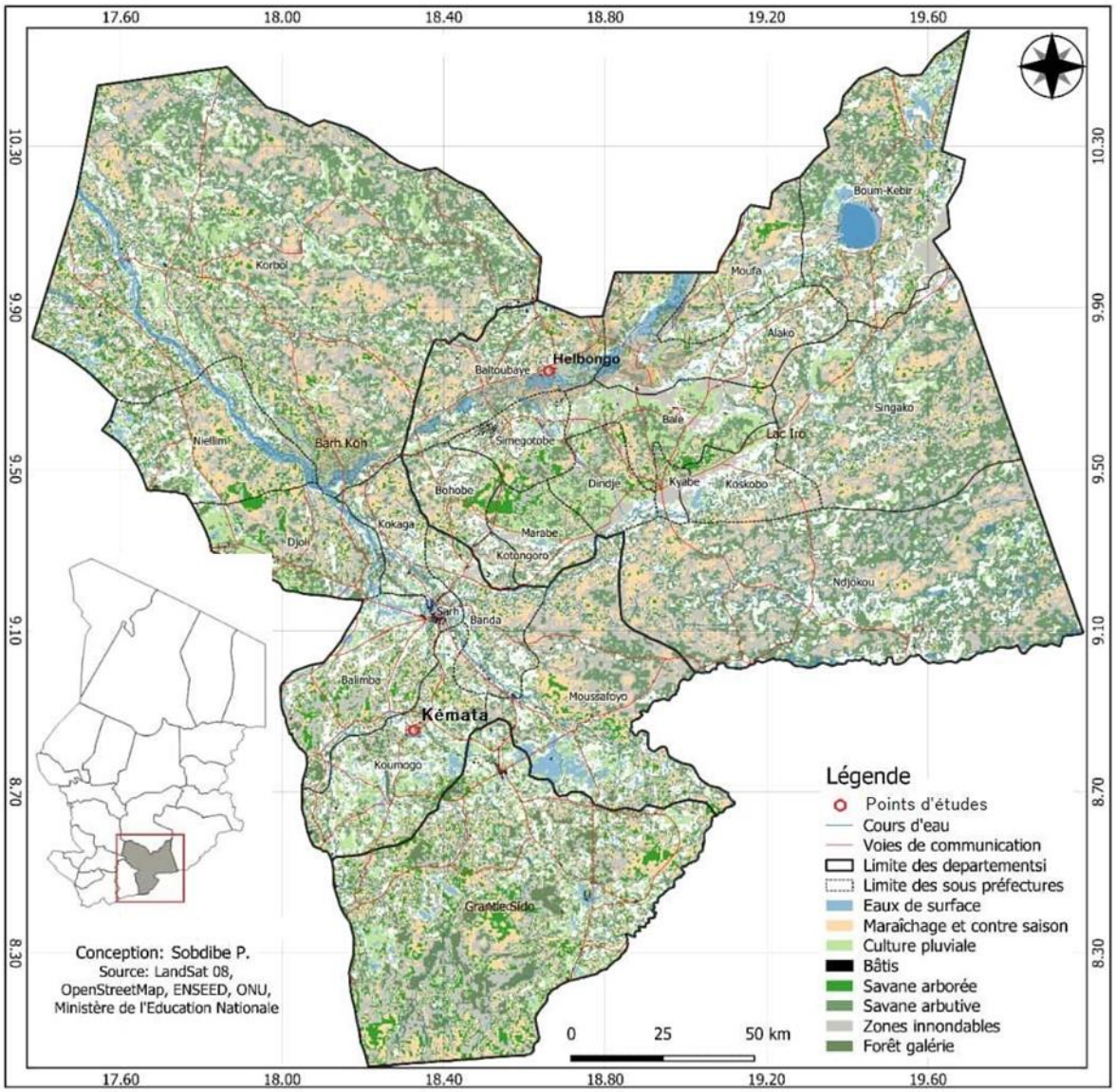
Matériel et Méthodes

Description de la zone d'étude

La Province du Moyen Chari est située à l'extrême Sud-Est du Tchad, sur le plan géographique, elle est située entre le 8ème et 10ème degré de latitude Nord et le 17ème et 20ème degré de longitude Est. Le peuplement de la Province du Moyen Chari est caractérisé par la présence de plusieurs grands groupes ethniques qui sont principalement les **Sara-Kaba**, Ngama, Routo, Mbaye, Gor, Sara-Madjigaye, Daye, Goula, Niéllim, Boua, Tounia, Goulaye, Ngambaye. Il y a également des Baguirmien, Ouaddaien, Kanembou, Boulala, Hadjarai, Bornou, Haoussa, Gorane, Lélé, Kabalaye, Zaghawa, Centrafricains, Camerounais, Nigériens et Nigérians (Plan de Développement de la Province du (PDP) 2023-2027 Moyen Chari). Selon le RGPH2 en 2009, la population de la province du Moyen Chari est de 588.008 habitants dont 50,38 % de femmes, et 49,9 % de moins de 15 ans (INSEED,2009). La Province de Moyen Chari a une superficie de 41 460 km², elle est divisée en quatre (04) départements (**Barh Kôh**, Grande Sido, Lac Iro et Korbol). Les deux localités d'étude (**Hélibongo** et **Kémata**) sont situées dans le Département de **Barh Kôh**.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Figure 1: Localisation des sites d'étude (Helibongo et Kémata)



Source : LandSat 08, Open Street, ENSEED, ONU, Ministère de l'Education Nationale

Méthodologie

Enquête ethnobotanique

Une enquête analytique descriptive et semi-structurée s'est déroulée auprès de 150 tradipraticiens détenteurs du savoir traditionnel dans la prise en charge de l'insuffisance ou la mauvaise qualité du lait maternel auprès des populations Sara-kaba de Hélibongo et Kémata (Province du Moyen Chari).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Les investigations ethnobotaniques ont été menées auprès des tradipraticiens de santé (TPS) de Hélibongo et Kemata détenteurs des savoirs traditionnels sur l'usage de *Euphorbia hirta* L. pour son usage à visée galactogène. Les interviews portaient sur les aspects sociodémographiques des TPS (âge, sexe, profession, tranche d'âge, niveau d'éducation et mode d'acquisition) et sur les caractéristiques ethnomédicales de la recette employée (nom scientifique de la plante, appellation locale de la plante, appellation locale de la maladie, la partie utilisée, la voie d'administration, la technique de préparation des recettes, la période de récolte de la drogue, l'état d'utilisation de la drogue et la durée de traitement). Les répondants ont été interrogés individuellement, sur la base de leur disponibilité et consentement éclairé. Les travaux se sont déroulés en deux phases, la première phase portait sur une investigation ethnomédicinale auprès des personnes ressources, ensuite suivie des analyses au laboratoire (recherche des métabolites secondaires et test qualitatif de l'activité antiradicalaire). Concernant les activités au laboratoire, la plante récoltée a été séchée à l'abri du soleil, puis pulvérisée en poudre afin de permettre la réalisation du screening phytochimique et d'effectuer le criblage qualitatif antiradicalaire de l'extrait.

Récolte et identification du spécimen

Après l'entretien avec les répondants, une descente a été effectuée dans l'habitat naturel, guidée par les herboristes des localités d'étude. La récolte de la matière végétale s'est déroulée dans les différentes localités de l'enquête, entre les mois de novembre 2025 et janvier 2026. Les échantillons étaient prélevés pour permettre de réaliser des tests phytochimiques et antiradicalaires. L'identification de l'espèce était faite par Yeba MBAIDE, botaniste au Département de Biologie de la Faculté des Sciences Exactes de l'Université de N'Djamena. L'espèce est référenciée à l'herbier de l'Institut de Recherche et Développement en Elevage, Tchad (IRED).

Investigations au laboratoire

- **Screening phytochimique**

Le matériel végétal ayant permis de réaliser les différentes activités est constitué de la plante entière de *Euphorbia hirta* L. Elle a été récoltée, nettoyée à l'eau coulante, afin de la débarrasser des impuretés. La plante a été par suite séchée à l'ombre pendant 15 jours, puis pulvérisée. Les travaux de screening phytochimique étaient effectués selon le protocole harmonisé par Mahmout Yaya, (2014). Le récapitulatif est illustré dans le Tableau I.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Tableau I: Récapitulatif des réactions de caractérisations des métabolites secondaires

Métabolites secondaires	Poudre (g)	Solvant / Milieu / Volume	Extraction (Technique) / Durée	Tests / Réactifs	Résultats / Caractérisations
Alcaloïdes	0,5	Ethanol 95°c (15 ml)	-Macération, (agitation :30 min) -Filtration	5ml d'extrait végétal + 3ml de HCl à 1N + quelques gouttes de (Dragendorff, Mayer, Wagner)	La formation d'un précipité fort en suspension ou floculation immédiate.
Hétérosides cardiotoniques	1	Chloroforme (10 ml)	-Macération (15 min) -Filtration	-4ml d'extrait végétal + Anhydride acétique (2ml). Puis laisser refroidir quelques minutes dans un bain de glace. -Ajouter (H_2SO_4, 1ml, concentré) lentement contre la paroi	Changement de coloration du violet au bleu ou vert Montre la présence des aglycones, glycosides cardiotoniques
Flavonoïdes	5	-Eau bouillante -50ml	-Infusion -Quelques min (15 min) -Filtrer	Copeaux de magnésium + HCl (3ml de mélange HCl-CH3-H2O (1/1/1)	Coloration -rouge (flavonols) - rose ou Violet (flavononones) - orangée (flavones)
Saponosides	2	Eau distillée (100 ml)	-Décoction (30 min) -laisser refroidir et filtrer -Agitation et laisser au repos	Test de mousse	Formation de mousse persistante
Anthraquinones	2	Humecter 2ml HCl 10 % + 20 ml Chloroforme	-Macération (24 h) -Filtrer	Prélever 1ml du macérat + 1 ml Hydroxyde de sodium à 10 %	Coloration rouge
Tanins	5	Eau bouillante (100 ml)	Infusion	Chlorure ferrique	Coloration bleu-noir : tanins galliques brun-vert foncé : tanins catéchiques
Quinones	1	Ether de pétrole (20 ml)	-Macération (agitation et repose de 24 h) -Filtrer et concentré	Hydroxyde de sodium à 1/10)	Coloration Vire au jaune, rouge ou violette
Anthocyanes	0,5	-Eau bouillante (10ml)	-Infusion (15 min) -Filtrer	Hydrolyse 3ml HCl alcoolique / sur l'infusé, chauffer pendant quelques minutes au Bain-marie 50° c (Variation de pH)	Coloration rouge violacée
Terpenoides et stérols	1	Ether de pétrole (20 ml)	Macération (24h)	• **Lieberman:** Quelques gouttes d'extrait éthéré évaporé + 2 gouttes Anhydride acétique + quelques gouttes acides sulfurique concentré • **Salkowski:** Résidu éthéré du Chloroforme + H_2SO_4 concentré Puis agiter	Coloration: • Mauve qui tourne au vert. • Couche supérieure rouge et la Couche inférieure jaune

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Le rendement (R) est une opération qui aide à déterminer la quantité de la matière première végétale nécessaire pour obtenir la quantité suffisante en principe actif. Plus la valeur de R est élevée, plus le procédé d'extraction est efficace pour récupérer les composés bioactifs présents dans la plante. Le rendement est influencé par plusieurs facteurs, tels que le solvant, la méthode et la durée d'extraction, ainsi que la nature des composés bioactifs présents dans la plante. Le rendement ou le taux d'extraction est calculé selon la formule suivante:

$$R = [(M2-M1) /M0] *100$$

Dans cette formule, les variables désignent respectivement:
M0 = masse de la poudre, M 1 = masse du bécher vide, M2 = masse de l'extrait sec + masse du bécher.

- **Criblage qualitatif de l'activité antiradicalaire par le DPPH-CCM**

L'activité antiradicalaire de l'espèce *Euphorbia hirta* L. a été évaluée par le test colorimétrique au DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazine) telle que décrite par Brand-Williams et *al*. (1995).

Principe

Le principe de ce test est basé sur le piégeage des radicaux libres de DPPH par un antioxydant (AH) à travers le transfert d'un atome d'hydrogène. La réduction se traduit par une baisse de l'absorbance due au changement de coloration de la solution qui passe du violet au jaune (Blois, 1958).

Mode opératoire

Dans chaque puits de la plaque, introduire 100 µl de solution de DPPH en présence de 100 µl d'extrait végétal préparé à différentes concentrations (40 mg/ml, 20 mg /ml et 10 mg/ml). Le témoin négatif a été préparé dans les mêmes conditions et à la place d'extrait on introduit 100 µl d'éthanol à chaque puits. Après dix minutes (10mn) d'incubation à l'obscurité, la décoloration du DPPH qui passe du violet au jaune en présence d'extrait, traduisant l'activité antiradicalaire de celle-ci. La méthode de TLC (Thin Layer Chromatographic) sur la plaque CMM (Chromatographie sur Couche Mince) est employée pour confirmer l'activité antioxydante de l'extrait végétal. Elle consiste à déposer sur la plaque 5 µl d'extrait végétal dilué au (1/ 10) à l'eau distillée. Ensuite, pulvériser la plaque avec du DPPH et après trois minutes (3 mn), passer à l'observation. L'apparition des tâches jaunes caractérisent l'activité antiradicalaire de l'extrait (Sakanaka et *al.*, 2005).

Traitement et analyse des données

Les données ont été saisies et traitées dans Word 2019 et Excel 2019, ce qui a permis de résumer les réponses aux différentes questions de recherche sous forme de tableaux et figures. Les résultats des caractéristiques

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

sociodémographiques, données ethnomédicinales et des analyses phytochimiques ont été appréciés qualitativement et quantitativement.

Considération éthique

Les données de cette étude ont été collectées sur la base de consentement libre et éclairé des répondants. Tous les répondants ont été informés d'avance des objectifs, méthodes et résultats attendus de l'étude. Par conséquent, ils sont tous consentants et ont accepté volontairement à participer à l'étude. En outre, le respect de confidentialité et de la vie privée des participants étaient préservées, ainsi que les valeurs socioculturelles des communautés concernées, garantissant ainsi le respect des principes éthiques.

Résultats

Données sociodémographiques

Dans le cadre des investigations ethnomédicales, au total 150 praticiens de la médecine traditionnelle de la communauté Sara-Kaba de Hélibongo et Kémata étaient interrogés. La répartition socioprofessionnelle est dominée par des ménagères (80 %), suivies des cultivateurs (17 %) et enfin les pêcheurs (3 %) étaient faiblement représentés. La majorité des TPS avaient plus de 40 ans, suivis de ceux d'âges compris entre 30-40 ans, puis viennent la tranche de 20-30 ans. Parlant de leur niveau d'instruction, 60 % des participants avaient un niveau primaire, tandis que 40 % étaient non scolarisés. Par ailleurs, la transmission des savoirs apparaît majoritairement intergénérationnelle, avec 140 praticiens rapportant un apprentissage auprès des aïeux, contre 10 d'entre eux, soit 7 %, qui affirmaient avoir reçu ces connaissances par observation.

Tableau II: Répartition des aspects sociodémographiques des tradipraticiens de santé

Aspects sociodémographiques	Effectif (N = 150)	Proportion (%)
Genre		
Masculin	30	20
Féminin	120	80
Age		
20 – 30	30	20
30 – 40	45	30
40 – 60	75	50
Profession		
Ménagères	120	80
Cultivateurs	25	17
Pêcheurs	5	3
Education		
Non scolarisé	60	40
Scolarisé (Primaire)	90	60
Mode d'acquisition		
Génération en génération	140	93
Observation	10	7

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Données ethnomédicinales

Les investigations ont permis de ressortir les pratiques ethnomédicinales liées à l'utilisation de la recette. La plante entière est utilisée pour la préparation des remèdes (100 %), aussi bien à l'état frais (50 %) que séché (50 %). L'espèce est récoltée pendant toute l'année et à tout moment selon la disponibilité. La technique de préparation est exclusivement la décoction (100 %). Les recettes sont administrées uniquement par voie orale (100 %) et le traitement est poursuivi jusqu'à la disparition des symptômes, se traduisant par un écoulement du lait maternel de bonne qualité nutritionnelle.

Tableau III: Caractéristiques ethnomédicinales de la recette employée

Espèce végétale	Nom en langue (Sara - Kaba)	Nom du trouble physiologique en langue (Sara-Kaba)	Reference herbier (IRED, Tchad)	Partie utilisée	Etat d'utilisation de la drogue	Période de la récolte	Mode de préparation	Mode d'administration	Durée de traitement
Euphorbia hirta L.	*Mba-dreh*	*Mba-kata*	HG 2471, N9 ; A 8276 ; C 1463	Plante entière	Sec ou frais	Tout moment, toutes les saisons de l'année	Décoction	Voie orale	Jusqu'à satisfaction (Production normale et bonne qualité du lait)

Abréviations: A = Jacques Audru ; C = Jean César ; HG = Hubert Gillet.

Screening phytochimique

L'analyse phytochimique effectuée sur l'extrait de *Euphorbia hurta* L. a mis en évidence la présence de plusieurs métabolites secondaires. Les résultats ont révélé la forte présence des alcaloïdes (+++), des hétérosides cardiotoniques (+++) et stérols/terpènes (+++). Après, suivent les tanins catéchiques (++) et anthocyanosides (++). Par contre, les flavonoïdes étaient représentés essentiellement par les flavones. Cependant, les tanins galliques, les quinones, saponosides et anthraquinones étaient absents (-).

Tableau VI: Screening phytochimique de l'extrait de Euphorbia hirta L.

	Fla	Antho	HC	Quin	Anthra	Tanins		Sapo	Stér et Terp		Alc		
						C	G		Salkowski	Libermann	Mayer	Dragendorff	Wagner
Euphorbia Hirta L.	Flavones	++	+++	-	-	++	-	-	+++	+++	+++	++	+++

Légende 1 : Fla : flavones ; Antho : anthocyanosides ; HC : hétérosides cardiotoniques ; Quin : quinones ; TC : tanins catéchiques ; TG : tanins galliques ; Ste / Ter : stérols et terpènes ; Alc : alcaloïdes ; Sapo : saponposides.
Légende 2 : Réaction négative (-) ; Réaction positive avec concentration faible (+) ; Réaction positive avec concentration moyenne (+) ; Réaction positive avec concentration modérée (++) ; Réaction positive avec forte concentration (+++).

Rendement

Le rendement obtenu par les différents solvants (alcool et eau) était calculés selon les formule suivante.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

R = [(M2-M1) /M0] *100

M1 = masse de l'extrait sec + masse du bécher, M2 = masse du bécher vide, M0 = masse de la poudre

- Solvant alcoolique

M0 = 50 ; M1 = 185,7 ; M2= 192,9
R = [(192,9-185,7) /50] *100

R = 14,4 %

- Solvant aqueux

M0 = 50 ; M1 =185,7 ; M2= 191,4
R = [(191,4-185,7) /50] *100

R = 11,4 %

Les résultats de l'extraction de la plante entière *Euphorbia hita* L. révèle que le rendement est en fonction du solvant employé. Le rendement obtenu par le solvant alcoolique (R = 14,4 %) est plus élevé que celui obtenu par le solvant aqueux (R = 11,4 %). Le tableau V en est l'illustration.

Tableau V: Illustration du rendement en fonction du solvant

Plante entière	Solvants (500ml)	Masse de la Poudre (M0)	Masse du bécher vide (M1)	Masse de l'extrait + bécher (M2)	Rendement (R %)
Euphorbia hirta L. (Poudre)	Alcool	50	185,7	192,9	14,4
	Eau	50	185,7	191,4	11,4

Activité antiradicalaire

Le test d'évaluation du pouvoir antiradicalaire de l'extrait de *Euphorbia hirta* L. à différentes concentrations par la technique colorimétrique au CMM-DPPH a montré après une incubation de 10 minutes un changement de couleur passant du violet au jaune. La Figure 2 en démontre.

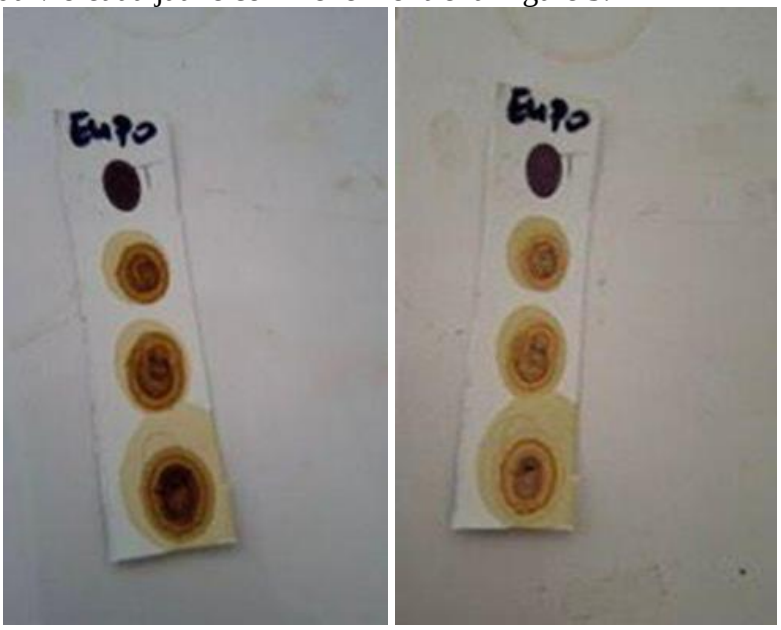


Avant incubation **Après incubation (10 minutes)**

Figure 2: Illustration du test qualitatif de l'activité antiradicalaire de *Euphorbia hirta* L.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

La technique de confirmation par la CCM-DPPH du pouvoir antiradicalaire d'extrait végétal a également présenté la décoloration du DPPH passant du violet au jaune comme le montre la Figure 3.



Avant **Après (3 minutes)**

Figure 3: Test de confirmation de l'activité antiradicalaire sur la plaque CCM-DPPH

Identification de l'espèce *Euphorbia hirta* L.

Figure 4: Aperçu d'un rameau feuillé de *Euphorbia*. *hirta* L.



Image prise le 14 / 12 / 2025 à Kémata (Yeba MBAIDE, botaniste)

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Discussion

La prédominance des tradipraticiens de santé de sexe féminin pourrait se justifier par le fait que le genre féminin est le seul à subir ce trouble physiologique, et puisque le savoir en médecine traditionnelle est transmis de génération en génération, cela expliquerait qu'elles sont bien avisées à dispenser ce type de soins. En outre, lorsqu'il s'agit du corps humain, les femmes préfèrent consulter des femmes pour des raisons d'intimité ou encore culturelles. La forte proportion du sexe féminin (98 %) a été également mentionnée par Odoh et *al.* (2024) lors des enquêtes sur les plantes antidiabétiques à Abidjan. De même, l'étude effectuée par Mina et *al.* (2025a) révèle une forte proportion des tradipraticiens de santé de sexe féminin (67 %) lors des enquêtes ethnobotaniques menées à Kyabé sur les plantes utilisées contre les dermatoses. Cette similitude des résultats pourrait se justifier par le fait que les pratiques du savoir traditionnel ne sont pas uniquement réservées au sexe masculin. La forte représentativité des TPS de la tranche d'âge de 40-60 ans, montrerait que les TPS avaient atteint une maturité et avaient acquis plusieurs années d'expériences. Par conséquent, ils fourniraient des informations fiables. En plus, les pratiques en médecine traditionnelle requièrent plusieurs années d'apprentissage auprès des Maitres. Les résultats opposés étaient rapportés par Odoh et al. (2024) en Côte d'Ivoire lors des enquêtes ethnobotaniques sur les plantes antidiabétiques avec une prédominance des TPS de la tranche d'âge de 15 ans-30 ans. Cette discordance des résultats pourrait être liée d'une part à la différence des milieux d'étude, et d'autre part, les pratiques de la médecine traditionnelle ne sont pas exclusivement l'apanage des personnes âgées.

Dans cette étude, il ressort que les TPS exercent d'autres activités professionnelles. L'enquête rapportait particulièrement une grande représentativité des TPS-Ménagères (80 %). Ceci confirmerait que cette profession n'est pas financièrement viable, ce qui obligerait les TPS à exercer d'autres activités afin de subvenir aux besoins quotidiens. En plus, dans les sociétés africaines où les traditions sont très ancrées, particulièrement au Tchad, les femmes sont naturellement au foyer. Des observations similaires ont été soulignées par Mina et *al*. (2025b) lors des travaux sur les plantes antidiabétiques dans la province du Mandoul au cours desquels une forte prévalence de TPS-Ménagères (56,67 %) a été rapportée.

Concernant le niveau d'éducation, les TPS interrogés étaient majoritairement scolarisés (60 %). Cette prédominance des TPS-Scolarisés se justifierait par le fait que de nos jours, les deux villages (Hélibongo et Kemata) sont dotés chacun d'au moins un établissement scolaire. Ces résultats contrastent avec ceux de Kouassi et *al*. (2024), obtenus pendant leurs travaux sur l'utilisation des plantes contre les dermatoses microbiennes dans la région de Mé (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) qui rapportaient une proportion des TPS-

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Non scolarisés (22,77 %). Ce constat opposé pourrait être justifié puisqu'il s'agit des milieux d'étude et culture différents. Et, cela se justifierait par les différences liées aux milieux d'études et contextes culturels.

Concernant les voies de transmission du savoir, une grande majorité des TPS (93 %) déclarent avoir reçu la connaissance de leurs ancêtres (de génération en génération). Cette prédominance pourrait être confirmée par le fait que les pratiques et savoirs des médecines traditionnelles se transmettent de génération en génération et également à travers les lignées ancestrales. À l'inverse, les résultats de Goumou et *al*. (2022) en Guinée-Conakry soulignaient une prédominance de la transmission du savoir par apprentissage, ce mode constituait la principale voie d'acquisition du savoir par les TPS (42 %). Cette hétérogénéité s'expliquerait par les différences entre les contextes humains et géographiques de ces zones d'études.

La plante entière était recommandée pour la préparation de la recette. Cette préférence d'usage se justifierait par le fait qu'en phytochimie, les métabolites secondaires sont répartis dans tous les organes des végétaux mais pas dans une seule partie. Les résultats de cette étude appuient cette synergie d'activité entre les composés bioactifs, s'opposant ainsi aux données ethnobotaniques de Mina *et al.* (2025a), Gnagne *et al.* (2017), Gbekley *et al.* (2015) où l'usage des feuilles prédomine dans les préparations des recettes traditionnelles.

La drogue végétale est préparée exclusivement par décoction (100 %), le choix de cette unique technique se justifierait du fait que la décoction permettrait de recueillir le plus de principes actifs et atténuerait l'effet toxique de certaines recettes (Salhi *et al*., 2010). La prédominance d'utilisation de la décoction corrobore les résultats obtenus par plusieurs auteurs dont (Mina, 2025d; Goumou et *al*., 2022).

La recette est employée uniquement par la voie orale et exclusivement en décocté à prendre pendant la cure. Le recours au décocté à prendre par voie orale justifie le caractère interne de la pathologie. Cette approche corrobore les études de Mina et *al*. (2025b) au Tchad et Apema et *al*. (2011) à Bangui qui rapportaient la prépondérance de la décoction par voie orale dans le traitement du diabète, une maladie d'origine interne.

Au terme du screening phytochimique, plusieurs profils phytochimiques étaient mis en évidence dont les alcaloïdes, hétérosides cardiotoniques et terpènes étaient fortement représentés. La forte concentration de ces composés bioactifs prouverait l'utilisation galactogogue traditionnel de *Euphorbia hirta* L. Les résultats de cette étude s'alignent sur la littérature scientifique de Adepo et *al*. (2017) lors des recherches sur les propriétés galactogènes de *Euphorbia hirta* L. sur le développement mammaire, renforçant ainsi les résultats de cette étude. Le profilage phytochimique a montré l'absence des saponosides et quinones, ces

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

observations sont en parfait accord avec ceux de Adepo et *al*. (2017) qui avaient également observé l'absence des saponosides et quinones. De même, au Nigeria, Sani et *al*. (2019) rapportaient la présence des mêmes métabolites secondaires (tanins, flavonoïdes, stéroïdes, glycosides, alcaloïdes, terpénoïdes). Ces similarités des résultats se démontreraient par la stabilité chimique des composés bioactifs présents dans l'espèce *Euphorbia hirta* L., indépendamment des zones géographiques et ainsi que les facteurs génétiques propres à cette plante, affermissant ainsi les résultats de la présente étude.

Le rendement (R = 14,4 %) obtenu par l'extrait alcoolique a montré une forte concentration, cela s'explique par la capacité de ce solvant à dissoudre une grande partie de métabolites secondaires de polarité intermédiaire (flavonoïdes, les polyphénols, les alcaloïdes et certains terpénoïdes). Par contre, le faible rendement de la phase aqueuse découle de sa haute sélectivité stricte envers les composés hautement polaires, restreignant ainsi l'extraction des composés très polaires tels que les sucres, certains tanins et les sels minéraux.

Le test préliminaire d'évaluation de l'activité antiradicalaire par la colorimétrie au CMM-DPPH des extraits éthanoliques de *Euphorbia hirta* L. a relevé une zone de décoloration jaune pâle sur fond violet. Ce résultat atteste la présence des métabolites secondaires qui piégeraient les radicaux du DPPH, et donc pourraient être potentiellement antiradicalaires. De plus, le rendement élevé de l'extrait alcoolique est lié à la présence des composés bioactifs tels que les flavonoïdes, polyphénols et d'autres composés qui piègent les radicaux libres. La présence de ces composés bioactifs justifierait le résultat positif du test qualitatif d'évaluation du pouvoir antiradicalaire préliminaire de l'extrait végétal de *Euphorbia hirta* L. L'usage de l'espèce *Euphorbia hirta* L. en médecine traditionnelle à visée galactogogue pourrait se justifier si l'étiologie de l'insuffisance de production ou la mauvaise qualité du lait maternel découle du stress oxydatif. Cette hypothèse corrobore les travaux de (Lau, 2011) impliquant le stress comme l'une des causes de la suppression de lactation.

Les résultats du test qualitatif colorimétrique par le CMM-DPPH s'accordent avec les observations de Karanga et *al.* (2024) consolidant ainsi la présente étude. Cette similitude se démontrerait par la stabilité chimique de l'espèce et des facteurs génétiques intrinsèques indépendamment des zones d'études. En outre, selon (Adepo et *al*., 2017), les travaux effectués sur les extraits de *Euphorbia hirta* L. avaient montré une bonne activité sur la production laitière, renforçant ainsi l'usage galactogène en médecine traditionnelle dans la médication chez les Sara-Kaba de Hélibongo et Kémata.

Conclusion

Les enquêtes ethnomédicales menées sur *Euphorbia hirta* L. auprès des populations Sara-kaba des villages de Hélibongo et Kémata, et au

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

laboratoire ont permis de faire la lumière sur plusieurs paramètres scientifiques. Au total, 150 répondants étaient interviewés dont le genre féminin était majoritairement représenté. Les investigations ethnomédicales ont rapporté que la plante entière servait à la préparation de la recette, exclusivement administrée par la voie orale et sous forme de décocté. Les analyses phytochimiques effectuées sur les extraits de *Euphorbia hirta* L. rapportent la richesse en plusieurs classes de métabolites secondaires bioactifs, dont les plus représentés sont notamment les flavonoïdes, les tanins catéchiques, anthocyanes, stérols / terpénoïdes, alcaloïdes et hétérosides cardiotoniques. Le test qualitatif préliminaire par la colorimétrie utilisant le CMM-DPPH a montré la décoloration du DPPH allant du violet au jaune. Les résultats de cette étude constitueraient une base de données pour des tests pharmaco-toxicologiques et spécifiques à la lactation.

Perspectives

Des études pharmacotoxicologiques, cliniques et pharmacotechnies seront envisagées dans la perspective de la valorisation de ce produit traditionnel afin de développer le produit ORGALACT®. Ces études permettront d'obtenir un produit ORGALACT® stable, efficace et présentant une innocuité démontrée.

Remerciements : L'auteur adresse ses sincères remerciements aux populations locales, à l'ensemble des tradipraticiens de santé pour leurs disponibilités. Il exprime également sa gratitude aux autorités.

Conflit d'intérêts : L'auteur a déclaré n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données figurent dans le corps de l'article.

Déclaration de financement : L'auteur n'a bénéficié d'aucun financement pour cette recherche.

Déclaration relative aux participants humains

Cette étude a été approuvée par la Faculté des Sciences de la Santé Humaine (FSSH) de l'Université de N'Djamena, au Tchad, et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. Apema, R., Mozouloua, D., Kosh, K.E., & Ngoule, Y. (2011). Les plantes médicinales utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle par les tradipraticiens à Bangui**.** Rapport d'activité.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Université de Bangui et Unité de Recherche en Sciences Appliquées au Développement (URSAD).1-7p. https://www.gfmer.ch/Activites_internationales_Fr/PDF/Diabete-Apema-2011.pdf.

2. Adepo, Y. P., Bolou, G.E.K., & Akoa, E.E.F. (2017). Effet sur le développement mammaire et analyse phytochimique de deux plantes lactogènes de la pharmacopée traditionnelle ivoirienne: *Euphorbia hirta* L. et *Secamone afzelii* (Roem. &Schult.) Available online at http://www.ifgdg.org Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(4): 1872-1877, ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print) Short Communication http://ajol.info/index.php/ijbcs http://indexmedicus.afro.who.int. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i4.35.
3. Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature, 181, pp.1199–1200. https://doi.org/10.1038/1811199a0.
4. Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT – Food Science and Technology, 28(1): 25-30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5
5. Gbekley, E.H., Karou, D.S., Gnoula, C., Agbodeka, K., Anani, K., Tchacondo, T., Agbonon, A., Batawila K., & Simpore, J. (2015). Étude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement du diabète dans la médecine traditionnelle de la région Maritime du Togo. Pan African Medical Journal. 20: 437-452. doi : 10.11604/pamj.
6. Gnagne, A.S., Camara, D., Fofié, N. B. Y., Bene, K., & Zirihi, G. N. (2017). Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement du diabète dans le Département de Zouénoula (Côte d'Ivoire). Journal of Applied Biosciences. 113: 11257-11266, https://dx.doi.org/10.4314/jab.v113i1.14, ISSN 1997-5902
7. Goumou, K., Haba, N.L., Traore, M.S., Bah, F., & Baldé, M.A. (2022). Enquête ethnobotanique sur l'utilisation des plantes médicinales dans le traitement traditionnel des dermatoses en Guinée. Revue africaine et Malgache de Recherche Scientifique. Série Pharmacopée et Médecine Traditionnelle Africaine, 21(1): 50- 65 ; ISSN 2630-1296.
8. INSEED (2017). Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques et Démographiques (INSEED), MICS6 TOGO, Rapport final, République Togolaise Lomé, 459 p.
9. Karanga, Y., Ganamé, H. T., Nikiema, W-K. H.C., Ilboudo, O., & Tapsoba I. (2024). Antiradical and anticancer activities of extracts of Euphorbia hirta L. (Euphorbiaceae) from Burkina Faso, Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie,J. Soc. Ouest-Afr. Chim, 053 : 55-62, ISSN 0796-6687, Code Chemical Abstracts : JSOCF2 Cote INIST

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

(CNRS France) : Site Web : http://www.soachim.org http://www.soachim.info.

10. Kouassi, K.G., AKA, A.G., Armelle, A.S., YAPO, Y. C. V., Bene, K., Kanga,Y., Konan,A., & Zirihi, N. G. (2024). Inventaire et utilisation des plantes médicinales par le peuple Akyé contre les dermatoses microbiennes dans la région de la Mé (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Revue RAMReS – Série Pharmacopée et Médecine Traditionnelle Africaine, 23(1): 102-128, ISSN 2630-1296.
11. Lau, C. (2011). Effects of stress on lactation », Pediatr Clin North Am., 48(1), p. 221-234.Department of Pediatrics Neonatology, Baylor College of Medicine, Houston, TX, Integrating Population Outcomes, Biological Mechanisms and Research Methods in the Study of Human Milk and Lactation Edited by Davis et al., Kluwer Academic/Plenum Publishers, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-0559-4_10.
12. Mathur, G.P., Chitranshi, S., Mathur, S., Singh, S.B., & Bhalla, M. (1992). « Lactation failure », Indian Pediatr., 29(12), 1541-4. PMID: 1291500.
13. Mina, O. N., Ranebaye, D., Bousela, D., Mbaide, Y., & Nguinambaye, M.M. (2025a). Etude ethnobotanique des plantes utilisées dans la prise en charge traditionnelle des dermatoses chez les Sara kaba de Kyabé, au Sud-Est de la province de Moyen Chari (Tchad). Revue RAMReS – Série Pharmacopée et Médecine Traditionnelle Africaines, 24(1): 17-28. ISSN 2630-1296.
14. Mina, O.N., Toukgui, W.Z., Ranebaye, D., Boursela, D., Mbaide, Y., & Nguinambaye, M.M. (2025b). Enquête ethnobotanique des plantes antidiabétiques de la Province du Mandoul au Tchad. Revue RAMReS – Série Pharmacopée et Médecine Traditionnelle Africaines, 24(1): 45-53. ISSN 2630-1296.
15. Mina, O.N. (2025d). Investigations ethnobotaniques des plantes utilisées dans le traitement traditionnel des dermatoses au sein de la communauté Massa de Guélendeng, dans la province de Mayo-Kebbi Est (Tchad), Revue RMReS – Série Pharmacopée et Médecine Traditionnelle Africaines ; 24(2) : 1-13. ISSN 2630-1296.
16. Odoh, A.E., Kanga, Y.F., Yayal, F., & Fofié, Y. (2024). Enquête ethnobotanique sur les plantes antidiabétiques vendues sur quelques marchés du district autonome d'Abidjan (Côte d'ivoire). Revue RAMReS – Série Pharmacopée et médecine traditionnelle africaines, 23(2): 45-57. ISSN 2630-1296.
17. PDP (2023). Plan de développement provincial (PDP) 2023-2027 du Moyen Chari, République du Tchad, UNICEF pour chaque enfant. 192 p.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

18. Salhi, S., Fadli, M., Zidane, L., & Douira, A. (2010). Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). Lazaroa 31 : 133-146, 5209/rev_LAZA. v31.9 ISSN : 0210-9778.
19. Sani, A.N., Kawu, U.M., & Bako, G.I. (2019). Effects of Launaea taraxacifolia and resveratrol on milk yield and serum prolactin and oxytocin levels: a lactogenic study. International Journal of Veterinary Science and Medicine, 7(1): 71-77. doi 10.1080/23144599.2019.1694307.
20. Sakanaka, S., Tachibana, Y., & Okada, Y. (2005). Preparation and antioxidant properties of extracts of Japanese green tea. Food Chemistry, 89(2) : 227-234 https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.024.
21. Sokol, E., Aguayo, V.M., & Clark, D. (2007). Protéger l'allaitement maternel en Afrique de l'Ouest et du centre. 25 années d'application du Code International sur la Commercialisation des Substituts du lait Maternel. Dakar ? Unicef - Bureau Régional pour l'Afrique de l'Ouest et du Centre?; 44 p. [Visité le 21/05/2026]. En ligne?: http://www.unicef.org/wcaro/WCAR_Proteger_allaitement_maternel__Code_commercialisation_Fr.pdf.
22. UNICEF (2024). Le pari réussi de l'allaitement maternel exclusif. https://www.unicef.org/chad/fr/recits/le-pari-rC3A9ussi-de-lallaitement-maternel-exclusif. Consulté le 21/01/2026.
23. Yaya, M. (2014). Protocole de screening phytochimique, fascicule des travaux pratiques sur les extractions et caractérisations des métabolites secondaires. Département de Chimie Université de Ndjamena, Faculté de Sciences Exactes de Farcha, République du Tchad.3p.

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Caractères botaniques et physicochimiques d'une plante antidiabétique : *Gymnema sylvestre* (Retz.) R.Br. ex Sm. (Apocynaceae)

Mamadou Lamine Diarra
Adama Dénou
Adiaratou Togola
Faculté de Pharmacie, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako, Mali

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p124

Submitted: 11 June 2026
Accepted: 28 July 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Diarra, M.L., Dénou, A., & Togola, A. (2026). *Caractères botaniques et physicochimiques d'une plante antidiabétique : Gymnema sylvestre (Retz.) R.Br. ex Sm. (Apocynaceae).* European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 124.
https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p124

Résumé

Le diabète désigne un groupe de maladies métaboliques hétérogènes caractérisées par un état d'hyperglycémie chronique. Au Mali, il constitue un problème de santé publique. La présente étude avait comme objectif de déterminer les caractères botaniques et physicochimiques de *Gymnema sylvestre*, utilisé pour la prise en charge traditionnelle du diabète. Le matériel végétal était constitué des rameaux feuillés de *Gymnema sylvestre*, récoltés à Bamako et Ségou (Mali). La méthode utilisée était la détermination de l'identité botanique (macroscopique, organoleptique et microscopique) et des paramètres physicochimiques de ces rameaux feuillés grâce aux méthodes des pharmacopées. Les feuilles de *Gymnema sylvestre* sont opposées simples et entières. Les poudres des rameaux feuillés étaient vert-jaunâtres, de saveur peu amère piquante, anesthésiante du goût sucré. Des xylèmes spiralés à ponctués, fibres, fragments d'épiderme avec stomates et poils tecteurs uni et bicellulaire figuraient dans les éléments microscopiques. Les données physicochimiques ont montré des teneurs en eau inférieure à 10% et des substances extractibles par l'eau à 21 % ; en plus de la présence de coumarines, oses et holosides, mucilages, saponosides, tanins, stérols et triterpènes. Ces

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

données serviront au contrôle de qualité de *Gymnema sylvestre*, pour la mise au point d'un médicament traditionnel amélioré antidiabétique.

Mots-clés: *Gymnema sylvestre*, poils tecteurs, phytoconstituants, diabète

Botanical and Physicochemical Characters of an Antidiabetic Plant : *Gymnema sylvestre* (Retz.) R.Br. ex Sm. (Apocynaceae)

Mamadou Lamine Diarra
Adama Dénou
Adiaratou Togola
Faculty of Pharmacy, University of Science, Engineering and Technology, Bamako, Mali

Abstract

Diabetes refers to a group of heterogeneous metabolic diseases characterized by a state of chronic hyperglycemia. In Mali, it constitutes a public health problem. The study aimed to determine the botanical and physicochemical characters of *Gymnema sylvestre*, a plant used in the traditional management of diabetes. The plant material consisted of *Gymnema sylvestre* leafy branches harvested in Bamako and Ségou (Mali). The method involved the determination of the botanical identity (macroscopic, organoleptic, and microscopic features) and physicochemical parameters of these leafy branches using pharmacopoeial methods. The leaves of *Gymnema sylvestre* are arranged in opposites pairs, simple and entire. The powdered leafy branches were yellowish-green with a slightly bitter and pungent flavor, which suppressed the perception of sweetness. Microscopic analysis revealed spiral and pitted xylem vessels, fibers, epidermal fragments with stomata, and unicellular and bicellular covering trichomes. Physicochemical data showed a moisture content less than 10% and water-extractive values of 21%; the analysis also revealed the presence of coumarins, monosaccharides and oligosaccharides, mucilages, saponins, tannins, sterols, and triterpenes. These data will be useful in the quality control of *Gymnema sylvestre* for the development of an improved traditional antidiabetic medicine.

Keywords: *Gymnema sylvestre*, covering trichomes, phytoconstituents, diabetes

Introduction

Le terme « diabète » désigne un groupe de maladies métaboliques hétérogènes caractérisées par un état d'hyperglycémie chronique (Monnier,

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

2019). Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), le diabète sera la 7ème cause de décès dans le monde en 2030 (OMS, 2018).

Au Mali, les patients atteints de diabète sucré ne sont pas uniquement issus des classes aisées, mais sont répartis dans les différentes couches socioéconomiques (Sidibé et *al.*, 2007). En Afrique, jusqu'à 80 % de la population utilise la médecine traditionnelle pour ses besoins de soins de santé. Cet usage est souvent attribuable à son accessibilité et à son cout abordable (OMS, 2002). Dans le souci de mettre à la disposition de la population, des médicaments traditionnels améliorés antidiabétiques à base de plantes, l'Institut National de Recherche sur la Médecine et la Pharmacopée Traditionnelles (INRMPT) en collaboration avec des partenaires, a effectué de nombreux travaux. La présente étude s'inscrivait dans le cadre de la valorisation de la médecine traditionnelle avec comme objectif de contrôler la qualité de *Gymnema sylvestre*.

Matériel et méthodes

Matériel

Le matériel végétal était constitué des rameaux feuillés de *Gymnema sylvestre*, récoltés à Bamako et Ségou en février 2019. Les autres matériels étaient constitués de réactifs et ceux de routine du laboratoire de phytochimie de l'INRMPT.

Méthodes

Les méthodes utilisées ont consisté à déterminer la qualité botanique et physicochimique des rameaux feuillés de *Gymnema sylvestre*. L'identité botanique macroscopique a été déterminée par Monsieur DEMBELE, responsable du service ethnobotanique et matières premières de l'INRMPT en utilisant le livre d'Arbonnier (Arbres, Arbustes et Lianes des Zones Sèches d'Afrique de l'Ouest) édition 2009. Les échantillons ont été séchés pendant deux semaines dans une salle aérée puis pulvérisés dans un mortier à l'aide d'un pilon. Les éléments de qualité botanique portaient sur les caractères macroscopique, organoleptique et microscopique de la poudre des rameaux feuillés. Les éléments physicochimiques déterminés étaient les teneurs, les substances extractibles et les constituants chimiques.

Détermination de la qualité botanique

- **Caractères macroscopiques des rameaux feuillés**

Nous avons décrit la morphologie et mesuré les dimensions du rameau feuillé à l'état frais.

- **Caractères organoleptiques de la poudre des rameaux feuillés**

Elle a porté sur la description de la couleur, la saveur et l'odeur de la poudre des rameaux feuillés.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

La couleur a été déterminée en comparant une petite quantité de poudre aux couleurs du dictionnaire de couleurs (www.code-couleur.com/dictionnaire/couleur-r.html). La saveur a été déterminée en déposant une petite quantité de poudre sur la langue et garder pendant quelques secondes puis le goût a été apprécié (amer, salé, sucré ou acide).

L'odeur a été déterminée en approchant aux narines une petite quantité de la poudre entre le pouce et l'index pour savoir si elle caractéristique ou non.

- **Caractères microscopiques de la poudre des rameaux feuillés :**

Une petite quantité de la poudre prélevée à l'aide d'une spatule et mise dans un verre de montre, a été triturée avec le réactif de Gadzet du Chatelier. Une petite quantité de ce mélange a été montée sur une lame recouverte par une lamelle. Après un appui léger pour homogénéiser la préparation, les bavures ont été absorbées à l'aide d'un papier buvard. Ensuite l'examen a été réalisé avec l'objectif 40 du microscope et les éléments microscopiques ont été photographiés avec un téléphone SAMSUNG J6.

Détermination de la qualité physicochimique

➢ Dosage des paramètres physicochimiques

L'analyse a porté sur les teneurs en eau, cendres totales, cendres insolubles dans l'acide chlorhydrique, substances extractibles par l'eau et par l'éthanol.

➢ La teneur en eau

Elle est déterminée par la méthode pondérale en évaluant la perte de poids de la prise d'essai par dessiccation à l'étuve après 24 heures. Une quantité de 2 à 3 g de poudre dans un verre de montre préalablement taré, a été placée dans l'étuve à 105 ± 2 °C pendant 24 heures et la perte en poids a ensuite été déterminée. Le pourcentage en eau a été déterminé par la formule suivante :

$$\% \text{ en eau} = \frac{\text{Masse eau}}{\text{Masse prise d'essai}} \text{ x } 100$$

➢ Les cendres totales

Trois prises d'essai de la poudre utilisée pour la teneur en eau ont été pesées dans 2 creusets en porcelaine préalablement tarés. Après incinération au four à une température d'environ 600 °C pendant 6 heures, et refroidis dans un dessiccateur, les masses des creusets contenant les cendres ont été déterminées. Le pourcentage des cendres totales est calculé par la formule suivante :

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

$$\% \text{ Cendres totales } = \frac{\text{Mct}}{\text{Mpe}} \text{ x } 100$$

Mct : masse cendres totales ; Mpe : masse prise d'essai

➢ **Les cendres insolubles dans l'acide chlorhydriques à 10 %**

Ces cendres sont obtenues à partir de l'action de l'acide chlorhydrique dilué à 10 % sur les cendres totales et par calcination dans le four réglé à 600 °C pour une calcination pendant 6 h. La teneur en cendres insolubles dans l'acide chlorhydrique a été calculée selon la formule suivante :

Teneur cendres insolubles dans HCl 10% (%)

$$\% \text{ Cc } = \frac{\text{MCc}}{\text{SMpe}} \text{ x } 100$$

Cc : cendres insolubles dans HCl ; MCc : masse cendres insolubles dans HCl ; SMpe : somme de la masse des prises d'essai

➢ **Les substances extractibles par l'eau et l'éthanol à 70 %**

Elles sont déterminées à partir de 1 g de la poudre avec 20 ml du solvant. Après filtration, le filtrat a été évaporé à sec dans un creuset préalablement taré. Le pourcentage de substances extractibles a été calculé par la formule :

$$\% \text{ substances extractibles } = (M_2 - M_1) \text{ x } 100$$

M_2 : masse de l'extrait ; M_1 : masse du creuset

Les solvants utilisés étaient l'eau après une décoction (5 %) de 15 minutes et l'éthanol à 70 % après une macération de 24 heures.

➢ Caractérisation des constituants chimiques

Les constituants chimiques des extraits ont été caractérisés par les réactions de colorations et de précipitation en tube et par chromatographie sur couche mince (CCM).

Réactions colorées et de précipitation en tube

Les réactifs de caractérisation classique ont été utilisés pour mettre en évidence les groupes chimiques suivants : alcaloïdes (réactif de Dragendorff), anthracénosides (réaction de Bornträger), polyphénols et tannins (chlorure ferrique), flavonoïdes (réaction de la Cyanidine), stérols et terpènes (réaction de Lieberman), saponosides (présence de mousse persistance, indice de mousse) etc. Les résultats positifs sont exprimés par +.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Chromatographie sur couche mince

Solutions à analyser

Nous avons dissous 10 mg des extraits dans 1 mL du mélange méthanol-eau (1-1).

Les systèmes de solvant

La migration s'est faite dans le système de solvant suivant :
Butanol-Acide acétique- Eau (B.A.W) (60 :15 :25)

Dépôt

L'échantillon (10 microlitres) est déposé à l'aide d'une micropipette en appuyant légèrement et brièvement l'extrémité de la pipette sur la couche d'adsorbant en prenant soin de ne pas la détériorer. Les solutions ont été déposées sous forme de point distant de 1,5 cm les uns des autres et situées à environ 1 cm de la partie inférieure de la plaque. Chaque dépôt a été séché à l'aide d'un séchoir.

Révélation

Les révélations ont été faites avec le $FeCl_3$ et le Godin.

Résultats

Données botaniques

➢ Caractères macroscopiques des feuilles

Les feuilles de *Gymnema sylvestre* sont opposées simples et entières avec un pétiole de 1,8 cm en moyenne et d'un limbe de 6,2 cm sur 3,6 cm en moyenne.

➢ Caractères organoleptiques

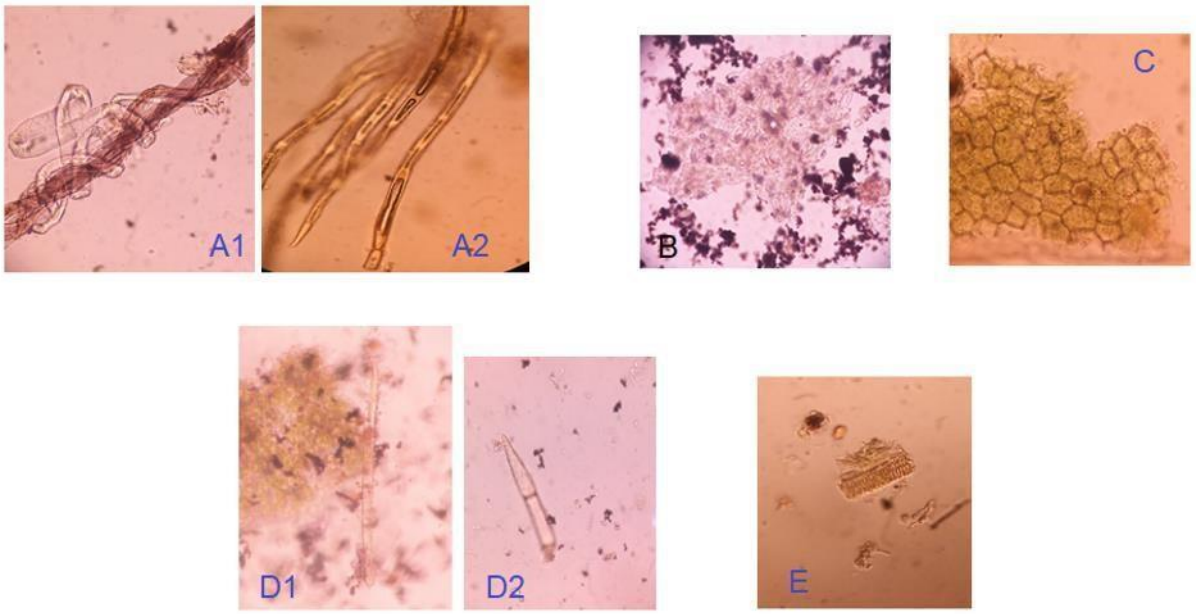
Les poudres des rameaux feuillés sont vert avocat-jaunâtres (#568203 ; #FFFF00 de codes), sans odeur, de saveur peu amère piquante, astringente et anesthésiante du goût sucré.

➢ Caractères microscopiques

L'examen microscopique a révélé la présence des éléments suivants : Fibres, fragment d'épiderme avec stomate, parenchymes, poils tecteurs uni et bicellulaire, xylèmes spiralés à ponctués (Figure 1).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Figure 1 : Éléments microscopiques de la poudre des rameaux feuillés de *Gymnema sylvestre*



Fibres (A1 : fibre simple, A2 fibre contenant cristaux d'oxalate de calcium) ; fragment d'épiderme avec stomate (B) ; parenchyme (C) ; poils tecteurs (D1 unicellulaire, D2 bicellulaire) ; xylèmes spiralés à ponctués (E) (Niamassoumou, 2020)

Données phytochimiques

➢ Les teneurs et les substances extractibles

Les résultats des teneurs et substances extractibles des rameaux feuillés de Gymnema sylvestre sont résumés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Teneurs et substances extractibles des rameaux feuillés de *Gymnema sylvestre*

Dosage	Pourcentage
Teneur en eau	7,75
Teneur en cendres totales	8,76
Teneur en cendres chlorhydriques à 10 %	2,5
Substances extractibles par l'eau	21
Substances extractibles par l'éthanol 70%	17

La teneur en eau était inférieure à 10 %.
Les substances étaient plus extraites par l'eau.

Caractérisation des constituants chimiques

➢ Réactions en tube

Les constituants chimiques caractérisés par les réactions colorées et de précipitation en tube sont reportés dans le Tableau 2.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Tableau 2 : Résultats des réactions de caractérisations en tube réalisées sur les rameaux feuillés de *Gymnema sylvestre*

Groupe chimique	Résultats
Coumarine	+
Flavonoïdes	-
Hétéroside cardiotonique	-
Ose et Holoside	+
Polyuronides (mucilage)	+
Saponosides (IM)	+ (1000)
Stérol et triterpènes	+
Tanins	+

Chromatographie sur couche mince

Les constituants chimiques caractérisés par la chromatographie sur couche mince sont reportés dans le Tableaux 3.

Tableau 3 : Données chromatographiques des extraits des rameaux feuillés de *Gymnema sylvestre* révélés avec le $FeCl_3$ et le Godin

Extraits	Rf	Uv 254	Uv 366	**$FeCl_3$**	Godin
Décoction	0,19	Vis	Bleu claire	-	Vert
	0,25	Vis	-	Noir	Noir
	0,48	Vis	-	-	Jaune claire
	0,55	Vis	-	-	Jaune claire
	0,89	Vis	Rouge	-	-
	0,94	Vis	Rouge	-	Violet
Infusion	0,25	Vis	Bleu claire	Noir	Noir
	0,46	Vis	-	-	Jaune claire
	0,54	Vis	-	-	Jaune claire
	0,88	Vis	Rouge	-	-
	0.94	Vis	Rouge	-	Violet
Macération Eau	0.25	Vis	Bleu claire	Noir	Noir
	0.43	Vis	Bleu claire	-	Rouge
	0.50	Vis	-	-	-
	0.60	Vis	Bleu claire	-	-
	0.78	-	-	-	-
	0.91	Vis	Rouge	-	Violet
	0.96	Vis	Rouge	-	-
Macération Ether	0.25	Vis	Bleu claire	Noir	Noir
	0.43	Vis	Bleu claire	-	Rouge
	0.50	Vis	-	-	-
	0.59	Vis	-	-	-
	0.93	Vis	Rouge	Noir	Violet

La présence de taches noirâtres obtenues après révélation avec le $FeCl_3$ pourrait correspondre aux tanins. Des colorations violettes, verdâtres, rouges et jaunes après révélation du chromatogramme par le réactif de Godin pourraient indiquer respectivement la présence des composés à génines triterpéniques, stéroïdiques, des tanins et des flavonoïdes.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Discussion

La description de feuilles simples, entières et opposées, obtenue avec *Gymnema sylvestre* est similaire à celle de Prota et César (Prota ; César et *al*., 2024), ce qui confirme l'identité botanique macroscopique de nos échantillons. Les poudres de rameaux feuillés étaient de saveur peu amère, piquante, astringente et anesthésiante du goût sucré. Saneja avait décrit les mêmes caractères organoleptiques (Saneja et *al*., 2010). L'inhibition du goût sucré serait dû à l'acide gymnemique (Triveni et *al*., 2012). De mêmes éléments microscopiques des poudres de rameaux feuillés avaient été décrits par Saneja, qui avait aussi trouvé des cristaux d'oxalate de calcium (Saneja et *al*., 2010). Ces similarités s'expliquent par le fait que la morphologie des plantes ne varie pas significativement avec les lieux des récoltes et les techniques agricoles (Diarra et *al*., 2019). En ce qui concerne les résultats phytochimiques, nos échantillons étaient bien séchés (teneur en eau inférieure à 10 %). Ceci permet d'éviter les réactions d'oxydation, de fermentation et le développement des moisissures qui sont des phénomènes pouvant altérer la qualité du principe actif lors de la conservation pendant une longue période (Boutefnouchet, 2017). Les résultats des cendres totales (8,76 %) et des cendres chlorhydriques (2,5 %) montrent que nos échantillons ont été bien séchés à l'abri des impuretés. D'autres auteurs ont eu des valeurs proches des cendres totales et chlorhydriques (Saneja et *al*., 2010 ; Triveni et *al*., 2012). Le meilleur rendement de nos extractions a été obtenu avec l'eau par décoction (21 %). Ceci pourra confirmer le choix de la décoction comme la principale méthode de préparation utilisée par nos tradipraticiens de santé. Ce résultat est aussi conforme à celui de Fazal (Fazal et *al*., 2011).

Le criblage phytochimique a révélé la présence des saponosides, des tanins, des stérols et triterpènes, des coumarines, des oses et holosides. Ce résultat est similaire à celui d'Aslam et Hussain (Aslam et Hussain, 2021). Les groupes chimiques responsables de l'activité antidiabétique comprenaient des glycosides, des stéroïdes, des triterpénoïdes (Spasov et *al*., 2008 ; Houcine et *al*., 2011). Leur présence explique l'utilisation de *Gymnema* dans la prise en charge du diabète.

Conclusion

Les données botaniques et physicochimiques obtenues lors de cette étude, peuvent servir à la formulation d'un nouveau Médicament Traditionnel Amélioré (MTA) à base de rameaux feuillés de *Gymnema sylvestre* contre le diabète.

Contributions des auteurs : MLD a conçu, conduit l'étude et participé à la rédaction de l'article. AD et AT ont participé à la relecture de l'article.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Remerciements : Les auteurs remercient le personnel de l'Institut National de Recherche sur la Médecine et la Pharmacopée Traditionnelles.

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. Arbonnier M. (2009). Arbres, Arbustes et Lianes des Zones Sèches d'Afrique de l'Ouest (3ième éd.). Quae : Paris, p. 573.
2. Aslam BILAL. & Hussain ASIF. (2021). Phytochemical characterization and solvent fraction depending in vitro anti-oxidant activities of Cassia absus, Gymnema sylvestre, Nigella sativa and Piper nigrum. *Rev Chim, 72*(2), 38-49.
3. Boutefnouchet S. 2017. Introduction à la phytochimie, Méthodes innovantes d'extraction, de purification et d'identification de composés (de réplication). UE-Faculté de Pharmacie, Université Paris Descartes, Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, 63p.
4. César J., Chatelain C., Schmidt M., Zizka G., Nacoulma BMI., Diarra ML., ... & Spichiger R. (2024). Flore illustrée du Burkina Faso et du Mali (volume 2). Senckenberg : Frankfurt, p. 1062.
5. Diarra ML., Dembele SM., Dénou A., Haïdara M., Ballo N., ... & Noba K. (2019). Botanical control of cultivated plants of Lippia chevalieri Moldenke (Verbenaceae). African Journal of Agricultural Research, 14(32), 1532-1536.
6. Fazal H., Ahmad N. & Khan MA. (2011). Physicochemical, phytochemical evaluation and DPPH-scavenging antioxidant potential in medicinal plants used for herbal formulation in Pakistan. Pak J Bot, 43(SI), 63-67.
7. Houcine B., Rachid A., Rabah D., Farid L., Nabila B. & Boufeldja T. (2011). Effect of saponosides crude extract isolated from Citrullus Colocynthis (L.) seeds on blood glucose level in normal and streptozotocin induced diabetic rats. Journal of Medicinal Plants Research, 5(31), 6864-6868.
8. Monnier L. (2019). Diabétologie. 3e Edition. Paris, Elsevier Masson.
9. Niamassoumou M. (2020). *Etude phytomique et de l'activité antiradicalaire de gymnema sylvestre (RETZ.), schultz*

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

asclepiadaceae, utilisée dans le traitement traditionnel du diabète au mali (Doctoral dissertation, USTTB).

10. OMS (2018). Le diabète repéré de www.who.int/fr/newsroom/factsheets/detail/diabète.
11. Prota.https://prota.prota4u.org/protav8.asp?h=M4&t=Gymnema,sylvestre&p=Gymnema+sylvestre#Synonyms
12. Saneja A., Sharma C., Aneja KR. & Pahwa R. (2010). Gymnema sylvestre (Gurmar): A review. Der Pharmacia Lettre, 2(1), 275-284.
13. Sidibé AT. Besançon S. & Beran D. (2007). Le diabète : un nouvel enjeu de santé publique pour les pays en voie de développement, l'exemple du Mali. Médecine des maladies Métaboliques, 1(1), 9398.
14. Spasov AA., Samokhina MP. & Bulanov AE. (2008). Antidiabetic properties of Gymnema sylvestre (a review). Pharmaceutical Chemistry Journal, 42(11), 626.
15. Sugihara Y., Nojima H., Matsuda H., Murakami T., Yoshikawa M. & Kimura I. (2000). Antihyperglycemic effects of gymnemic acid IV, a compound derived from Gymnema sylvestre leaves in streptozotocindiabetic mice. Journal of Asian natural products research, 2(4), 321327.
16. Triveni KB., Lakshmi VK., Shashidhara S. & Anitha S. (2012).
17. Gymnema Sylvestre: une revue complète. Pharma Science Monitor, 3 (4).
18. World Health Organization. (2002). Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2002-2005 (No. WHO/EDM/TRM/2002.1). Genève: Organisation mondiale de la Santé.
19. www.code-couleur.com/dictionnaire/couleur-r.html (consulté le 10/06/2019).

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Structure démographique et dynamique de la population du cobe de Buffon (*Kobus kob kob*, Erxleben, 1777) dans la Forêt classée et ranch de gibier de Nazinga au Burkina Faso

Tiendrebeogo Faïdal Ben Sidy Kevin
Laboratoire de Bioressources, Agrosystèmes et Santé Environnementale, Institut de Développement Rural, Université Nazi BONI, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
Dibloni Ollo Théophile
Département de l'Environnement et Foresterie (DEF), Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles (INERA), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique du Burkina Faso (CNRST), Burkina Faso
Konate Sidiki Roland
Laboratoire de Biologie et Ecologie Animales, UFR/SVT, Université Joseph Ky Zerbo, Burkina Faso
Hien Mipro
Laboratoire de Bioressources, Agrosystèmes et Santé Environnementale, Institut de Développement Rural, Université Nazi BONI, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p135

Submitted: 01 June 2026
Accepted: 08 August 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Tiendrebeogo, F.B.S.K., Dibloni, O.T., Konate, S.R., & Hien, M. (2026). *Structure démographique et dynamique de la population du cobe de Buffon (Kobus kob kob, Erxleben, 1777) dans la Forêt classée et ranch de gibier de Nazinga au Burkina Faso*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 135. https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p135

Résumé

Cette étude a pour objectif de déterminer l'abondance et la dynamique de la population de *Kobus kob kob* dans la Forêt classée et ranch de gibier de Nazinga (FCRGN). L'approche méthodologique utilisée se base sur un inventaire pédestre par quadrat (quadrat sampling) et l'exploitation de données issues des séries d'inventaires par transects linéaires (line transect sampling) réalisés de 2006 à 2023 à la FCRGN. Les résultats révèlent une forte variabilité interannuelle des densités, oscillant entre 0,64 ind./km² en 2006 et 0,03

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

ind./km² en 2023, traduisant une tendance significative à la régression (tests de Mann-Kendall, Spearman et Kendall, $p < 0,01$). L'effectif moyen en 2024 est estimé à 42 individus (IC 95%, 26-68), concentrés sur 16% de la superficie du ranch. La structure démographique est dominée par les adultes (75%), avec un faible recrutement juvénile (8%). L'indice de dispersion de Morisita (Ip ≈ 0,03) indique une distribution agrégative mais très proche de l'aléatoire, reflet d'une population réduite et peu agrégée. Globalement, la dynamique montre un taux annuel moyen de régression de -15% sur la période 2006-2023. Ces résultats soulignent la vulnérabilité de la population et la nécessité d'actions de gestion renforcées pour prévenir une extinction locale.

Mots-clés: Burkina Faso, Nazinga, Densité, Dynamique, *Kobus kob kob*

Demographic Structure and Population Dynamics of the Buffon's kob (*Kobus kob kob*, Erxleben, 1777) in the Nazinga Classified Forest and Game Ranch, Burkina Faso

Tiendrebeogo Faïdal Ben Sidy Kevin
Laboratory of Bioresources, Agrosystems and Environmental Health, Institute of Rural Development, Nazi BONI University, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
Dibloni Ollo Théophile
Department of the Environment and Forestry (DEF), Institute of the Environment and Agricultural Research (INERA), National Centre for Scientific and Technological Research of Burkina Faso (CNRST), Burkina Faso
Konate Sidiki Roland
Laboratory of Animal Biology and Ecology, Faculty of Life and Earth Sciences, Joseph Ky Zerbo University, Burkina Faso
Hien Mipro
Laboratory of Bioresources, Agrosystems and Environmental Health, Institute of Rural Development, Nazi BONI University, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Abstract

This study assesses the abundance and population dynamics of *Kobus kob kob* in the Nazinga Classified Forest and Game Ranch. The analysis was based on a quadrat-based foot survey and line transect monitoring data collected between 2006 and 2023. The results reveal strong interannual variability in densities, fluctuating between 0.64 ind./km² in 2006 and 0.03

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

ind./km² in 2023, reflecting a significant downward trend (Mann-Kendall, Spearman, and Kendall tests, $p < 0.01$). The population size in 2024 is estimated at an average of 42 individuals (95% CI, 26-68), concentrated within 16% of the ranch's total area. The demographic structure is dominated by adults (75%), with low juvenile recruitment (8%). Morisita's index ($Ip \approx 0.03$) indicates a distribution that was aggregated, but close to random, reflecting a small and poorly aggregated population. Overall, the population trends indicate a mean annual regression rate of -15% over the 2006-2023 period. These findings highlight the vulnerability of the population and underscore the need for strengthening management measures to prevent local extinction.

Keywords: Burkina Faso, Nazinga, Density, Dynamics, *Kobus kob kob*

Introduction

La conservation des grands herbivores sahéliens constitue un enjeu majeur pour la durabilité des écosystèmes et la valorisation des aires protégées en Afrique de l'Ouest (Hibert, 2007). Ces espèces jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement écologique, la régulation des paysages et le maintien des services écosystémiques.

La Forêt classée et ranch de gibier de Nazinga (FCRGN) constitue l'un des piliers de la conservation de la biodiversité en zone soudanienne d'Afrique de l'Ouest (Bouché, 2012). Ce complexe constitue un réservoir de biodiversité et un modèle de gestion intégrée de la faune. Au sein de cet écosystème, le cobe de Buffon (*Kobus kob kob*) se distingue à la fois comme une espèce emblématique et comme un indicateur de la santé écologique du milieu.

Cependant, à l'instar de nombreuses populations d'ongulés moyens dans la région, cette espèce fait face à des pressions croissantes. Des études régionales documentent un déclin marqué des populations de cobes de Buffon, souvent lié à la fragmentation des habitats et à une pression cynégétique insoutenable (Taïga et al., 2021 ; Dimobe et al., 2017). À la FCRGN, bien que des suivis aient été instaurés durant plusieurs décennies (Cornélis, 2000), les tendances récentes indiquent une fragilisation de la structure démographique du cobe de Buffon. Les inventaires passés ont montré une distribution de plus en plus hétérogène et un repli des individus vers des zones de refuge, preuve d'une réponse adaptative aux perturbations anthropiques (Hema et al., 2011 ; Marchal et al., 2012).

Ce constat est d'autant plus préoccupant que des signes de sénescence de la population (caractérisés par un faible taux de recrutement des juvéniles) ont été observés, rappelant les trajectoires d'extinction locale notées dans d'autres aires protégées comme le parc national de la Comoé (Fischer et Linsenmair, 2001).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Dans ce contexte, il devient impératif d'actualiser les connaissances sur les paramètres de la dynamique de cette population. Cette étude vise à fournir un diagnostic actualisé de l'état de la population, à identifier les tendances évolutives et à mettre en évidence les facteurs de fragilité démographique du cobe de Buffon au sein de la FCRGN.

Présentation de la zone d'étude

L'espace géographique retenu pour cette étude est la Forêt classée et ranch de gibier de Nazinga (Figure 1). Elle est située au sud du Burkina Faso, entre 11° 01' et 11° 18' de latitude nord et entre 1° 18' et 1° 43' de longitude ouest. Première initiative en Afrique francophone depuis 1979, la FCRGN constitue un pôle de conservation de la diversité biologique reconnu au niveau mondial et largement médiatisé (Fournier, 1987). Selon Lungren (2003), initiateur de ce ranch, le but visé est de promouvoir une gestion durable des ressources naturelles et d'optimiser la production des bénéfices socio-économiques au profit des populations locales.

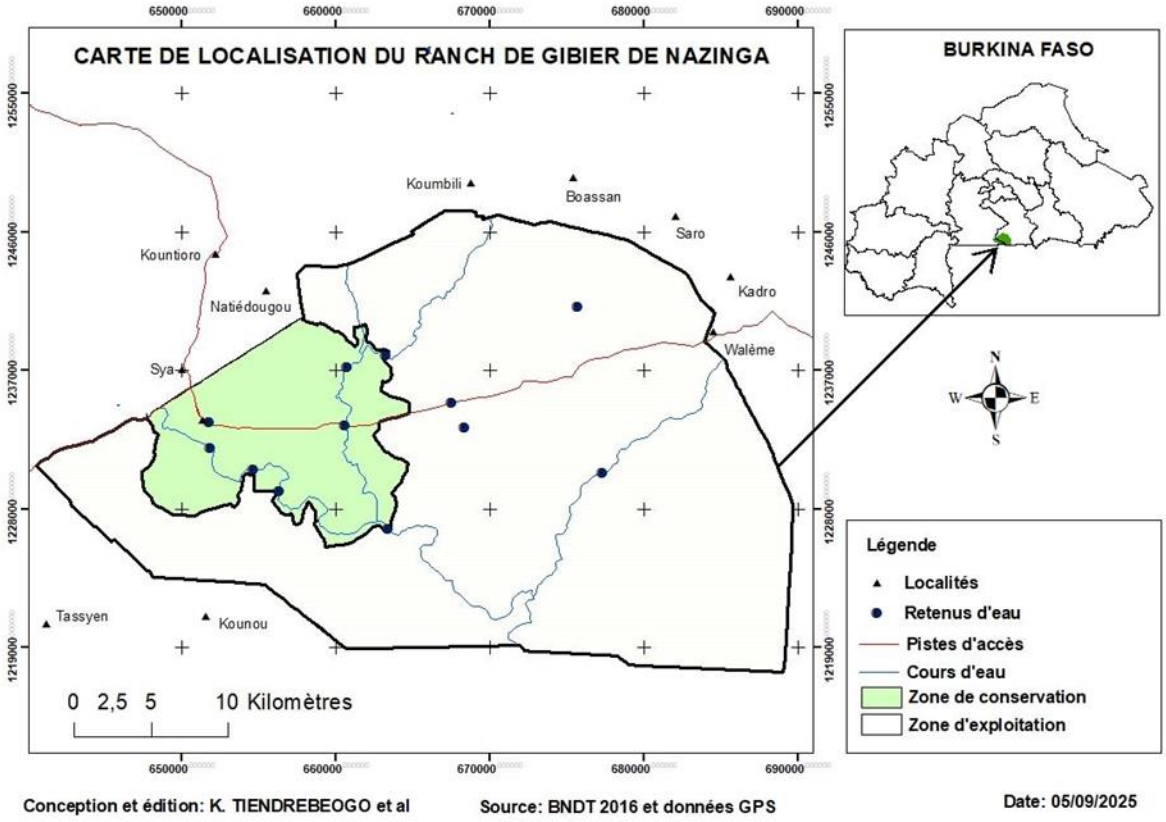


Figure 1 : Carte de localisation de la Forêt classée et Ranch de Gibier de Nazinga

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Selon les travaux de Ndecky (2002), on dénombre à la FCRGN, une douzaine d'ongulés, dont le cobe de Buffon. On y trouve également des espèces emblématiques comme l'éléphant et l'oryctérope. La diversité aviaire est tout aussi impressionnante, avec plus de 280 espèces d'oiseaux.

Présentation du cobe de Buffon

Le cobe de Buffon (*Kobus kob kob*) est une antilope moyenne de la famille des Bovidés et de la sous-famille des Reduncinae. Robuste et élégant, il présente un dos rectiligne et une robe allant du fauve jaunâtre au rougeâtre, plus claire sur le ventre (Figure 2). Son pelage est court et luisant (Lamarque, 2004). Les mâles portent de fortes cornes annelées en forme de S, absentes chez les femelles (Dorst et Dandelot, 1976). Herbivore, le cobe de Buffon se nourrit surtout d'herbes courtes et reste dépendant des points d'eau permanents. Il fréquente les plaines inondables et les savanes boisées ouvertes (de Bie, 1991). Sa répartition s'étend du Sénégal au Sud-Soudan, incluant l'Ouganda, l'Ouest du Kenya, l'Est du Rwanda et le Nord de la République démocratique du Congo (Alden et al., 2001). Au Burkina Faso, elle est signalée dans cinq zones : Comoé-Léraba, Est, Nazinon-Sissili, Tuy-Mouhoun et Bougouriba (PNGFAP, 2007).



Figure 2 : Cobe de Buffon mâle (Direction de la faune et des ressources cynégétique Burkina Faso)

Méthodologie

Périodes et sources de données

La présente étude s'appuie sur deux sources de données distinctes, couvrant des périodes différentes. D'une part, les données des inventaires

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

pédestres par transects linéaires (line transect sampling), réalisés annuellement entre 2006 et 2023 ont constitué la série chronologique utilisée pour l'analyse des tendances démographiques. D'autre part, un dénombrement par quadrat (quadrat sampling), méthodologiquement distinct de la série issue des transects linéaires a été conduit en 2024, dans le but d'estimer la probabilité de détection de l'espèce et de fournir une estimation de densité indépendante.

Exploitation des données d'inventaires fauniques par la méthode des transects linéaires

Pour analyser l'évolution de la population de cobes de Buffon ainsi que les variations de son abondance au fil du temps, cette étude s'est appuyée sur des données d'inventaires fauniques collectées à la FCRGN entre 2006 et 2023 par l'unité de gestion de Nazinga. Ces données sont issues d'une série d'inventaires réalisée selon la méthode des transects linéaires. Cette méthode repose sur un cadre probabiliste permettant le dénombrement des sujets immobiles ou en mouvement. Elle est également utilisée pour observer et quantifier les diverses pressions anthropiques s'exerçant sur les populations animales et leurs écosystèmes. En effet, un programme de suivi écologique pérenne a été instauré dès 1981 au sein de la Forêt classée et ranch de gibier de Nazinga (Bouché, 2012). Ce dispositif, documenté par Cornélis (2000) et Delvingt et Vermeulen (2007), repose sur la réalisation d'inventaires pédestres ciblant la grande faune mammalienne.

Le dispositif est subdivisé en 7 blocs de dénombrement dont les limites sont définies par le réseau de pistes, les frontières physiques du ranch et le réseau hydrographique. Dans chaque bloc, un réseau de transects systématiques est disposé avec des intervalles réguliers de 1,4 km entre les transects consécutifs. Au total, 79 transects couvrent l'ensemble des strates, représentant un effort d'échantillonnage linéaire cumulé de 691,811 km.

Inventaire du cobe de Buffon par quadrat sampling

Stratification de la zone d'étude

Bien que l'étude couvre l'intégralité de la FCRGN, une stratification de la zone a été opérée pour optimiser la précision des estimations. La stratification est définie comme la subdivision d'une population hétérogène en sous-populations ou « strates » plus homogènes, mutuellement exclusives et collectivement exhaustives (Cochran, 1977). Cette approche permet de réduire la variance globale de l'estimateur en capitalisant sur l'homogénéité intra-strate (Buckland et al., 2010 ; Habib, 2010).

Dans le cas de la présente étude, la stratification est justifiée par la forte hétérogénéité spatiale du cobe de Buffon, observée lors des inventaires pédestres réalisés entre 2006 et 2023. Comme le soulignent Buckland et al. (2001), l'utilisation d'informations « a priori » sur la densité et les préférences

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

d'habitat permet de concentrer l'effort d'échantillonnage là où la probabilité de détection est la plus élevée, améliorant ainsi la fiabilité des fonctions de détection (Petrovan et al., 2011).

Les inventaires continus ont montré que le cobe de Buffon n'est pas réparti uniformément sur l'ensemble de la FCRGN, sa présence étant concentrée dans la zone de conservation du ranch. Par conséquent, la prospection a été ciblée sur l'aire de répartition connue de l'espèce. Cette stratégie d'échantillonnage stratifié, basée sur des données de présence à long terme, est reconnue pour accroître la puissance statistique du suivi des populations de grands mammifères (Sutherland, 2006 ; El Alqamy, 2003).

Échantillonnage

Un protocole d'échantillonnage par quadrats (Figure 3) a été mis en place afin d'estimer l'abondance du cobe de Buffon. Cette méthode est particulièrement adaptée aux populations présentant une distribution agrégée au sein d'habitats spécifiques (Krebs, 1999). Les unités d'échantillonnage sont des quadrats carrés de 6,25 km², positionnés de manière systématique à partir d'un point d'ancrage situé dans une zone de forte concentration connue de l'espèce.

Le maillage respecte une équidistance de 2,5 km, pour un total de 19 quadrats couvrant l'aire de répartition effective identifiée. À l'intérieur de chaque quadrat, la prospection est réalisée par des transects linéaires parallèles espacés de 500 m, garantissant une couverture exhaustive et homogène de la végétation, ainsi qu'une probabilité de détection homogène (Buckland et al., 2001).

Afin de faciliter la collecte et l'analyse des données de terrain, l'ensemble des transects parallèles prospectés au sein des quadrats a été regroupé en unités de prospection dénommées « circuits ». Chaque circuit correspond à un ensemble de transects contigus parcourus par une même équipe au cours de la campagne de dénombrement, et constitue ainsi l'unité de référence utilisée pour le calcul des indices kilométriques d'abondance (IKA) linéaires. Cette subdivision en circuits permet de rendre compte des variations spatiales de densité à une échelle plus fine que celle du quadrat, tout en conservant une distance de prospection standardisée entre les transects.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

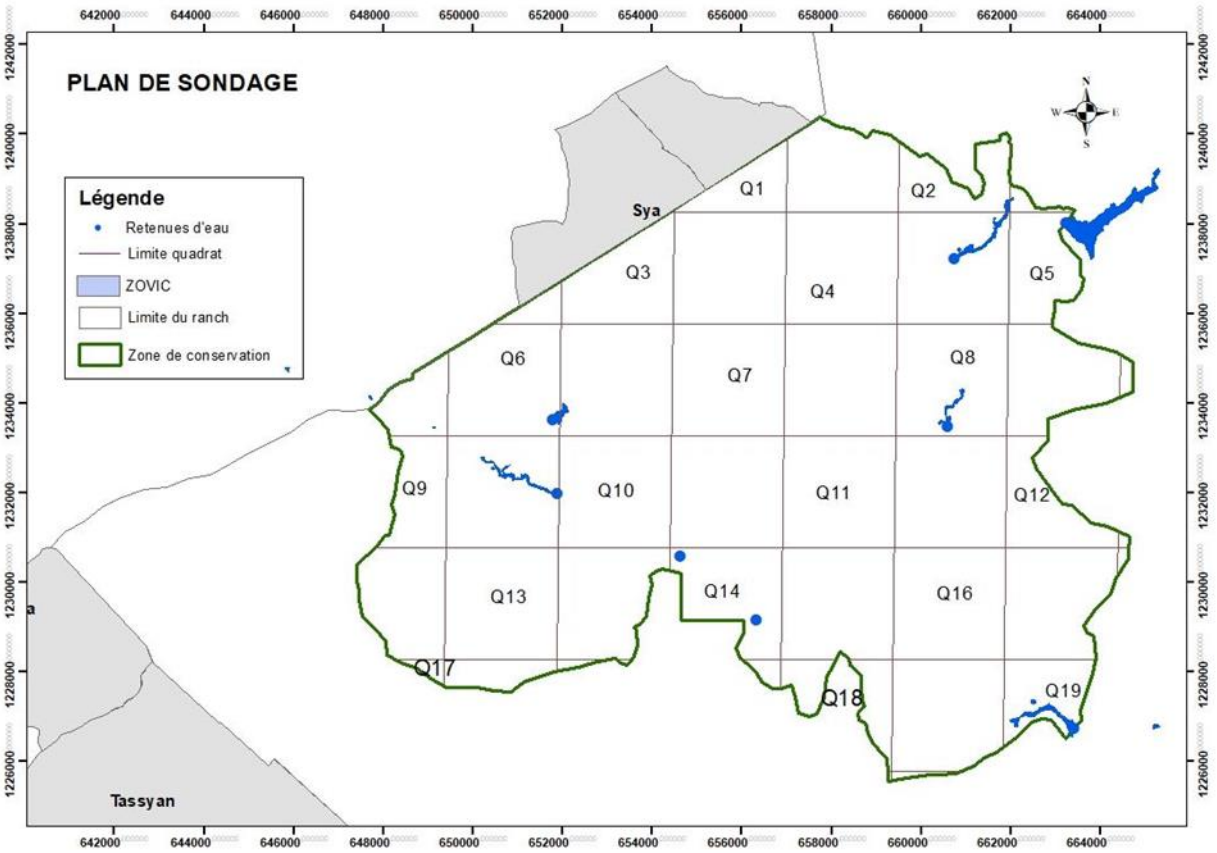


Figure 3: Plan de sondage

Collecte test

Bien que l'échantillonnage par quadrats repose classiquement sur l'hypothèse d'une détectabilité parfaite des individus présents (P = 1), cette supposition est rarement vérifiée lors d'inventaires de faune en milieu naturel (Seber, 1982 ; Buckland et al., 2010). Afin de corriger le biais lié à la non-détection, un protocole de comptages répétés a été mis en œuvre (MacKenzie, 2002 ; Royle, 2004). Cette approche hiérarchique permet de dissocier statistiquement le processus biologique (abondance réelle) du processus d'observation (probabilité de détection). Cinq (5) quadrats tests ont été échantillonnés, chacun faisant l'objet de trois passages indépendants réalisés dans des conditions environnementales similaires. Cette répétition fournit l'information statistique nécessaire pour dissocier le processus biologique du processus d'observation (Meehan, 2020).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Collecte des données proprement dite

Le dénombrement du cobe de Buffon s'est déroulé sur trois jours, du 18 au 20 mai 2024. Huit équipes de deux personnes ont été mobilisées, chacune était composée d'un chef d'équipe (cadre forestier et stagiaire) et d'un observateur (pisteur). Afin d'optimiser la probabilité de détection en fonction du rythme circadien de l'espèce, les prospections ont été programmées durant ses pics d'activités. Les comptages matinaux débutaient à l'aube (vers 06 h 00) et les sessions vespérales à partir de 16 h 00. La vitesse de progression pédestre a été standardisée à 3 km/h, identique au protocole de l'inventaire par transects linéaires.

Traitement et analyse des données

Données spatiales et statistiques

Le traitement des données a été limité par le faible nombre d'observations de *Kobus kob kob* lors des campagnes de dénombrement. Ces effectifs réduits n'ont pas permis d'atteindre les seuils de convergence requis pour une modélisation via des logiciels spécialisés d'estimation de l'abondance tels que « Distance ». Par conséquent, les analyses statistiques ont été conduites sous les environnements de calcul R et PAST.

Pour caractériser la distribution spatiale de l'espèce, les coordonnées géographiques des contacts recensés sur la période allant de 2006 à 2024 ont été intégrées dans un Système d'information géographique (SIG) via le logiciel ArcGIS 10.8. Cette approche a permis de cartographier avec précision les zones d'occurrence et de définir l'aire de répartition de la population au sein de la FCRGN.

Estimation de la probabilité de détection

La probabilité de détection (**P**) a été estimée en rapportant l'effectif moyen observé lors des comptages (**n**) à l'effectif moyen réel supposé (**N**). En l'absence de marquage individuel, l'effectif réel a été approximé par le maximum d'individus observés lors des trois passages (**nmax**), suivant le principe de la borne inférieure (ou bounded counts) qui stipule que le nombre réel est au moins égal au maximum détecté (Regier et Robson, 1967 ; Royle, 2004).

$$P = \frac{n}{N} \tag{1}$$

Calcul des densités

Calcul de densité du « Line transect sampling »

Pour convertir les observations du « line transect sampling» en valeurs de densité (**D**), nous avons appliqué le modèle de Burnham et al. (1980) par la relation :

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

$$D = \frac{n}{2La} \quad (2)$$

où **D** est la densité (individus/km²) ; **n**, le nombre d'animaux vus sur le transect ; **L**, la distance cumulée parcourue ; **a**, la largeur d'observation ; le facteur 2 rend compte de l'observation des deux côtés de la ligne de progression.

Calcul de densités du « quadrat sampling »

Pour le « quadrat sampling », la densité de la population a été calculée selon l'estimateur classique de Cochran (1977).

$$D = n/ma \quad (3)$$

où **D** est la densité (individus par unité de surface) ; **n**, le nombre d'individus observés ; **m**, le nombre total de quadrats inventoriés ; a, la superficie d'un quadrat.

Les densités brutes observées ont été corrigées à l'aide de la probabilité de détection estimée, selon la relation de Wenger et Freeman (2008), fournissant une approximation corrigée de la densité réelle.

$$D = \frac{Dobs}{P} \quad (4)$$

où **D** est la densité réelle estimée ; **Dobs**, la densité brute observée ; **P**, la probabilité de détection (Equation 1).

Les intervalles de confiance (IC) à 95% associés aux estimations de densité et d'effectif ont été calculés selon la méthode log-normale recommandée par Buckland et al. (2001).

$$IC\ 95\% = \left[\frac{N}{C}; N \times C\right] \quad (5)$$

où :

- **N** = estimation ponctuelle (densité ou effectif obtenu par l'équation 4)
- **C** = facteur multiplicatif défini par $C = \exp(1{,}96 \times \sqrt{(\ln(1+CV^2))})$
- **CV** = coefficient de variation de l'estimation (Ecart-type / N)
- **1,96** = valeur critique de la loi normale centrée réduite pour un seuil de confiance à 95%

Cette approche, plutôt que l'approximation normale symétrique ($N \pm 1{,}96 \times SE$), évite des bornes inférieures négatives ou irréalistes et reflète mieux l'asymétrie de la distribution d'échantillonnage propre aux estimations d'abondance en milieu naturel.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Comparabilité des estimations issues des deux méthodes

Les estimations de densité, obtenues par transects linéaires (2006-2023) et par quadrats (2024), reposent sur des principes d'échantillonnage différents et ne sont pas directement comparables terme à terme. En conséquence, c'est la tendance générale de la population sur le long terme, plutôt que les valeurs des densités absolues année par année, qui constitue le résultat robuste de cette étude.

Cette réserve méthodologique s'applique moins à la structure par sexe et par âge : un biais de détection affectant de façon comparable tous les individus d'une même campagne tend à s'annuler dans le calcul de proportions relatives (sex-ratio, classes d'âge), sous réserve de l'absence de détectabilité différentielle entre sexes ou classes d'âge (Caughley et Sinclair, 1994 ; Buckland et al., 2004).

Cette hypothèse paraît raisonnable dans le contexte de la FCRGN, où le couvert herbacé globalement ouvert et le comportement grégaire du cobe de Buffon limitent les écarts de détectabilité liés à la taille ou à l'isolement des individus. Ces conditions sont d'autant plus stables que les campagnes de transects linéaires et de dénombrement par quadrats ont été conduites aux mêmes périodes de l'année, limitant ainsi la variabilité saisonnière (végétation, disponibilité en eau) susceptible d'introduire un biais de détectabilité différentiel entre les deux méthodes. Les proportions relatives peuvent donc être considérées comme plus robustes aux différences de détectabilité entre méthodes que ne le sont les densités absolues.

Taux de régression

L'évolution de la population a été évaluée par le calcul du taux de croissance annuel moyen (TCAM), selon la relation suivante (Caughley, 1977 ; Rockwood, 2015).

$$r = \left[\left(\frac{Nt}{N0}\right)^{\frac{1}{t}} - 1\right] \times 100 \quad (6)$$

où **r** est le taux de croissance annuel moyen (%) ; **Nt**, l'effectif final de la population (année t) ; **N0**, l'effectif initial de la population (année de référence) ; **t**, le nombre d'années écoulées entre les deux inventaires.

Le choix du taux de croissance géométrique se justifie par sa capacité à intégrer le caractère cumulatif des processus démographiques. Il permet de comparer des périodes de durées inégales et de lisser les fluctuations interannuelles liées aux aléas climatiques ou anthropiques (Begon, et al., 2006).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Modélisation de la tendance des effectifs

En complément du calcul du taux de croissance annuel moyen, l'évolution des effectifs de cobe de Buffon a été modélisée par ajustement d'une courbe logistique, permettant de tester l'hypothèse d'une décroissance tendancielle non linéaire de la population sur la période étudiée. Le coefficient de la courbe (c) traduit le sens et l'intensité de cette tendance. Cet ajustement a été comparé à celui d'un modèle linéaire généralisé (GLM), afin de vérifier la robustesse de la tendance observée indépendamment de la forme fonctionnelle retenue.

Mode de distribution

Le degré d'agrégation de la population a été évalué via l'indice de dispersion de Morisita (Iδ), suivi de sa standardisation (Ip) (Zar, 1999 ; Hema, 2010).

$$I_\delta = \frac{n\sum \quad Xi(Xi-1)}{N(N-1)} \qquad I_p = \frac{I_\delta - 1}{n-1} \tag{7}$$

où **n** est le nombre de quadrats ou unités d'échantillonnage ; **Xi**, le nombre d'individus dans le i^{ème} quadrat ; **N**, le nombre total d'individus dans tous les quadrats.

La valeur de **Ip** est comprise entre -1 et 1 :

- Ip < 0, désigne une distribution uniforme ;
- Ip = 0, indique une distribution aléatoire (conforme à une loi de Poisson) ;
- Ip > 0, traduit une distribution agrégative ou en « clusters ».

Justification du choix des tests statistiques

Pour le choix des tests statistiques, le test de Shapiro-Wilk a été réalisé, afin d'évaluer la normalité de la distribution des variables quantitatives. L'évolution temporelle des densités et des effectifs (2006-2023) a été testée par trois tests non paramétriques de tendance monotone (Mann-Kendall, Spearman et tau de Kendall), choisis selon une logique de triangulation méthodologique. Ces tests sont fondés sur des principes distincts, mais testent la même hypothèse nulle d'absence d'association monotone, avec des sensibilités différentes aux valeurs extrêmes et aux ex æquo, ce qui limite la dépendance des conclusions à un test unique dans le cas d'une série restreinte comme c'est le cas de cette étude (n = 14 années).

Pour l'analyse de la structure démographique, deux dispositifs distincts ont été considérés selon la nature des comparaisons effectuées. Les classes d'âge (adultes, subadultes, juvéniles), constituant des groupes indépendants, ont été comparées au moyen du test de Kruskal-Wallis, complété par des

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

comparaisons post-hoc de Mann-Whitney pour identifier les paires de classes significativement différentes. En revanche, la comparaison des effectifs de mâles et de femelles au cours des mêmes années constitue un dispositif à mesures répétées, les deux séries partageant les mêmes unités temporelles ; le test de Friedman, adapté à ce type de données appariées, a donc été retenu à cette fin, tandis que le test de Mann-Whitney a été utilisé séparément pour comparer les rangs moyens globaux entre les deux sexes.

Résultats

Indicateurs issus des observations du cobe de Buffon (line transect sampling) de 2006 à 2023

Le Tableau 1 présente les principaux indicateurs issus des inventaires pédestres par transects linéaires réalisés entre 2006 et 2023 concernant le cobe de Buffon dans la Forêt classée et ranch de gibier de Nazinga. Les données incluent les effectifs observés, les densités, l'indice kilométrique d'abondance (IKA), le sex-ratio ainsi que la structure d'âge de la population. Elles constituent une base pour évaluer la dynamique de population du cobe de Buffon à la FCRGN.

Tableau 1 : Effectifs, densités et structures d'âge et de sexe du cobe de Buffon de 2006 à 2023

Années	N	D	IKA	Sex-ratio	Adultes	Subadultes	Juvéniles
2006	44	0,64	0,064	0,32	36	4	4
2007	16	0,23	0,023	0,67	11	3	2
2008	14	0,2	0,020	-	8	2	4
2009	20	0,29	0,029	0,36	13	5	2
2010	28	0,4	0,040	0,33	17	3	6
2011	11	0,16	0,016	0,5	3	0	0
2012	22	0,32	0,032	0,42	18	0	4
2013	4	0,06	0,006	0,33	3	0	1
2014	9	0,13	0,013	0,13	3	2	4
2017	4	0,06	0,006	0,33	4	0	0
2019	9	0,13	0,013	0,29	4	0	2
2021	8	0,12	0,017	0,17	7	0	1
2022	1	0,01	0,002	-	1	0	0
2023	2	0,03	0,003	-	1	0	1

N : effectifs des observations; **D :** densité; **IKA :** indice kilométrique d'abondance

Inventaire du cobe de Buffon par « quadrat sampling » en 2024

Détectabilité du cobe de Buffon lors du dénombrement

Au cours de l'opération de dénombrement, des cobes de Buffon ont été observés dans 10 quadrats sur les 19 échantillonnés. Le nombre total de contacts enregistrés est de 12. Le Tableau 2 présente les principaux paramètres de détection obtenus lors des parcours des quadrats.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Tableau 2 : Indicateur de rencontre et détectabilité du cobe de Buffon au cours du recensement

Paramètres	L (Km)	n	P	n/L
Valeurs	190	12	0,71	0,06

Densité et effectif

La densité estimée de la population de cobe de Buffon a été calculée sur la base de l'aire de répartition de l'espèce (148 km²), soit 16,21% de la superficie totale de la FCRGN. Les observations indiquent des groupes de petite taille, avec une densité de groupe estimée à 0,06 et une taille moyenne de groupe de 2 individus. La densité estimée est de 0,28 individu/km² et l'effectif moyen est de 42 individus. Le coefficient de variation appliqué à la densité et à l'effectif est de 25%. Le Tableau 3 présente les principaux résultats du dénombrement du cobe de Buffon.

Tableau 3 : Densités et effectifs du cobe de Buffon à la FCRGN en 2024

Indicateurs	Estimation	Ecart-type	CV (%)	IC (95%)	
				Inférieur	Supérieur
Densité groupe	0,06	-	-	-	-
Taille Moyen des Groupes	2	-	-	-	-
Densité (N/ Km²)	0,28	0,07	25	0,17	0,46
Effectifs (N)	42	10,5	25	26	68

Densités linéaires

Les dénombrements effectués le long de circuits sélectionnés montrent des disparités entre les strates prospectées. La densité moyenne linéaire est de 0,86 individu/km. Les circuits 1 et 2 sont les secteurs qui présentent les densités linéaires les plus élevées, avec respectivement 0,77 individu/km et 1,36 individu/km. Le circuit 3 apparaît comme le secteur à faible densité avec un indice kilométrique d'abondance (IKA) de 0,34 individu/km. Le Tableau 4 présente les résultats du calcul des densités linéaires, exprimées en Indice kilométrique d'abondance.

Tableau 4 : Indices kilométriques d'abondance du cobe de Buffon par circuits

Circuits	Contacts	Effectifs Moyens	Distance (Km)	IKA (Individu/Km)
Circuit 1	2	2	2,6	0,77
Circuit 2	4	3	2,2	1,36
Circuit 3	1	1	2,9	0,34
Circuit 4	2	3	3,1	0,97

Structure de la population

Structure d'âge

Lors des opérations de dénombrement, les observations réalisées ont permis d'identifier et de classer l'ensemble des individus recensés selon les différentes classes d'âge. La structure d'âge de la population est dominée par

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

les adultes avec 18 individus (75%), suivis des subadultes avec 4 individus (17%) et enfin les juvéniles représentés par 2 individus (8%). La Figure 4 présente la répartition des individus par classes d'âge.

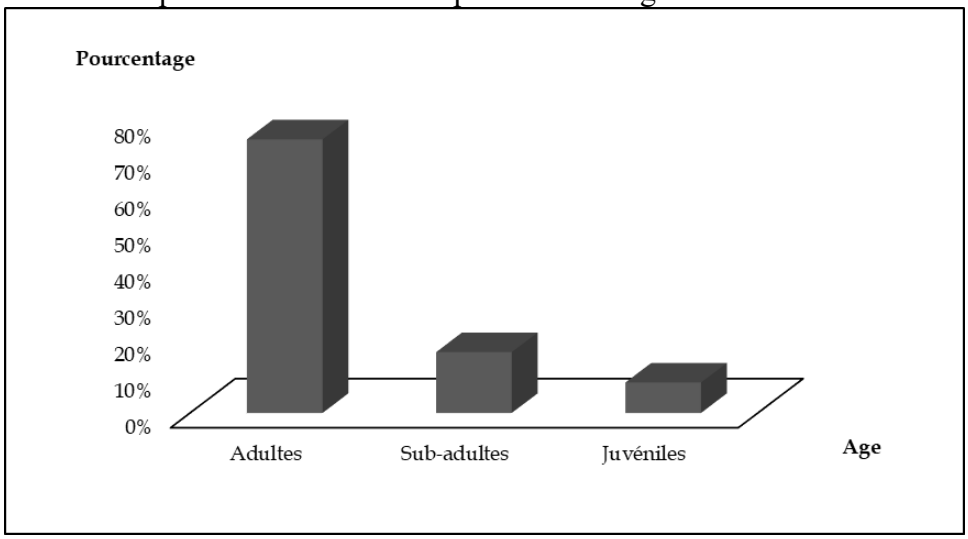


Figure 4 : Rapport de la structure d'âge de la population de cobe de Buffon à la FCRGN

Le sex-ratio

Les résultats du dénombrement indiquent que 5 mâles et 15 femelles ont été recensés, correspondant à un sex-ratio de 0,33, soit un mâle pour trois femelles. Au cours de l'inventaire, le sexe a pu être déterminé pour 83,3% des individus observés. Le sexe de 4 individus n'a pas pu être identifié à cause de certaines conditions d'observation et d'une difficulté à observer le sexe des juvéniles. La Figure 5 illustre la répartition des cobes de Buffon inventoriés selon le sexe.

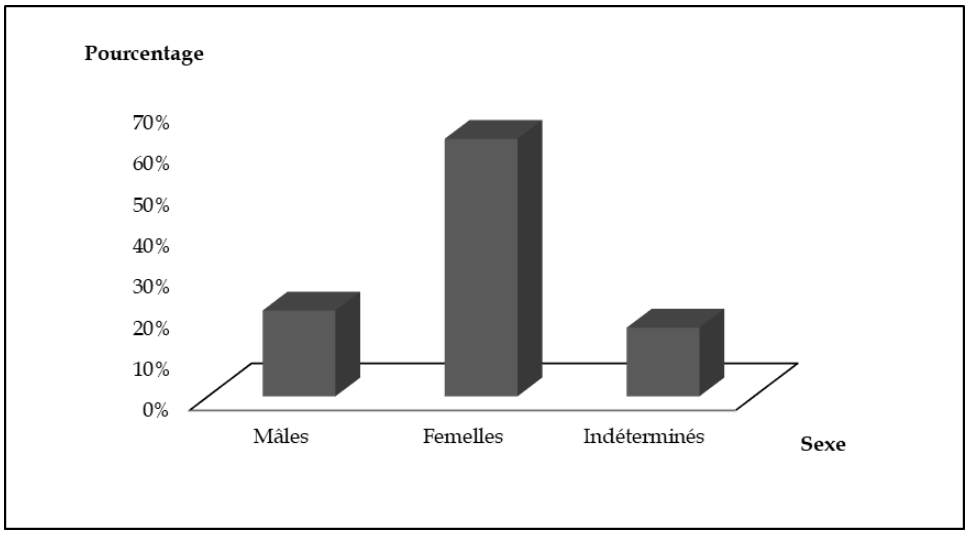


Figure 5 : Rapport du sex-ratio de la population de cobe de Buffon à la FCRGN

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Le ratio classe d'âge-sexe montre aussi une prédominance des femelles dans toutes les classes d'âge. D'abord, chez les adultes, on note 76% de femelles contre 24% de mâles. Ensuite, au sein de la classe d'âge des subadultes, il y a 80% de femelles contre 20% de mâles. Enfin, dans la classe des juvéniles, il y a 50% pour les deux sexes. Ce ratio confirme le sex-ratio global déjà observé. La pyramide d'âge (Figure 6) reflète une population vieillissante avec un recrutement de jeunes très limité.

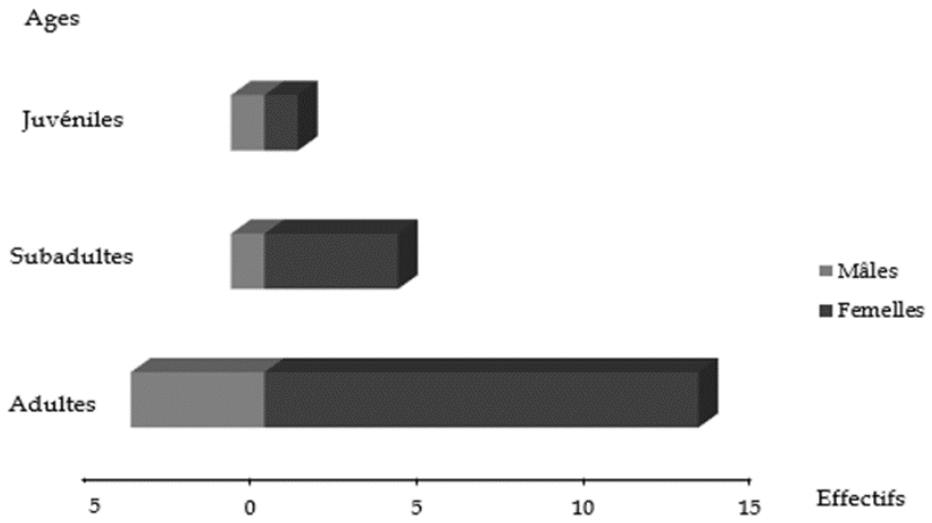


Figure 6 : Pyramide des âges de la population de cobes de Buffon en 2024 à FCRGN

Mode de dispersion

L'indice de dispersion standardisé de Morisita calculé pour l'année 2024 est de Ip ≈ 0,03. Cette valeur, bien que légèrement supérieure à zéro, traduit un degré d'agrégation très faible et une distribution spatiale proche de l'aléatoire.

Dynamiques de la population

Tendance des densités

Les densités montrent une variabilité interannuelle très marquée. Elles atteignent 0,64 en 2006 et 0,40 en 2010, tandis que les valeurs les plus faibles sont de 0,01 en 2022 et 0,03 en 2023. L'analyse statistique de la tendance de la densité de la population de cobes de Buffon à la FCRGN sur la période allant de 2006 à 2023 met en évidence une diminution significative. Les tests non paramétriques de Mann-Kendall (D = 1011 ; p = 0,0025), de Spearman (rs = – 0,81 ; p = 0,0003) et de Kendall (τ = -0,61 ; p = 0,0016) indiquent une tendance négative marquée.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Tendance des effectifs

La dynamique des effectifs de la population de cobes de Buffon a été étudiée sur la période de 2006 à 2023. La dynamique de la population de cobes de Buffon se caractérise par une évolution irrégulière marquée par une tendance générale à la baisse. Le taux annuel moyen de régression est estimé à -15%. L'analyse par sous-périodes montre des fluctuations importantes. Entre 2006 et 2012, la population enregistre un taux annuel moyen de régression de -10,91%, suivi d'une régression encore plus prononcée entre 2012 et 2023, avec un taux annuel moyen de -23,39%.

L'ajustement à la courbe logistique (Figure 7a) confirme la tendance générale à la baisse des effectifs avec un coefficient négatif de c = -0,223 au cours de la période étudiée. Une comparaison avec le modèle linéaire généralisé (Figure 7b) donne le même résultat. Le test de Friedman montre que cette régression est significative avec une p-value < 0,001.

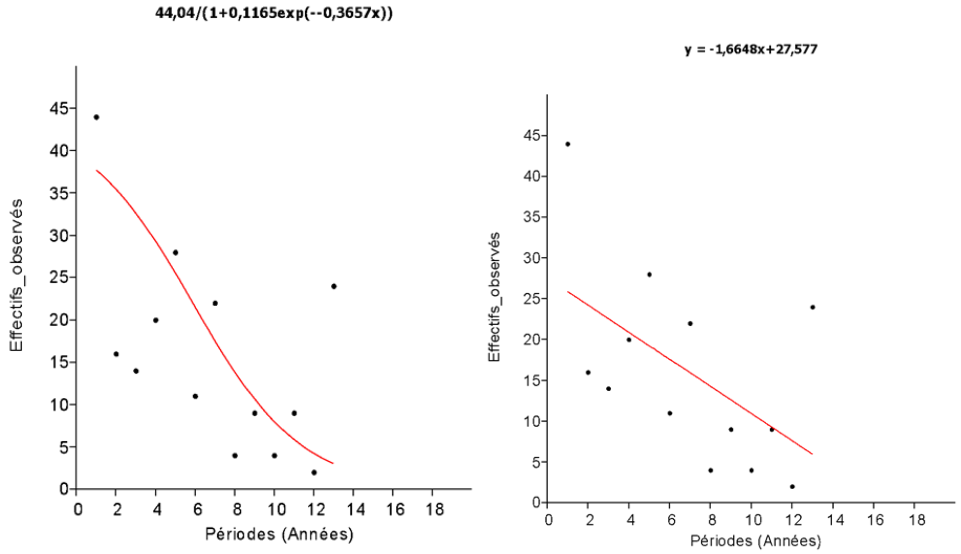


Figure 7 : Evolution des effectifs observés de cobe de Buffon à la FCRGN de 2006 à 2023

Evolution temporelle de la structure d'âge

La structure démographique reste dominée par les adultes de 2006 à 2024. Ils sont suivis par les juvéniles, présents en faibles proportions, mais présentant une stabilité des effectifs. Les subadultes demeurent peu abondants et montrent une érosion de la cohorte. La population adulte, très abondante en 2006, marque un déclin en 2007, avec quelques remontées ponctuelles en 2010, 2012 et 2024. Les subadultes apparaissent en effectifs réduits pour disparaitre complètement certaines années. Les juvéniles présentent des effectifs faibles, avec des pics isolés en 2008, 2010 et 2023. La Figure 8 présente l'évolution comparée de la structure démographique de la population de cobes de Buffon de 2006 à 2024 entre les classes d'âge.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

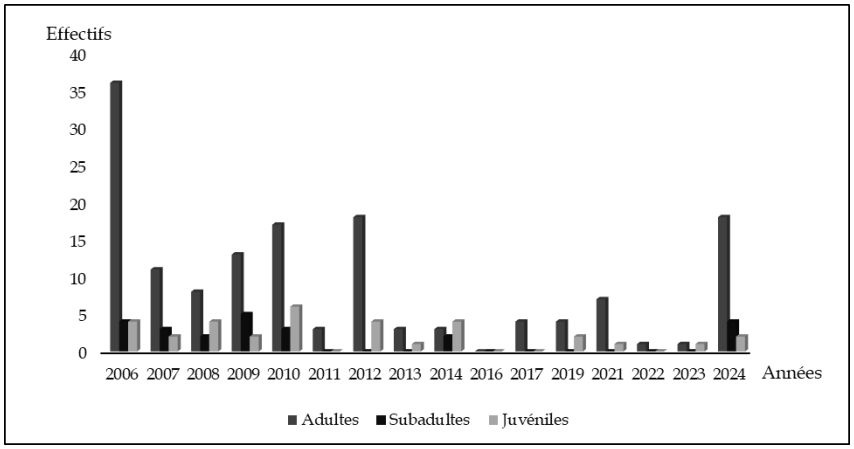


Figure 8 : Evolution de la structure démographique de la population de 2006 à 2024

Les effectifs montrent une tendance à la régression pour toutes les classes d'âge. Les Figures 9a, 9b et 9c illustrent les évolutions de la structure démographique de la population de cobes de Buffon de 2006 à 2024 par classe d'âge.

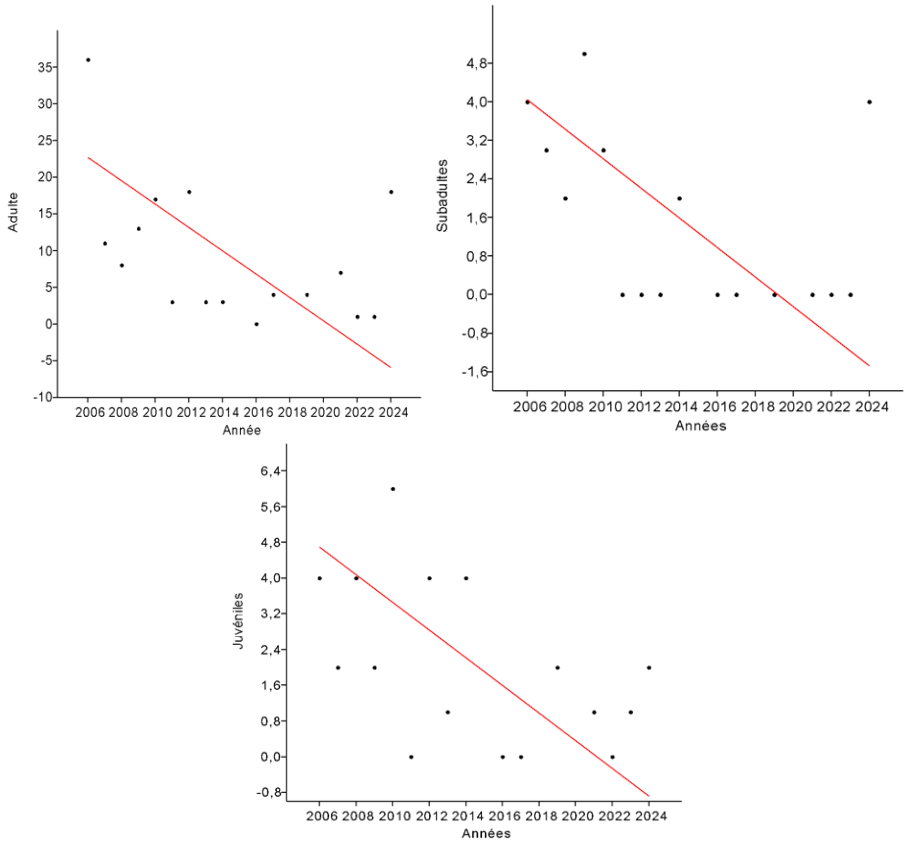


Figure 9 (9a, 9b, 9c) : Evolutions de la structure démographique de la population de 2006 à 2024 par classe d'âge

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Le test de Kruskal-Wallis a révélé une différence significative entre les classes d'âge de la population ($p = 0,0006$). Les comparaisons post-hoc de Mann-Whitney indiquent des différences significatives entre les adultes et les subadultes ($p < 0,01$) ainsi qu'entre les adultes et les juvéniles ($p < 0,05$). En revanche, aucune différence significative n'a été observée entre les subadultes et les juvéniles ($p > 0,05$). Ces résultats confirment une structure démographique dominée par les adultes.

Tendance évolutive de la structure de sexe

Les données de la population de cobes de Buffon à la FCRGN montrent des variations du sex-ratio entre 2006 et 2024, avec des valeurs allant de 0,67 en 2007 à 0,13 en 2014. La courbe de tendance (Figure 10) présente une tendance générale à la baisse du sex-ratio entre 2006 et 2024, traduisant une structure sexuée de plus en plus déséquilibrée.



Figure 10 : Evolution du sex-ratio de 2006 à 2024

La comparaison des tendances des effectifs de mâles et de femelles de cobes de Buffon à l'aide du test de Mann-Whitney révèle une différence statistiquement significative (Ub = 42 ; p = 0,010 ; p Monte Carlo = 0,0086 ; p exact = 0,0081). Les rangs moyens observés sont plus élevés chez les femelles (9,25) que chez les mâles (5,25). Le test de Friedman avec une p-value = 0,0001 pour les femelles et les mâles montre que les effectifs ont évolué de manière significative au fil du temps. Les Figures 11a et 11b montrent la régression par sexe des populations de cobes de Buffon dans la FCRGN.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

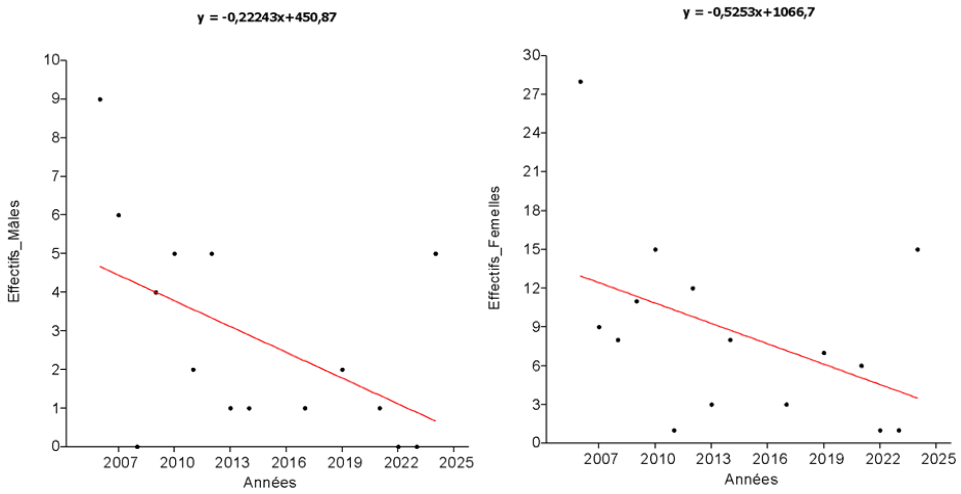


Figure 11 (11a, 11b) : Dynamique par sexe de 2006 à 2024

Evolution du mode de dispersion

Les indices de dispersion standardisés de Morisita calculés entre 2006 et 2024 sont supérieurs à zéro, ce qui indique une dispersion agrégative du cobe de Buffon au cours de cette période. Le test « t » appliqué aux données confirme cette distribution avec une valeur de $p < 0,001$. Les écarts interannuels des indices de 2006 à 2023 sont globalement modérés, traduisant une stabilité dans le comportement de dispersion de l'espèce. En revanche, la valeur obtenue en 2024 (Ip ≈ 0,03), nettement plus proche de zéro, indique une distribution presque aléatoire. Cette différence par rapport aux périodes précédentes tient probablement à la méthode d'échantillonnage par quadrats, réalisée sur un effectif d'observations plus important et à une résolution spatiale différente de celle des transects linéaires. Le Tableau 5 présente les indices de dispersion du cobe de Buffon de 2006 à 2024 à la FCRGN.

Tableau 5 : Indices de dispersion de Morisita (Ip) de *Kobus kob kob* de 2006 à 2024

Années	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2019	2021	2022
Ip	0,11	0,27	0,27	0,23	0,26	0,82	0,17	0,33	0,24	1	0,50	1
Années	**2023**	**2024**										
Ip	1	0,03										

Discussions

Diagnostic démographique

L'analyse des résultats de cette étude met en évidence une situation écologique préoccupante pour le cobe de Buffon au sein de la FCRGN. La densité moyenne, estimée à 0,28 individu/km², et l'effectif moyen de 42 individus, ont été calculés sur l'aire de répartition effective de l'espèce (148 km²), soit 16,21 % de la superficie totale du ranch, qui couvre 913 km². Ces

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

valeurs traduisent une population extrêmement réduite au sein d'une portion restreinte du territoire.

Ce niveau d'abondance montre que la population est au stade de « reliquat biologique ». L'effectif, réduit à moins de 50 individus, est assimilable à un passage sous un seuil de viabilité tel que décrit par Franklin (1980), bien qu'aucune analyse de viabilité des populations spécifique à l'espèce n'ait été conduite ici pour le confirmer. Cela expose la population à des risques de dérive génétique et d'extinction locale face à des événements stochastiques tels que les épidémies et les sécheresses, de plus en plus fréquentes en zone soudano-sahélienne (Hema et al., 2018).

La comparaison avec d'autres écosystèmes fonctionnels du même domaine biogéographique révèle que le cobe de Buffon est souvent l'une des antilopes les plus abondantes. Dans le parc national de la Pendjari (Bénin), des densités supérieures à 12,8 individus/km² ont été rapportées (Bouché et al., 2004). Au parc national d'Arly, la densité moyenne est de 1,48 individu/km² (Bouché et al., 2015). Ces valeurs contrastent fortement avec les 0,28 individu/km² de la FCRGN, confirmant le caractère marginal de cette population.

La taille moyenne de groupe (TMG) de 2 individus est un autre indicateur biologique préoccupant. Le cobe de Buffon est une espèce intrinsèquement grégaire, dont la structure sociale repose sur des harems et, dans les populations denses, sur des systèmes de reproduction en « lek » (Fischer et Linsenmair, 2001). Une TMG aussi faible traduit une fragmentation de la population et une perte de la structure sociale naturelle. Des groupes réduits à des couples ou à des individus isolés augmentent la vulnérabilité face à la prédation et limitent les opportunités de reproduction. Cette fragmentation de la population favorise l'effet Allee (Courchamp et al., 1999), ce qui compromet la viabilité à long terme de la population. Avec des groupes si réduits, les chances de rencontre entre mâles et femelles pour la reproduction diminuent, et la survie des jeunes est compromise par l'absence de « crèches » protectrices.

Ainsi, le diagnostic démographique du cobe de Buffon à la FCRGN révèle une population marginale, fragmentée et vulnérable, dont les effectifs et la densité sont très en deçà des niveaux observés dans les autres aires protégées d'Afrique de l'Ouest.

Dynamique temporelle de la population

La population de cobes de Buffon a subi un déclin marqué au cours de la période 2006-2023, avec un taux annuel moyen de régression de -15%. Cette trajectoire négative est statistiquement confirmée par les tests de tendance (Mann-Kendall, $p = 0,0025$; Spearman, $p = 0,0003$). Ces résultats s'inscrivent dans un contexte régional où les populations de l'espèce ont chuté

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

de manière drastique en dehors des bastions du complexe WAP (W-Arly-Pendjari), principalement en raison de la fragmentation des habitats et de la concurrence avec le bétail (Chardonnet, 2002). Dans la Forêt classée et ranch de gibier de Nazinga, cette baisse suggère que les facteurs de mortalité tels que le braconnage et la prédation facilitée par la fragmentation des habitats ont longtemps surpassé les capacités de recrutement de la population (Bouché et al., 2010).

Une reprise apparente est observée au cours de la dernière année (2024). Cette croissance doit toutefois être interprétée avec prudence, car au-delà de l'artéfact statistique déjà possible à ce niveau d'effectif, l'ajout de quelques individus et l'erreur d'échantillonnage des inventaires précédents peuvent gonfler mathématiquement le pourcentage d'accroissement. Cette valeur provient d'une méthode d'échantillonnage différente (quadrat sampling) de celle utilisée (transects sampling) sur l'ensemble de la série 2006-2023, les deux n'étant pas directement comparables. Elle ne saurait donc être interprétée isolément comme le signe d'un renversement réel de la tendance, seule la trajectoire de long terme, obtenue à partir des densités de transects, constituant un résultat robuste. La tendance générale négative, combinée au faible effectif, constitue un ensemble de facteurs de risque avec une dynamique de type vortex d'extinction, sans que cela puisse être confirmé en l'absence de modélisation démographique dédiée. Sans mesures de conservation ciblées, le cobe de Buffon risque de suivre la trajectoire d'extinction locale observée pour d'autres ongulés dans des réserves isolées d'Afrique de l'Ouest (Fischer et Linsenmair, 2001).

Structure de la population et dynamique reproductive

Les analyses montrent une population sénescente de cobes de Buffon à la FCRGN. La prédominance des adultes (75%) contraste avec la faible proportion de juvéniles (8%) et de subadultes (17%). Ce déséquilibre est caractéristique d'une population à faible taux de renouvellement, car le taux de juvéniles est en dessous des seuils nécessaires pour compenser la mortalité naturelle des adultes. Dans une population d'ongulés saine et en croissance, la proportion de jeunes devrait idéalement se situer entre 20% et 30% (Sinclair et al., 2006). De plus, la faible proportion de subadultes montre que cette difficulté de recrutement n'est pas ponctuelle, mais structurelle sur les dernières années.

Une structure similaire a été observée au parc national de la Comoé (Côte d'Ivoire), où, avant l'extinction locale quasi-totale du cobe de Buffon, les chercheurs avaient noté une disparition progressive des classes de jeunes, signe précurseur du vortex d'extinction (Fischer et Linsenmair, 2001). A l'inverse, dans le parc national du Faro (Cameroun), les populations qui

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

parviennent à se maintenir affichent des ratios jeunes/femelles beaucoup plus élevés, assurant une résilience face aux aléas (Taïga et al., 2021).

Le sex-ratio observé (0,33 mâle pour 1 femelle) est typique d'une espèce polygyne comme le cobe de Buffon. Il est suffisant pour assurer la reproduction, donc le renouvellement de la population. Cependant, la faible proportion de mâles adultes réduit la compétition intraspécifique et, potentiellement, la vigueur génétique de la descendance (Sinclair et al., 2006).

Dynamique spatio-sociale

L'analyse de la dynamique du cobe de Buffon à la FCRGN révèle une population en mutation, marquée par une forte hétérogénéité spatiale et une déstructuration sociale. L'évolution de l'indice de dispersion entre 2006 et 2024 suggère une perte du caractère agrégé de la population. Cette trajectoire est caractéristique d'une population en déclin ou sous de fortes pressions. Les indices kilométriques d'abondance (IKA) montrent un repli significatif des individus vers des zones refuges. Ce phénomène s'inscrit dans un contexte plus large de déclin des populations d'ongulés de taille moyenne dans cette aire protégée (Marchal et al., 2012). Cette concentration spatiale, qui corrobore les analyses d'Amahowe (2012) et Hema et al. (2011), traduit une réponse comportementale adaptative aux pressions anthropiques croissantes sur l'habitat.

A faible densité, les mâles peuvent occuper des territoires plus dispersés, réduisant ainsi le signal d'agrégation globale dans les relevés (Oladipo et al., 2019). De tels regroupements restreints expliquent pourquoi l'agrégation à grande échelle est peu marquée. Ce schéma est confirmé en Afrique de l'Ouest ; au parc national du lac Kainji au Nigéria, la majorité des observations concernent des groupes de 1 à 5 individus (Antwi et al., 2018). Ces dynamiques s'inscrivent dans une tendance régionale préoccupante. Taïga et al. (2021) ont décrit des dynamiques similaires dans le parc national de Faro au Cameroun septentrional, tandis que Wanzie (1991) avait déjà alerté sur la vulnérabilité des populations de cobe de Buffon en Afrique de l'Ouest et du Centre.

Limites de l'étude

Certaines limites doivent être prises en compte dans l'interprétation des résultats de cette étude. D'abord, la série d'inventaire ne couvre que 14 années de données sur 19 et des effectifs très bas (1 à 4 individus) certaines années, réduisant la puissance statistique des analyses.

Ensuite, la probabilité de détection (P = n/N), estimée par approximation du maximum observé (bounded counts) plutôt que par une modélisation de type « Distance Sampling », ne permet pas de quantifier pleinement l'incertitude des densités.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Par ailleurs, les deux méthodes d'échantillonnage (line transect sampling et quadrat sampling), aux hypothèses de détectabilité différentes, limitent la comparabilité directe des densités absolues.

Enfin, la classification en classes d'âge et de sexe repose sur une identification visuelle sur le terrain, sujette à une marge d'erreur, en particulier entre les subadultes et les juvéniles, pouvant affecter la précision des indicateurs de structure démographique.

Conclusion

L'analyse des données des inventaires pédestres de faune réalisés à la FCRGN à partir de 2006 met en évidence une dynamique préoccupante du cobe de Buffon. Les résultats, issus des transects linéaires (2006-2023), montrent une régression significative des densités et des effectifs, traduisant une fragilité démographique marquée. C'est cette tendance de long terme, plutôt que la valeur ponctuelle de 2024 obtenue par une méthode différente (quadrat sampling) et non directement comparable, qui constitue le résultat robuste de cette étude. La population actuelle, estimée à environ 42 individus, suggère un risque élevé d'extinction locale, ce qui expose potentiellement l'espèce à des risques accrus de dérive génétique et de disparition locale. Une analyse de viabilité des populations propre à l'espèce reste toutefois nécessaire pour confirmer ce diagnostic.

La structure démographique, dominée par les adultes et caractérisée par un recrutement limité de jeunes, confirme l'existence d'un déséquilibre reproductif. De plus, le sex-ratio, fortement biaisé en faveur des femelles, marque une mortalité différentielle des mâles, accentuant la vulnérabilité de la population. En outre, la dispersion faiblement agrégative et les faibles densités linéaires révèlent une occupation spatiale réduite et fragmentée, reflet d'une pression anthropique persistante et d'une dégradation des habitats.

Ces constats soulignent la nécessité de mettre en place une stratégie de gestion renforcée du cobe de Buffon à la FCRGN, articulée autour des axes suivants :

- le renforcement de la lutte anti-braconnage, par l'intensification des patrouilles de surveillance, en priorisant les zones de refuge où la population est concentrée ;
- la protection des habitats, notamment les points d'eau permanents et les plaines inondables fréquentés par l'espèce, contre la dégradation et la surexploitation ;
- la mise en place d'un suivi écologique annuel standardisé, reposant sur un protocole unique et continu, afin de fiabiliser le suivi des tendances démographiques ;
- l'évaluation d'un éventuel renforcement de population ou d'une translocation, à envisager uniquement après une étude de faisabilité préalable.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

La mise en œuvre coordonnée de ces mesures conditionnera la pérennité de la population de cobes de Buffon dans la FCRGN, et pourrait servir de modèle pour la conservation d'autres populations d'ongulés moyens menacées dans des aires protégées comparables d'Afrique de l'Ouest.

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'École Doctorale Sciences Naturelles et Agronomie (ED/ SNA) de l'Université Nazi Boni (Burkina Faso) et autorisée par l'Office National des Aires Protégées (OFINAP) du Ministère de la Sécurité du Burkina Faso. Les travaux de terrain n'ont impliqué aucune manipulation, capture ou procédure invasive sur les animaux.

References:

1. Alden, C. P., Estes, R. D., Schlitter, D., & McBride, B. (2001). Photo guide des animaux d'Afrique. Delachaux et Niestlé.
2. Amahowe, O., Ouédraogo, M., & Lougbegnon, O. (2012). Analyse spatio-temporelle de la faune et des pressions anthropiques dans le ranch de gibier de Nazinga au Burkina Faso. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 6(2), 711–724. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i2.6
3. Antwi, R. A., Owusu, E. H., & Attuquayefio, D. K. (2018). Species distribution of kobs (Kobus kob) in the Shai Hills Resource Reserve : An exploratory analysis. Environmental Monitoring and Assessment, 190(3), 79. https://doi.org/10.1007/s10661-018-6475-z
4. Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). Ecology: From individuals to ecosystems (4th ed.). Blackwell Publishing.
5. Bouché, P. (2012). Inventaire des mammifères du Ranch de Gibier de Nazinga. Rapport technique. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Burkina Faso.
6. Bouché, P., Douglas-Hamilton, I., Frederick, H., & Vermeulen, C. (2010). Has the final countdown to wildlife extinction in northern Central African Republic begun? African Journal of Ecology, 48(4), 994–1003. https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2010.01211.x

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

7. Bouché, P., Frederick, H., & Koh, E. (2015). Inventaire aérien de l'écosystème W-Arly-Pendjari. Rapport technique. Union Économique et Monétaire Ouest-Africaine (UEMOA).
8. Bouché, P., Lungren, C., Hien, B., & Omondi, P. (2004). Recensement aérien total de l'écosystème W-Arly-Pendjari-Oti-Mandouri-Kéran (WAPOK). Rapport technique. CITES-MIKE, ECOPAS et PAUCOF.
9. Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L., & Thomas, L. (2001). Introduction to distance sampling: Estimating abundance of biological populations. Oxford University Press.
10. Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L., & Thomas, L. (2004). Advanced Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780198507833.001.0001
11. Buckland, S. T., Plumptre, A. J., Thomas, L., & Rexstad, E. A. (2010). Design and analysis of line transect surveys for primates. International Journal of Primatology, 31(5), 833–847. https://doi.org/10.1007/s10764-010-9431-5
12. Burnham, K. P., Anderson, D. R., & Laake, J. L. (1980). Estimation of density from line transect sampling of biological populations. Wildlife Monographs, 72, 3–202.
13. Caughley, G. (1977). Analysis of vertebrate populations. John Wiley & Sons.
14. Caughley, G., & Sinclair, A. R. E. (1994). Wildlife ecology and management. Blackwell Scientific Publications.
15. Delvingt, W., & Vermeulen, C. (2007). Le suivi écologique comme outil d'aide à la décision dans la gestion des ressources naturelles. Dans W. Delvingt & C. Vermeulen (Éds.), Gestion durable de la faune et des ressources ligneuses en Afrique soudano-sahélienne (pp. 57–71). Presses Agronomiques de Gembloux.
16. Dimobe, K., Goetze, D., Ouédraogo, A., Forkuor, G., Wala, K., Porembski, S., & Thiombiano, A. (2017). Spatio-temporal dynamics in land use and habitat fragmentation within a protected area dedicated to tourism in a Sudanian savanna of West Africa. Journal of Landscape Ecology, 10(1), 75–95. https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0011
17. Dorst, J., & Dandelot, P. (1976). Guide des mammifères d'Afrique. Delachaux et Niestlé.
18. El Alqamy, H. (2003). Developing and assessing a population monitoring program for Dorcas gazelle using distance sampling (Thèse de doctorat). University of East Anglia, Norwich, Royaume-Uni.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

19. Fischer, F., & Linsenmair, K. E. (2001a). Decreasing numbers of Buffon's kob (Kobus kob kob) in the Comoé National Park, Côte d'Ivoire. African Journal of Ecology, 39(2), 147–155. https://doi.org/10.1046/j.1365-2028.2001.00287.x
20. Fischer, F., & Linsenmair, K. E. (2001b). Spatial organisation and territory maintenance of Buffon's kob (Kobus kob kob) in the Comoé National Park, Côte d'Ivoire. African Journal of Ecology, 39(2), 156–163. https://doi.org/10.1046/j.1365-2028.2001.00288.x
21. Fournier, A. (1987). Cycle saisonnier de la phytomasse et de la production herbacée dans les savanes soudaniennes de Nazinga (Burkina Faso) : comparaison avec d'autres savanes ouest-africaines. ORSTOM / École normale supérieure.
22. Franklin, I. R. (1980). Evolutionary change in small populations. In M. E. Soulé & B. A. Wilcox (Eds.), Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective (pp. 135–149). Sinauer Associates.
23. Habib, T. J. (2010). Ecology and management of deer in relation to chronic wasting disease (Doctoral dissertation). University of Alberta, Edmonton, Canada.
24. Hema, E. M. (2010). Écologie et dynamique des populations de la grande faune dans la Forêt classée et Ranch de Gibier de Nazinga (Burkina Faso) (Thèse de doctorat). Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
25. Hema, E. M., Barnes, R. F. W., & Guenda, W. (2011). Distribution of savannah elephants and ungulates within Nazinga Game Ranch, southern Burkina Faso. African Journal of Ecology, 49(4), 434–441. https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2011.01275.x
26. Hema, E. M., Ouattara, V., Gnoumou, P., Di Vittorio, M., Sirima, D., Dendi, D., ... Luiselli, L. (2017). Bushmeat consumption in the West African Sahel of Burkina Faso and the decline of some consumed species. Oryx, 51(3), 481–487. https://doi.org/10.1017/S0030605316001721
27. Hema, E. M., Ouédraogo, B., Belemsobgo, U., Di Vittorio, M., Dendi, D., Guenda, W., ... Luiselli, L. (2018). Effects of competitor density and rainfall regime on the long-term population dynamics of an herbivore community in a western African savannah. Revue d'Écologie (La Terre et la Vie), 73(4), 444–460.
28. Hibert, F. (2007). Déterminants écologiques et anthropiques de la structuration des peuplements d'ongulés sauvages en Afrique de l'Ouest : cas du Parc Régional du W du fleuve Niger (Thèse de doctorat). Université Paris-Est, Créteil, France.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

29. Krebs, C. J. (1999). Ecological methodology (2nd ed.). Benjamin Cummings.
30. Lamarque, F. (2004). Les grands mammifères du complexe WAP. Consortium ECOPAS.
31. Lungren, C. (2003). Stratégie pour l'aménagement des points d'eau au Ranch de Gibier de Nazinga. Rapport technique. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Burkina Faso.
32. MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Lachman, G. B., Droege, S., Royle, J. A., & Langtimm, C. A. (2002). Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. Ecology, 83(8), 2248–2255. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083 [2248: ESORMD]2.0.CO;2
33. Marchal, A., Lejeune, P., & Ouédraogo, M. (2012). The status of the medium-sized ungulate populations in 2010, Nazinga Game Ranch, Burkina Faso. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 16(4), 441–449.
34. Meehan, T. D. (2020). Estimating animal abundance with N-mixture models. Journal of Statistical Software, 95(11), 1–20. https://doi.org/10.18637/jss.v095.i11
35. Ndecky, D. (2002). Contribution à l'étude des systèmes d'élevage dans les villages riverains du Ranch de Gibier de Nazinga (Mémoire de DESS). Université Paris XII Val de Marne, Créteil, France.
36. Oladipo, S. O., Afolayan, F. A., Lewiska, L. F., & Lameed, G. A. (2019). Population density, diversity and abundance of antelope species in Kainji Lake National Park, Nigeria. Open Journal of Ecology, 9(4), 95–109. https://doi.org/10.4236/oje.2019.94009
37. Petrovan, S. O., Ward, A. I., & Wheeler, P. M. (2011). Detectability counts when assessing populations for biodiversity targets. PLOS ONE, 6(9), e24133. https://doi.org/10.1371/journal. pone. 0024133
38. PNGFAP (2007). Programme National de Gestion de la Faune et des Aires de Protection Faunique. Composante : Gestion de la faune et des aires de protection faunique. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Burkina Faso.
39. Regier, H. A., & Robson, D. S. (1967). Estimating population size and efficiency of selective fishing gear. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 24(1), 31–67. https://doi.org/10.1139/f67-004
40. Rockwood, L. L. (2015). Introduction to population ecology (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
41. Royle, J. A. (2004). N-mixture models for estimating population size from spatially replicated counts. Biometrics, 60(1), 108–115. https://doi.org/10.1111/j.0006-341X.2004.00142.x

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

42. Sinclair, A. R. E., Fryxell, J. M., & Caughley, G. (2006). Wildlife ecology, conservation, and management (2nd ed.). Blackwell Publishing.
43. Sutherland, W. J. (2006). Ecological census techniques: A handbook (2nd ed.). Cambridge University Press.
44. Taïga, L. K., Kamgang, S. A., Bakwo Fils, E. M., Samuel, T. C., & Rduch, V. (2021). The status and population dynamic of Buffon's kob (Kobus kob kob, Erxleben 1777) in the Faro National Park, Northern Cameroon. African Journal of Ecology, 59(3), 695–702. https://doi.org/ 10.1111/aje.12808.
45. Wanzie, C. S. (1991). The present distribution and status of Buffon's kob *Kobus kob kob* (Erxleben) in West and Central Africa. *Mammalia*, *55*(1), 79–84.
46. Wenger, S. J., & Freeman, M. C. (2008). Estimating species occurrence, abundance, and detection probability using zero-inflated distributions. Ecology, 89(10), 2953–2959. https://doi.org/10.1890/07-0630.1
47. Zar, J. H. (1999). Biostatistical analysis (4th ed.). Prentice Hall.

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Régénération et reconstitution de cinq essences commerciales de l'UFA Ipendja, nord du Congo

Paul Patrick Mangonga, Doctorant
Pierre Mbete, PhD, Maître de conférences CAMES
Laboratoire d'écologie appliquée et de l'environnement
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, République du Congo
Aristide Ewamela, Professeur Titulaire CAMES
Laboratoire de Population et Développement
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, République du Congo

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p164

Submitted: 06 March 2026
Accepted: 24 August 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Mangonga, P.P., Mbete, P., & Ewamela, A. (2026). *Régénération et reconstitution de cinq essences commerciales de l'UFA Ipendja, nord du Congo*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 164. https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p164

Résumé

Cet article analyse la reconstitution de cinq essences commerciales dans l'UFA Ipendja, au nord du Congo, pour évaluer la capacité de régénération des forêts après exploitation. L'étude s'appuie sur 76 placettes de 100 x 25 m. Les espèces étudiées sont *Entandrophragma cylindricum, Entandrophragma utile, Khaya anthotheca, Pterocarpus soyauxii* et *Afzelia bipindensis*. Les données proviennent d'inventaires systématiques portant sur des arbres de 10 à 129,99 cm de diamètre. La densité des petites tiges et le taux de reconstitution ont été évalués selon la norme FAO de 50 %. Les résultats montrent la dominance de *Pterocarpus soyauxii et d'Entandrophragma cylindricum*, mais une régénération limitée dans les petites classes de diamètre. *Entandrophragma cylindricum* présente encore des diamètres élevés, tandis que *Pterocarpus soyauxii* affiche un meilleur indice de reconstitution. Le test du χ^2 (22,89 ; ddl = 4 ; $p < 0,05$) indique une diminution significative des effectifs dans la zone exploitée, tendance susceptible de s'accentuer malgré les recrus observés.

Mots-clés: Reconstitution, régénération, essences commerciales, durabilité, UFA-Ipendja

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Regeneration and Reconstitution of Five Commercial Tree Species from the UFA Ipendja

Paul Patrick Mangonga, PhD student
Pierre Mbete, PhD, CAMES Senior Lecturer
Laboratory of Applied Ecology and the Environment
Marien NGOUABI University, Brazzaville, Republic of the Congo
Aristide Ewamela, Full Professor (CAMES)
Population and Development Laboratory
Marien NGOUABI University, Brazzaville, Republic of the Congo

Abstract

This paper focuses on analyzing the regeneration of five commercial tree species in the Ipendja Forest Management Unit (FMU) in northern Congo to assess forest regeneration capacity after logging. The study is based on 76 plots measuring 100 x 25 m. The species studied include *Entandrophragma cylindricum*, *Entandrophragma utile*, *Khaya anthotheca*, *Pterocarpus soyauxii*, and *Afzelia bipindensis*. Data were obtained from systematic inventories of trees ranging from 10 to 129.99 cm in diameter. Small stem density and regeneration rate were assessed according to the FAO standard of 50%. The results show the dominance of *Pterocarpus soyauxii* and *Entandrophragma cylindricum*, but limited regeneration in the smaller diameter classes. *Entandrophragma cylindricum* still exhibits large diameters, while *Pterocarpus soyauxii* shows a better regeneration rate. The χ^2 test (22.89; df = 4; $p < 0.05$) indicates a significant decrease in numbers in the exploited area, a trend likely to intensify despite the observed recruitment.

Keywords: Regeneration, Commercial tree species, Sustainability, UFA-Ipendja

Introduction

La forêt de la République du Congo est répartie entre les principaux massifs du nord et du sud du pays, à savoir le massif du Nord, le massif du Chaillu et le massif du Mayombe. Ce couvert forestier congolais s'étend sur 23,5 millions d'hectares, soit 69 % de la superficie du territoire national (Ndera Tuyizere et al., 2025). Selon ces auteurs, elle représente 10 % du couvert forestier d'Afrique centrale et place la République du Congo dans la catégorie des pays à forte couverture forestière et où la part de la forêt par tête d'habitant est l'une des plus élevées de la planète avec 6 ha par habitant. L'Atlas forestier de la République du Congo indique que la forêt se répartit en

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

forêt primaire sur terre ferme avec une superficie de 14 123 816 ha, forêt secondaire sur terre ferme s'étendant sur 2 473 784 ha, forêt marécageuse d'une superficie de 7 240 918 ha, les strates non forestières représentant plus de 10 156 693 hectares, soit 29,7 %.

Cette couverture forestière contribue efficacement à la lutte contre le changement climatique avec près de 60 millions d'hectares de tourbières qui séquestrent plusieurs milliards de tonnes de carbone. Les forêts congolaises fournissent des biens et services écosystémiques diversifiés indispensables à la survie des riverains et au développement du pays. Il a été constaté une commercialisation de 1 560 tonnes de feuilles de Gnetum pour un montant total de 300 millions de FCFA, ainsi que la vente de 1 382 tonnes de miel pour 1 505 000 000 FCFA (Kimpouni, 2001). Elles constituent la seconde source d'emploi du pays après le secteur des combustibles fossiles. Sa contribution au PIB est d'environ 6 % (De Wasseige et al., 2015), contre 2,5 % pour les activités agricoles. Ces services socio-économiques sont très innovants selon l'Association technique internationale des bois tropicaux (2007).

Par ailleurs, le domaine forestier de l'État comprend le domaine forestier permanent (DFP) et le domaine forestier non permanent (DFnP). Le DFP a une superficie de 19,7 millions d'hectares, dont 70 % de forêt dense, 20 % de forêts mixtes et 10 % de surfaces non forestières, tandis que le DFnP, qui couvre 23 % du territoire national, est constitué de 59 % de forêts mixtes et de 41 % de mosaïques agriculture-forêt (Mertens et al., 2012). Les forêts de production, notamment les concessions forestières, occupent 14,7 millions d'hectares. Pour la décennie 2010-2020, le taux annuel de déforestation et de dégradation forestière est de 0,06 %. Sur le plan institutionnel, le Ministère de l'Économie Forestière (MEF) assure la gestion des ressources forestières. Ainsi, le domaine de production s'étend sur plus de 15 millions d'hectares (environ 75 % de la forêt congolaise), parmi lesquels 14 millions sont administrés par 60 concessions forestières (Korwin, 2021). La superficie aménagée des Unités Forestières d'Aménagement (UFA) est de 8 166 230 ha, contre 4 687 495 ha (MEF, 2021). L'unité forestière d'aménagement Ipendja, concernée par cette étude et dont la durée de rotation est de 30 ans (2012-2041), présente ce même taux de déforestation (MEF, 2012).

La régénération de la classe de diamètre de 10 à 69,99 cm et la reconstitution des tiges d'espèces exportées à la première rotation se traduisent par la raréfaction des gros diamètres d'espèces objectives (Karsenty et Gourlet-Fleury, 2006), aux conséquences irréversibles. Les prélèvements excessifs en volumes d'essences commerciales par endroits s'interprètent comme un pas vers le sabotage de la ressource existante (Karsenty et al., 2016) qui va conduire à la révision du plan d'aménagement. Cela a un impact négatif sur la régénération naturelle par suppression des semenciers de certaines espèces qui ravitaillent la banque des graines du sol et favorisent la

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

pérennisation de celle-ci (Douh, 2018). La composition structurelle de la forêt est affectée, de même que la régénération et la reconstitution, si bien que ces essences deviennent vulnérables (Sepulchre et al., 2008). Il sera nécessaire que les concessionnaires définissent des règles de prélèvement spécifiques à chaque site et s'impliquent dans la régénération assistée, pour une gestion durable de la ressource.

Face à cela, l'amélioration de la gouvernance forestière et l'établissement d'un cadre de coopération pour la mise en œuvre d'un système national de vérification de la légalité et de la traçabilité de l'extraction et de l'exportation des grumes de bois vers l'UE ont permis de réduire le phénomène de déforestation (Louzolo, 2021). Toutefois, parmi les défis à relever figure notamment le financement des membres de la société civile impliqués dans la réglementation de l'exploitation des ressources forestières, afin de pallier leurs difficultés à demander des comptes aux exploitants forestiers, en lien avec les représailles (Korwin, 2021).

Au regard des multiples services et usages, la gestion durable de la forêt congolaise est une nécessité. Dans la perspective d'une exploitation à long terme et d'une gestion durable des cinq espèces retenues, à savoir *l'Entandrophragma cylindricum* (Sapelli), l'Entandrophragma utile (Sipo), le Khaya anthotheca (Acajou), le Pterocarpus soyauxii (Padouk) et l'Afzelia bipindensis (Doussié), une étude de la régénération et de la reconstitution a été menée dans l'unité forestière d'aménagement (MDDEFE, 2012). Elle a consisté à évaluer les conditions de régénération des tiges de la classe de diamètre de 10 à 69,99 cm dans des placettes exploitées de 50 ha et d'examiner la probabilité de la bonne reconstitution à six (6) ans et la projection à 30 ans après la coupe d'exploitation de 2018.

Cette étude s'inscrit donc dans une perspective d'analyse de la capacité de régénération des essences exploitées afin d'évaluer le potentiel de reconstitution de la forêt après exploitation. En effet, dans l'UFA Ipendja du Nord Congo, l'exploitation forestière pourrait compromettre la régénération naturelle des essences commerciales. Or, la durabilité de la ressource dépend de la capacité de ces espèces à se reconstituer naturellement après la coupe. Quelle est alors la dynamique de régénération naturelle de ces cinq essences et dans quelle mesure leur reconstitution permet-elle d'assurer la pérennité de la forêt exploitée ? Il est supposé que la capacité de régénération naturelle des cinq essences commerciales dans la zone exploitée de l'UFA Ipendja varie selon les espèces et les conditions écologiques locales, influençant ainsi le taux global de reconstitution de la forêt. Pour vérifier cette hypothèse, une approche méthodologique adaptée a été mise en place à travers la collecte de données de terrain et leur analyse.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Matériel et méthodes

Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée dans l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) Ipendja, établie par l'arrêté n°4432 / MDDEFE / CAB. du 24 mars 2011. Les différentes subdivisions de l'UFA en UFP sont présentées à la Figure 1. Située dans le département de la Likouala, cette UFA s'étend sur 461 296 hectares de forêt dense sempervirente et semi-décidue, comme indiqué dans le Plan d'Aménagement élaboré par le Ministère du Développement Durable et de l'Environnement pour la période 2012-2041 (MDDEFE, 2012).

Les essences sélectionnées pour leurs qualités de bois et leurs usages traditionnels comprennent *l'Entandrophragma cylindricum* (Sapelli), représentant 80 % des prélèvements, l'*Entandrophragma* utile (Sipo) à 15 %, ainsi que le *Khaya anthotheca*, le *Pterocarpus soyauxii* et l*'Afzelia bipindensis* à 5 %. Appartenant aux familles des *Meliaceae et des Fabaceae*, ces essences ont des volumes de prélèvement estimés à 49 027 m³/an pour le Sapelli et 5 525 m³/an pour le Sipo. Un prélèvement excessif, sans gestion durable, menace leur pérennité et a déjà conduit à un déficit dans la reconstitution des espèces, comme l'indique le plan d'aménagement.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

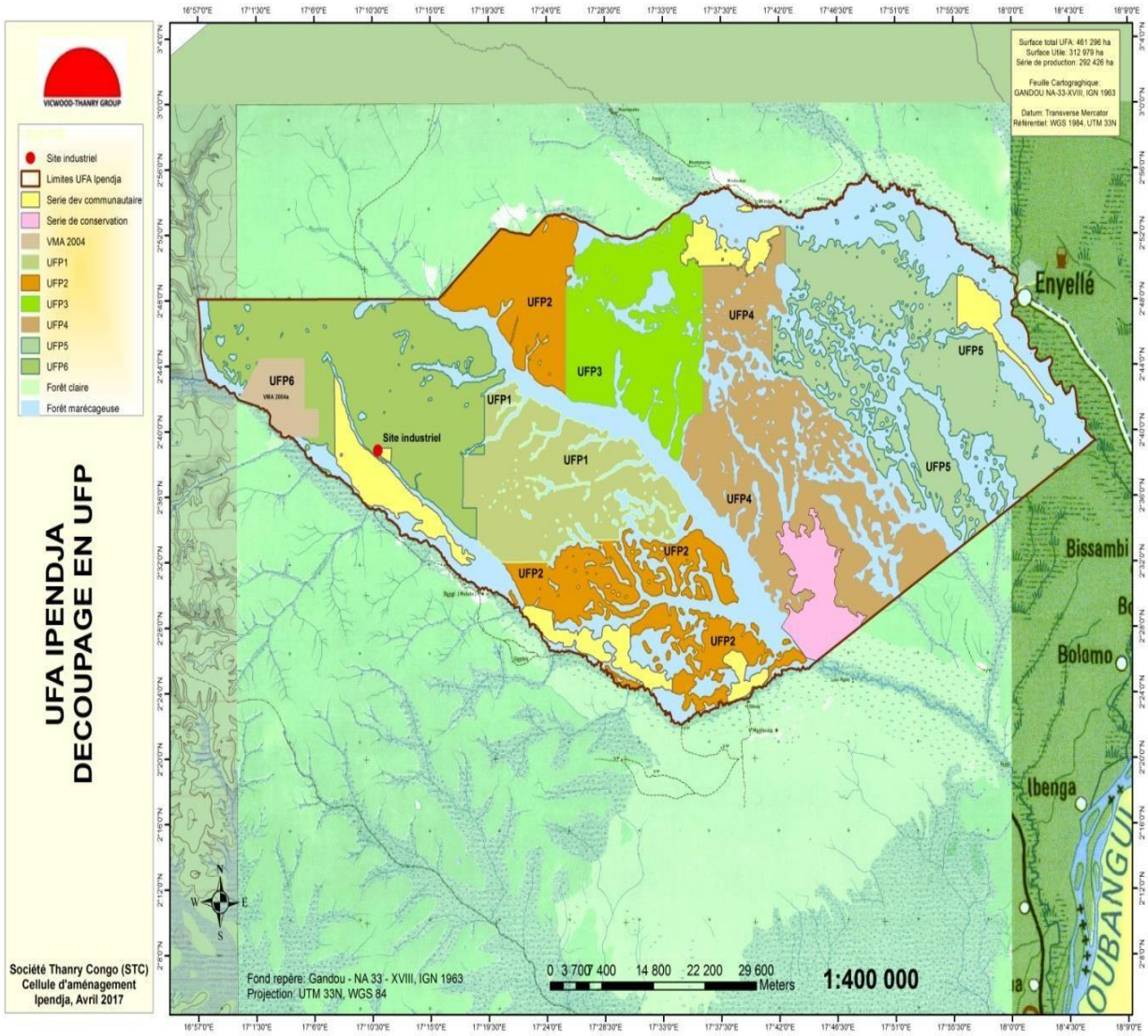


Figure 1: La subdivision en Unités Forestières de Production (UFP), de l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) Ipendja ; Société Thanry-Congo (2012)

Matériel utilisé

Pour la réalisation de cette étude, le matériel utilisé comprenait :

- ✓ une machette pour la délimitation des placettes ;
- ✓ un compas forestier Digitech Green Gator Eyes pour mesurer les diamètres des arbres ;
- ✓ un pentamètre pour la mesure des côtés des placettes ;
- ✓ une boussole TopoChaix pour l'orientation.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Méthode de collecte des données

L'étude s'est déroulée en deux volets : l'installation des placettes et l'inventaire systématique. Des placettes ont été installées dans trois parcelles de 50 hectares (1000 x 500 m), désignées G13, F13 et D14 par la société Thanry-Congo en 2018. Chaque parcelle a été subdivisée en placettes de 100 x 25 m, avec des pistes centrales pour les inventaires à 125 m, 250 m et 375 m, totalisant 76 placettes sur 19 hectares (Figure 2).

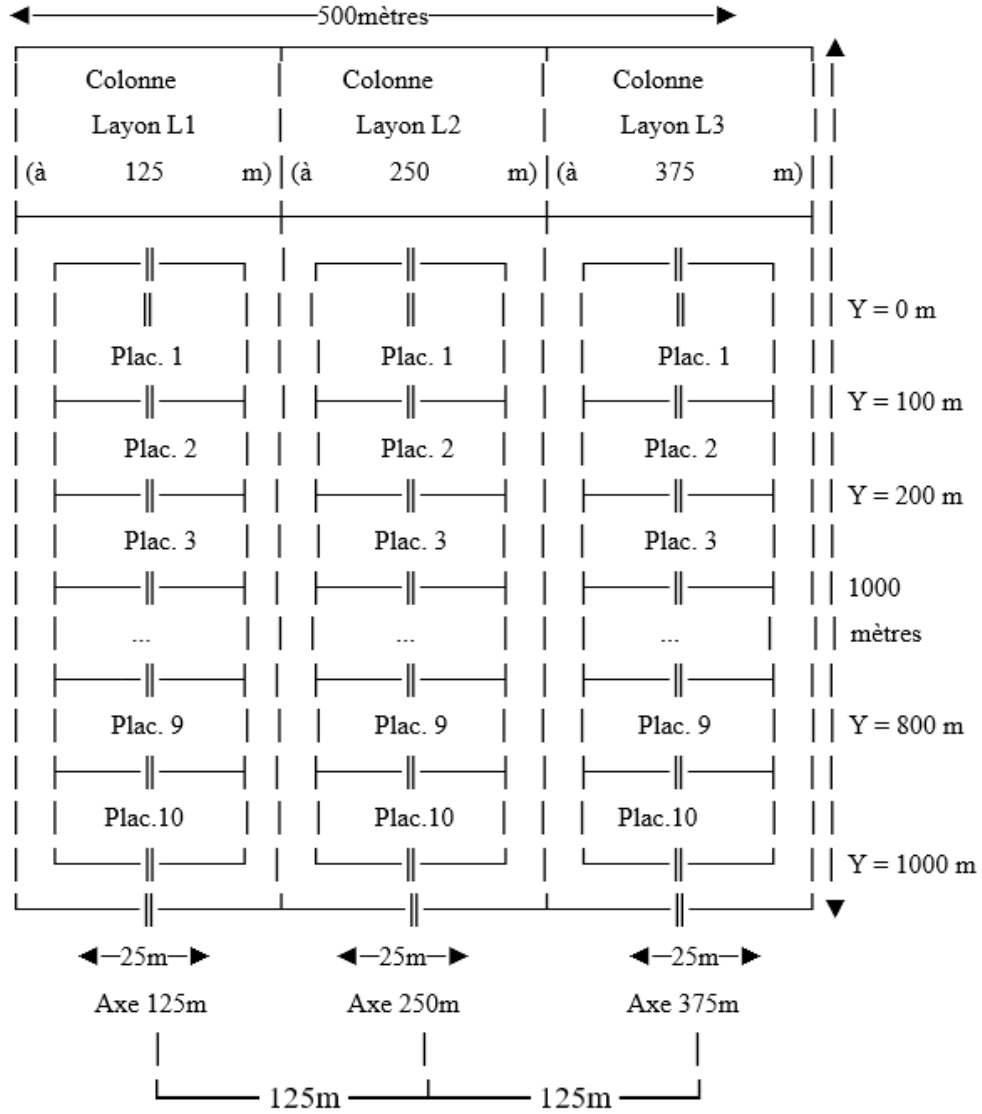


Figure 2: Zoom sur l'implantation centrée, schématisée des 10 placettes (100 X 25) m

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Détail de l'inventaire sur placettes

L'équipe d'inventaire progresse sur l'axe du layon L1 au centre des 125 m de (0 à 1000) m. Les mesures dendrométriques et les comptages de régénération s'effectuent à l'intérieur du couloir de 25 mètres de large ainsi délimité.

	<-Largeur totale =25 m->		
Forêt résiduelle hors inventaire	**12,5 m à G**	**12,5 m à D**	**Forêt résiduelle hors inventaire**

▲

AXE DU LAYON CENTRAL DES INVENTAIRES
(Ligne rouge jalonnée)

Figure 3: Zoom sur l'implantation centrée d'une placette (100 X 25) m AAC1-2018

La parcelle D14 comporte moins de placettes en raison de sa forme triangulaire, à la limite de l'UFA Ipendja et de l'UFA Lopola.

- ✓ L'inventaire systématique a permis de mesurer toutes les tiges dans chaque placette, en prenant en compte 12,5 m de chaque côté de la piste centrale, garantissant des données précises sur la composition et la structure des essences.
- ✓ En parallèle, la faune sauvage et la pression anthropique ont été inventoriées par le relevé des indices de présence d'espèces protégées et d'activités illégales sur le terrain, couplé à l'analyse des registres de saisies anti-braconnage de l'UFA Ipendja.

Analyse des indices d'importance écologique

Pour l'analyse des indices d'importance écologique des cinq espèces (Sapelli, Sipo, Padouk, Doussié, Acajou), les variables évaluées comprenaient le taux de régénération, la densité absolue, la densité par famille, la densité relative, la diversité relative, le coefficient de mélange, l'indice de Shannon, l'indice d'équitabilité de Piélou, la richesse spécifique des familles et le taux de reconstitution.

Le taux de régénération (Tr) est calculé en rapportant l'effectif des jeunes tiges à l'effectif total des tiges, multiplié par 100 (Aboubacar et al., 2023) :

$$Tr=\frac{Effectif\ des\ jeunes\ tiges}{Effectif\ des\ tiges\ du\ peuplement}\ x\ 100\ ;$$

La densité absolue (D) a été calculée en rapportant le nombre de tiges (N) à la superficie (S) échantillonnée (Olofsson & Olsson, 2017).

$$D = \frac{Nombre\ de\ tiges\ sur\ la\ superficie\ échantillonnée}{Surface\ échantillonnée}\ ;$$

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

La densité par famille (D/F) a été déterminée par le rapport entre le nombre de tiges de cette famille et la superficie (S) échantillonnée (Ambombo Onguene, 2018)

$$D/F = \frac{Nombre\ de\ tiges\ de\ la\ famille}{Superficie\ échantillonnée} ;$$

La densité relative (DeR) correspond au quotient de la densité d'une famille par la densité totale des familles (Ambombo Onguene, 2018).

$$DeR = \frac{Densité\ d'une famille}{Densité\ totale\ des\ familles} \text{ x } 100 ;$$

La diversité relative (DiR) correspond au produit du nombre d'espèces au sein d'une famille par 100, divisé par le nombre total d'espèces échantillonnées (Mikoungui Gomo et al., 2020).

$$DiR = \frac{Nombre\ d'espèces\ au\ sein\ d'une\ famille}{Nombre\ total\ d'espèces\ échantillonnées} \text{ X } 100 ;$$

Le coefficient de mélange a été déterminé par le rapport entre le nombre d'espèces et le nombre total de tiges inventoriées (Marcon, 2025).

$$CM = \frac{Nombre\ d'espèces}{Nombre\ totale\ de\ tiges\ inventoriée} ;$$

L'indice de Shannon (H') correspond à la valeur négative de la somme des produits de l'abondance relative (Pi) par son logarithme de base 2.

$$H' = -\sum_{|i=1|}^{S} (P_i)\,(log_2 P_i)$$

H'= Entropie de Shannon ou Indice de Shannon ou encore diversité spécifique observée
Pi = ni / N : abondance relative
N = effectif total des espèces
ni = effectif des individus de l'espèce
Log_2 = Logarithme de base 2 ;
(-) (le signe moins) : Permet d'obtenir un résultat positif. Les logarithmes de fractions (Pi) étant négatifs, multiplier par (-1) rend l'indice final positif.
({i=1} à (S) : Le symbole de sommation. Il indique qu'il faut additionner les calculs faits pour chaque groupe ou espèce, de la première (i=1) jusqu'à la dernière (S).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

(S) : La richesse spécifique totale. C'est le nombre total de familles ou de groupes d'espèces présents dans votre échantillon.

L'indice d'équitabilité de Piélou a été calculé en rapportant l'indice de Shannon au logarithme de base 2 de la diversité maximale.

$$\mathbf{E}=\frac{H'}{log2S}$$

H'= Entropie de Shannon ou Indice de Shannon ou encore diversité spécifique observée
S = Richesse spécifique (nombre total d'espèces)
Log_2 S = Diversité maximale;

La dominance relative est calculée en divisant la surface terrière d'une famille ou d'une espèce par la surface terrière totale des familles, puis en multipliant le résultat par 100 (Kimpouni, 2017).

$$\text{DoR} = \frac{Surface\ terrière\ d'une famille\ ou\ d'une\ espèce}{Surface\ terrière\ totale\ des\ familles} X100 \text{ ;}$$

La richesse spécifique des familles par espèces correspond à la somme de la dominance relative, de la diversité relative et de la densité relative, dont l'expression mathématique est la suivante (Kimpouni, 2017) :

$$\text{FIV} = \text{DoR}+\text{DiR}+\text{DeR} \textbf{ ;}$$

Taux de reconstitution : Le taux de reconstitution est un indicateur du potentiel exploitable à la rotation, basé sur les proportions entre les effectifs à abattre et ceux déjà abattus selon la durée de la rotation (Durrieu & Forni, 1997). Parmi les cinq essences, le Padouk, le Doussié et l'Acajou sont exploitables jusqu'à 80 et 90 cm de diamètre, tandis que le Sipo et le Sapelli le sont à partir de 80 cm. Le taux de reconstitution a été calculé uniquement pour le Padouk et le Sapelli.

$IR\ (\%) = [N0.\ (1 - \Delta).\ (1 - \alpha)^{T} / Np] \times 100$

Avec

$T = DME\text{-}D_{bi} / AAM$

% Re (t) = taux de reconstitution de tiges initialement exploitables (≥ DME) au temps t ;
N0 = effectif qui aura dépassé 60 cm de diamètre en 30 ans (arbres d'avenir) ;
Np = nombre de tiges de diamètre supérieur à 60 cm ;
σ = taux de mortalité annuelle ;
α = taux de dégâts dû à l'exploitation (10 %) ;
T = temps de passage, soit 30 ans (2012-2042), l'UFA (Ipendja).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Analyse des données : Le logiciel Microsoft Excel 2016 a été utilisé pour calculer les proportions et réaliser des représentations graphiques. Par la suite, les données ont été transférées dans SPSS version 0.2 pour comparer les moyennes à l'aide des tests de Mann-Whitney, de Student et de Kruskal-Wallis, tandis que les proportions ont été comparées avec le test Z.

Résultats

Inventaire systématique

Il a été recensé 941 tiges réparties en 95 espèces et 35 familles, avec une densité de 49,26 tiges/ha. Les *Fabaceae* sont représentées par 108 tiges, principalement *Pterocarpus soyauxii* (Padouk), et les *Meliaceae* par 106 tiges, dont *Entandrophragma cylindricum*. Les familles *Euphorbiaceae* et *Malvaceae* comptent chacune 91 tiges, dont Macaranga spp. et *Sterculia dawei*.

En revanche, les Dracaenaceae, les Bignoniaceae et les Anacardiaceae comptent respectivement une, deux et trois espèces, plus rarement rencontrées. La forêt semi-décidue abrite également *Tetracera alnifolia*, ainsi que des *Marantaceae* et *Zingiberaceae*, se développant sur les trouées d'abattage sous les Macaranga spp. Une faible régénération des espèces abattues est constatée à 10-15 m de la souche. Cinq espèces d'intérêt ont été relevées : *Entandrophragma cylindricum, Entandrophragma utile, Khaya anthotheca (Acajou), Pterocarpus soyauxii (Padouk) et Afzelia bipindensis (Doussié), inscrites à l'annexe* II de la CITES. Les inventaires des zones exploitée et non exploitée sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1: Nombre de tiges en zones exploitée et non exploitée

Espèces	*Zone non exploitée* $n(\%)$	*Zone exploitée* $n(\%)$	*Significativité*	
			Khi^2	P
Sapelli	184(68,4%)	50(45,5%)	$\chi^2 \approx 22,89$	$p < 0,05$
Sipo	22(8,2%)	8(7,3%)	$ddl = 4$	
Acajou	9(3,3%)	4(3,6%)	$p \approx 9,488$	
Padouk	41(15,2%)	41(37,3%)		
Doussié	13(4,8%)	7(6,4%)		

$NS : Différence\ significative\ p < 0,05$

La zone non exploitée présente un nombre d'espèces et de spécimens supérieur à la zone exploitée, qui a connu une réduction significative des effectifs de certaines espèces (χ^2 = 22,89 ; ddl = 4 ; p < 0,05). L'analyse factorielle des correspondances (AFC) réalisée sur les effectifs des espèces met également en évidence une structuration nette et statistiquement significative (χ^2 = 22,89 ; ddl = 4 ; p < 0,05) de la composition floristique entre les deux contextes sylvicoles. Cette variation souligne l'impact de l'exploitation sur la biodiversité et soulève des préoccupations quant à la durabilité des ressources forestières. L'étude démontre l'effet mesurable de

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

l'exploitation sur la distribution et l'abondance des espèces, mettant en avant la nécessité d'une gestion durable des forêts. La comparaison de deux zones seulement conduit à une analyse mathématique qui ne génère qu'un seul axe réel (axe F1). Cet axe exprime 100 % de l'inertie ($\lambda = 0,065$). L'axe F2 n'a pas de réalité mathématique ici, mais pour respecter une représentation visuelle classique en plan, les essences stables sont projetées près du centre.

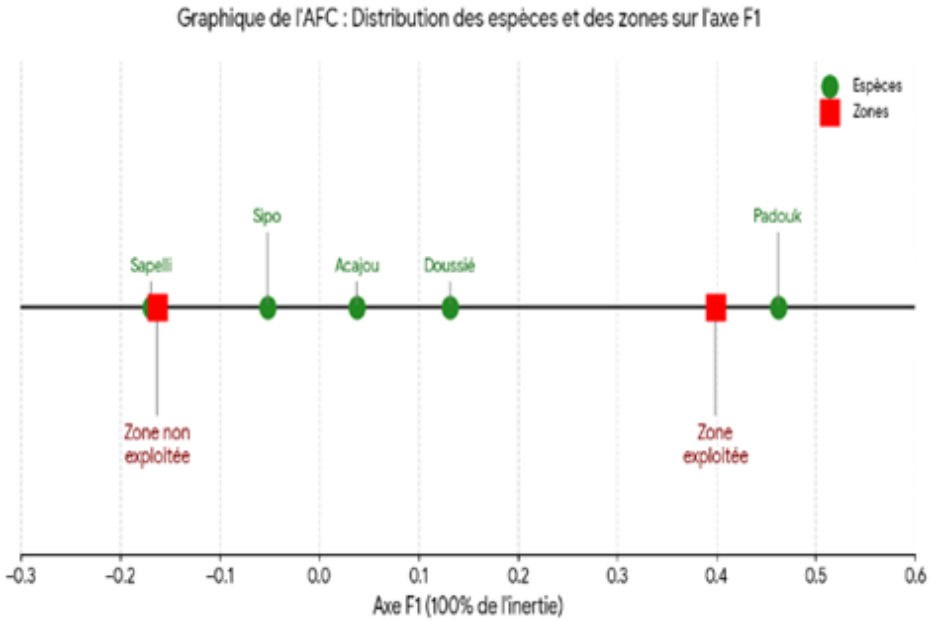


Figure 4: Résumé de l'analyse AFC

La structuration de l'espace factoriel a montré que l'axe F1 absorbe à lui seul 100 % de l'inertie totale du nuage de points. Cet axe traduit exclusivement l'impact de l'exploitation forestière en opposant radicalement la Zone non exploitée (coordonnée négative : -0,16) à la Zone exploitée (coordonnée positive : +0,40).

Le comportement et les affinités des essences se répartissent selon trois pôles : le pôle de conservation, le pôle des essences intermédiaires et le pôle de perturbation.

- le pôle de conservation (Zone non exploitée) : Il est fortement caractérisé par le Sapelli (coordonnée : -0,17) et dans une moindre mesure, par le Sipo (coordonnée : -0,05). La forte attraction du Sapelli vers ce pôle confirme sa grande vulnérabilité face aux activités de prélèvement, matérialisée par une chute drastique de sa représentativité relative passant de 68,4 % à 45,5 % ;
- le pôle de perturbation (Zone exploitée) : Il est massivement dominé par le Padouk (coordonnée : +0,46). Cette position excentrée confirme sa forte dynamique positive post-exploitation, où il profite de

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

l'ouverture de la canopée pour proliférer : il représente 37,3 % des tiges en zone exploitée, contre seulement 15,2 % en zone non exploitée ;

- le pôle des essences intermédiaires : l'Acajou (+0,04) et le Doussié (+0,13) occupent des positions plus centrales. Leurs profils équilibrés traduisent une distribution relativement proche et stable entre les deux types de peuplements, indiquant une résilience ou une pression de sélection plus modérée à ce stade.

Cette configuration factorielle démontre de manière mesurable l'effet direct de l'exploitation sur l'abondance relative des essences. La régression sévère du Sapelli au profit de l'explosion du Padouk souligne un glissement de la biodiversité qui soulève des préoccupations majeures quant à la durabilité des ressources forestières à long terme. Ces résultats mettent en avant la nécessité d'ajuster les plans d'aménagement (rotations, diamètres de coupe) pour préserver les structures initiales des peuplements.

En faune

La forêt est fortement anthropisée et présente plusieurs pistes de passages de braconniers. Les observations directes ont permis de rencontrer une dizaine de douilles de cartouches de chasse de calibre douze (12), des terriers de pangolins géants, deux groupes de quatre (4) à cinq (5) nids de grands singes à même le sol, réalisés à partir des feuilles de marantacées *Haumania liebrechtsiana* de Wild et Léonard (Bocquet et al., 2020), et plusieurs crottes d'ongulés de taille moyenne (Cephalophus callipygus, Philantomba monticola, etc.), ainsi que les saisies de l'unité de lutte anti-braconnage de l'UFA Ipendja. Ces données sont présentées dans le Tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2: Indices de la pression anthropique des riverains

Objets saisis en 2023 / 2024	*Ouverture de la chasse*	*Fermerture de la chasse*	*Total*	*Significativité*	
				Khi2	*p*
Munition	23	56 *	79	$\chi 2 = 28{,}70$	P < 0,05
Armes	02	04 *	06	$ddl = 2$	
Gibiers (kg)	552	376,5 *	928,5	$p \approx 5{,}87$	

$*$: *Différence significative* ($p < 0{,}05$)
ce tableau provient des inventaires de la faune

Les résultats montrent que le nombre de munitions et d'armes saisies à la fermeture de la chasse est supérieur à celui observé à l'ouverture. En revanche, le poids des gibiers saisis à la fermeture est significativement réduit par rapport à l'ouverture. Une différence hautement significative existe entre les saisies lors de ces deux périodes. De plus, la nature et la quantité des objets saisis varient selon la période de chasse.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

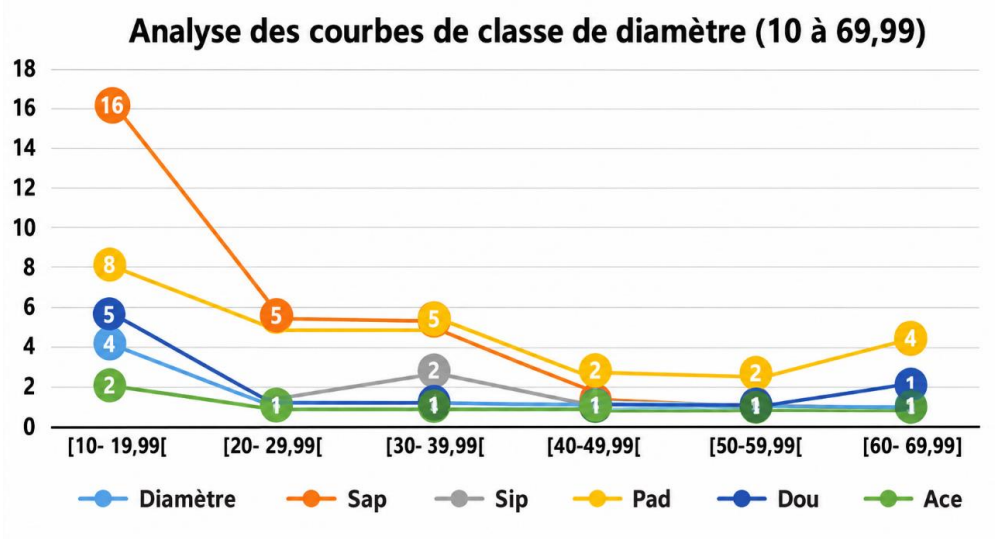
Taux de régénération : ils sont résumés par essence dans le Tableau 1 ci-dessus et leur densité dans le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3: Taux de régénération par classes de diamètre

Espèces	[10 - 19,99]	[20 - 29,99]	[30 - 39,99]	[40 - 49,99]	[50 - 59,99]	[60 - 69,99]	Significativité	
							Khi²	P
Sapelli	16	5	4	1	0	1		
Sipo	5	0	2	0	0	0	χ^2=13,77	0,842
Padouk	8	5	5	2	2	4	ddl = 20	
Doussié	4	1	1	0	0	1		
Acajou	2	1	1	0	0	0		

Les résultats indiquent qu'aucune différence significative n'est apparue entre les classes de diamètre des cinq espèces commerciales (χ^2 = 13,77 ; ddl = 20 ; p = 0,842). Ainsi, on en déduit que le taux de régénération n'est pas corrélé aux diamètres des espèces.

Figure 5: Courbe des effectifs des classes de diamètre



Sap=sapelli, Sip=sipo,Pad=padouk,Dou= doussié Aca= acajou

La Figure 4 a mis en évidence une régénération abondante mais déséquilibrée, dominée par quelques espèces (Sapelli et Padouk). La faible représentation des autres essences augmente le risque de réduction de la diversité spécifique future, d'où la nécessité d'interventions sylvicoles ciblées pour favoriser un équilibre entre essences commerciales.

Densité absolue des espèces inventoriées (D) par classe de diamètre : Aucune différence significative n'a été observée dans la répartition des essences selon les densités absolues dans chaque classe de diamètre, indiquant une structure diamétrique relativement homogène entre les essences (Tableau 4).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Tableau 4: Densités absolues par essence de l'UFA Ipendja

Espèces	[10 - 19,99]	[20 - 29,99]	[30 - 39,99]	[40 - 49,99]	[50 - 59,99]	[60 - 69,99]	Significativité	
							Khi²	P
Sapelli	0,84	0,26	0,21	0,05	0	0,05	$\chi^2 \approx 4,68$	
Sipo	0,26	0	0,11	0	0	0		
Padouk	0,42	0,26	0,26	0,11	0,11	0,21	ddl =20	p≈0,999 NS
Doussié	0,21	0,05	0,05	0	0	0,05		
Acajou	0,11	0,05	0,05	0	0	0		

NS : Différence non significative (p<0,05)

Densité absolue par famille

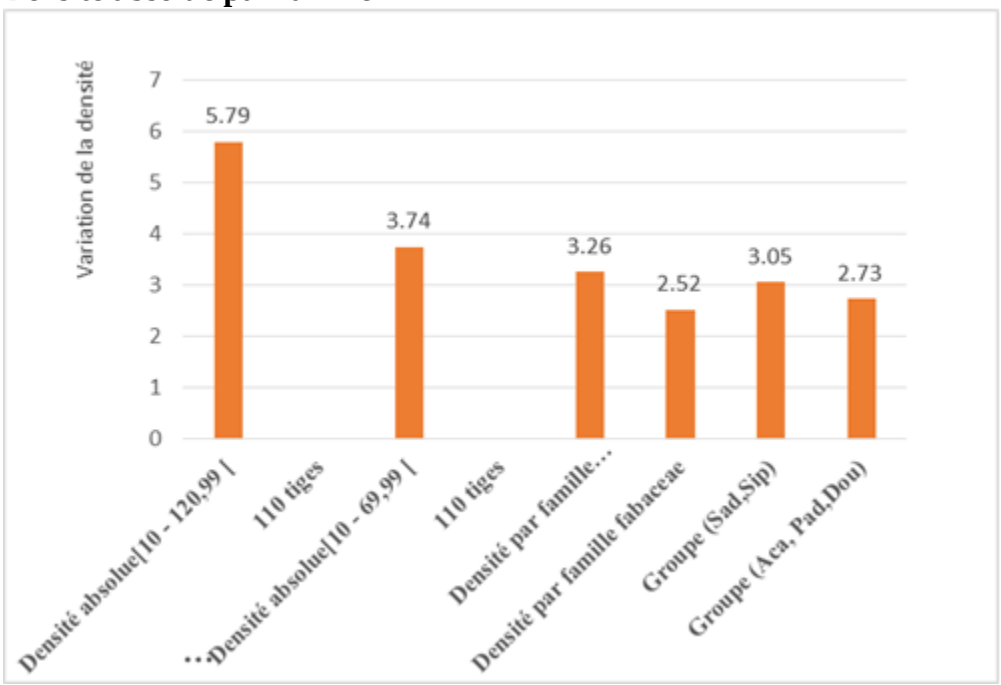


Figure 6: Des densités absolue, par famille des cinq espèces (fabaceae et meliaceae) et par groupe

La Figure 5 montre une forte concentration de tiges au niveau global (5,79), mais cette densité diminue lorsqu'elle est analysée par familles, et tend à s'équilibrer autour de valeurs moyennes d'environ 2,5 à 3,2. Cela indique que l'abondance est principalement due à quelques familles dominantes, tandis que les autres groupes affichent une régénération plus homogène mais modérée.

Différentes densités et dominances relatives : La Figure 7 révèle que la dominance relative des *Fabaceae* (84,29 %) prédomine sur celle des *Meliaceae* (61,96 %), avec une dominance de 15,69 %, bien que ces dernières présentent une densité plus élevée (56,40 %) que les *Fabaceae* (43,59 %). Les groupes spécifiques affichent des valeurs intermédiaires (52,76 % pour le

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Sapelli et le Sipo, 47,23 % pour le Padouk, le Doussié et l'Acajou), ce qui indique une distribution équilibrée. En résumé, la figure met en évidence une forte diversité floristique dominée par les *Fabaceae*, avec une densité supérieure chez les *Meliaceae*.

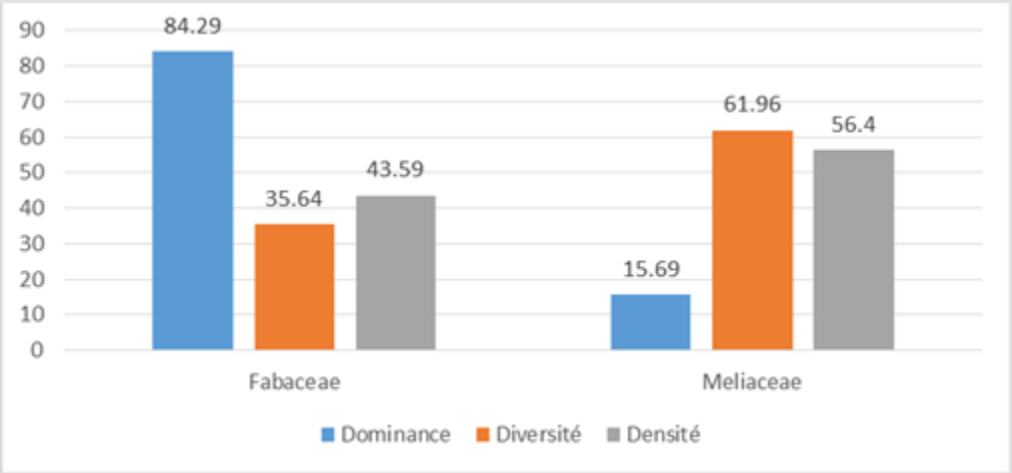


Figure 7: Cette figure provient du regroupement des indices de densités,diversité et dominance tous relatives

Reconstitution : Le Sapelli est l'espèce la plus représentée, avec 8 individus dans la classe [90-99,99], suivi du Padouk avec 5 individus dans les classes [80-89,99] et [90-99,99]. Les espèces Sipo et Doussié sont très peu représentées, n'ayant qu'un individu chacune dans les classes [70-79,99] et [110-119,99]. En résumé, la distribution montre une forte concentration de Sapelli et Padouk dans les classes moyennes de diamètre, tandis que les autres espèces restent marginales (Figure 8).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

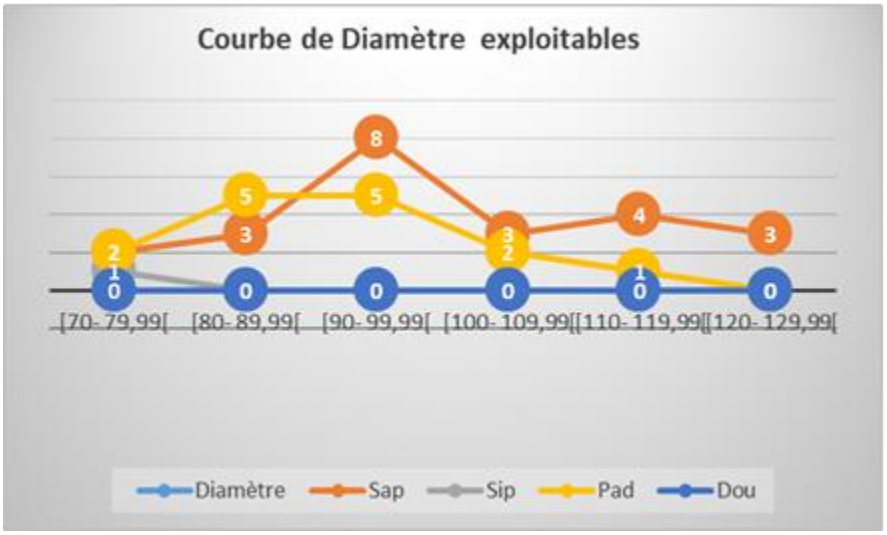


Figure 8: Les courbes de répartition en classes de diamètre pour cinq espèces

Taux de reconstitution : le Tableau 5 présente les effectifs et les moyennes avec écart-types pour le Sapelli et le Padouk.

Tableau 5: Effectifs, moyennes associées aux écart-types des cinq essences post exploitation âgée de 6 ans

Espèces	n (x⍰±δ)	**U**	**Z**	**r**	p-value
Sapelli Padouk	46 (57,17±43,38) ***** 25 (43,00±33,70)	230,0	4,22	0,50	0,000024
NS : Différence significative **(p < 0,001)**					

Le test de Mann-Whitney révèle une différence hautement significative et de forte ampleur (U = 230,0) ; (p < 0,001) ; (r = 0,50) entre les taux de reconstitution du Sapelli (57,17 ± 43,38) et du Padouk (43,00 ± 33,70) six ans après l'exploitation.

Le Tableau 6 présente les moyennes et écarts-types des diamètres et du nombre de tiges de Sapelli et de Padouk, six ans après exploitation dans les placettes de l'UFA Ipendja.

Tableau 6: Comparaison des taux de reconstitution du Sapelli et du Padouk pour les durées (T = 6 et T = 30 + Δ(DME) de la croissance / essence

DME (Sap /Pad)	DME +15 cm	DME +13,5 cm	Effectif Exploitable		IR% T= 6 ans		IR% T = 30 ans	
T= 6 ans	Sapelli	Padouk	Sapelli	Padouk	Sapelli	Padouk	Sap+15 Cm	Pad+13,5 cm
80	95	93,5	3	5	4,65	24,99	34,89	51,23
90	105	103,5	8	5	9,21	12,76	34,89	35,86
100	115	113,5	3	2	13,68	30,91	22,2	15,37

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Tableau 6 (suite). Comparaison des taux de reconstitution du Sapelli et du Padouk pour les durées de T= 60 ans + Δ (DME) et T= 90 ans + Δ (DME) de la croissance/essence

DME (Sap/Pad)	DME + 30 cm	DME +27 cm	Effectif Exploitable		IR% T= 60 ans		IR% T = 90 ans		
T=30 ans	Sap+30 Cm	Pad+27 cm	Sapelli	Padouk	Sapelli	Padouk	Sap+45 cm	Pad+40,5 Cm	Plus rein au DME=8**0**
80	80	87	1	4	73,26	23,93	85	80,5	0
90	90	97	2	2	24,42	23,93	0	90,5	0
100	100	0	0	0	0	0	0	0	0

T = durée de rotation ; IR % = taux de reconstitution ; Sap = Sapelli ; Pad = Padouk ; DME = 80 et 90 cm. (DME + 15 cm) = diamètre minimal exploitable plus une croissance de 13,5 cm, de 15 cm, de 40,5 cm, jusqu'à 45 cm

Dans les UFA aménagées, le taux de reconstitution des espèces prises individuellement est de 30 % et celui des espèces groupées de 50 % (RDC, 2017 ; MEDDEFE, 2017). Dans le plan d'aménagement de l'UFA Ipendja, l'IR % du Sapelli (Sap) est de 20 % et celui du Padouk (Pad) de 100 % (MDDEF, 2012).

Les résultats des taux de reconstitution sont consignés dans le tableau ci-après.

Tableau 7: Fréquence, pourcentage des tiges, moyenne et écart-type des diamètres de Sapelli et de Padouk à 6 ans et tous les 30 ans post exploitation dans les placettes de l'UFA Ipendja

Variation de pér an	*Sapelli* ($n = 21$)	*Padouk* ($n = 13$)	$\mu/z/t$	$P - value$
Nombre de tiges	50 (54,95%)	41(45,05%)	1,34	*NS*
Diamètres à 6 *an*	98,57 ± 13,15 *	89,23 ± 9,54	80	0,0401
Diamètres à 30 *a*	113,10 ± 13,27 **	102,73 ± 9,54	2,64	0,0128
IR (%) à 6 *ans*	14,93 ± 9,91	21,46 ± 7,84	82,00	*NS*
IR (%) à 30 *ans*	23,26 ± 13,91	36,26 ± 15,74 *	46	0,0011
Variable de période/ an	*Sapelli* ($n = 3$)	*Padouk* ($n = 6$)	$\mu/z/t$	$P - value$
Nombre de tiges	29(48,84%)	28(51,16%)	1,96	**Différence Significative**.
Diamètre à 60 ans	9 0 ± 10	92 ± 7,07	2	0,756
IR (%) à 60 *ans*	48,84% ± 34,55%	23,93% ± 0%	0,75 2	0,0 15/ 0,453
IR (%) à 90 *ans*	*L'application de la formule Dierrieu et Forni donne zéro ou*			
NS : *Différence non significative*	*IR* : *Indice de reconstitution*			
* : *Différence significative* $p <$ 0,05	*Ce tableau provient de l'analyse du tablea dessus*			
* : *Différence significative* ($p <$ 0,01)				

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Les résultats indiquent qu'à six ans après exploitation, il n'y a pas de différence dans le nombre de tiges entre le Sapelli et le Padouk, mais le Sapelli présente des diamètres significativement plus élevés ($p < 0,05$). À 30 ans, le Sapelli continue d'avoir un diamètre supérieur ($p < 0,01$), tandis que l'indice de reconstitution (IR%) du Padouk est plus élevé à 30 ans. À 60 ans, une différence significative persiste ($p < 0,05$), mais les résultats deviennent nuls à 90 ans. Ces observations soulignent l'importance de la croissance en diamètre et de la capacité de régénération pour évaluer la durabilité des essences en exploitation forestière.

Discussion

L'objectif de cette étude est d'évaluer la régénération naturelle et la reconstitution de cinq essences commerciales dans l'UFA Ipendja, au nord du Congo, exploitée par Thanry-CONGO. L'hypothèse postule que la régénération des essences varie selon les espèces et que le taux de reconstitution diffère significativement entre les zones exploitées et non exploitées sur 19 ha, indiquant l'impact de l'exploitation forestière sur la dynamique de régénération des forêts. L'étude comprend un inventaire systématique et des analyses des indices d'importance écologique et de reconstitution, fournissant des données quantitatives fiables sur la structure et la dynamique des essences pour une évaluation objective de l'impact de l'exploitation (Eba'a Atyi et al., 2021).

Richesse spécifique et potentiel de régénération du peuplement

Le massif forestier étudié présente une diversité floristique globalement préservée et une fragmentation taxonomique élevée, malgré une baisse drastique de sa densité structurelle globale. La forte régularité de la fréquence spécifique (égale à un) prouve que l'écosystème n'a pas subi d'homogénéisation par le vide. L'exploitation forestière de 2018 a sélectivement prélevé les tiges marchandes de fort diamètre ; ce qui explique la faible densité résiduelle à l'hectare. Cependant, ce prélèvement ciblé n'a pas annihilé le stock des espèces compagnes ni la biodiversité globale du sous-bois, ni encore moins le potentiel de résilience de la forêt. Cette situation s'accorde avec les observations historiques de Schnell (1970) sur la mosaïque des forêts denses humides, où la richesse en genres et en espèces reste diffuse mais résiliente. Plus récemment, Doucet (2004) et Gourlet-Fleury *et al.* (2013) ont démontré que l'exploitation sélective en Afrique centrale modifie temporairement la structure des diamètres (densité des gros arbres) sans pour autant provoquer un effondrement immédiat de la richesse spécifique globale, à condition que les dégâts d'abattage soient contrôlés.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Persistance des essences commerciales (*Fabaceae et Meliaceae)* et dynamique de résilience

Les familles des *Fabaceae* et des *Meliaceae* demeurent les piliers structurels du peuplement. L'abondance persistante du Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) et du Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) indique que la valeur économique et écologique de cette forêt n'est pas définitivement compromise après la coupe.

Les *Fabaceae* bénéficient d'un avantage physiologique majeur, en l'occurrence la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Ce mécanisme leur permet de coloniser efficacement les sols perturbés et compactés par les engins de débardage. Concernant les *Meliaceae,* leur forte représentation post-exploitation s'explique par une stratégie de reproduction efficace (dispersion anémochore des graines par le vent) et par le maintien probable de semenciers (arbres porteurs de graines sous le diamètre minimum d'exploitation) lors des coupes de 2018.

Ce constat corrobore les travaux de Koubouana *et al.* (2016) et de Forni *et al.* (1997) dans le Bassin du Congo. Ces chercheurs soulignent que les *Fabaceae* dominent presque toujours les classements d'importance écologique dans les forêts denses d'Afrique centrale. De plus, Hall *et al.* (2003) confirment que le genre *Entandrophragma* possède une dynamique de régénération naturelle robuste en zone perturbée, validant le fait que ces essences commerciales clés peuvent tolérer un certain niveau de perturbation anthropique.

Secondarisation floristique et prolifération des espèces pionnières (*Euphorbiaceae et Malvaceae*)

Le tissu forestier est entré dans une phase active de cicatrisation et de transition secondaire, marquée par une modification profonde de la composition sociologique végétale au profit d'espèces opportunistes.

L'ouverture de la canopée en 2018 a brutalement rompu l'ombrage continu de la forêt primaire. L'augmentation du rayonnement lumineux direct au sol et la hausse de la température de surface ont levé la dormance des graines photoblastiques positives présentes dans la banque du sol. Des essences héliophiles strictes et à croissance rapide, telles que *Macaranga spp.* (*Euphorbiaceae*) et *Sterculia dawei* (*Malvaceae*), ont profité de ces trouées de lumière pour saturer l'espace libéré par l'exploitation.

Ce phénomène de vagues de colonisation est parfaitement décrit par Hawthorne (1995) et de Namur (1993), qui définissent le genre *Macaranga* comme le bio-indicateur universel de la dégradation des forêts africaines. Les auteurs contemporains comme Morin-Rivat *et al.* (2017) s'accordent à dire que l'abondance conjointe des *Euphorbiaceae* et des *Malvaceae* (anciennement *Sterculiaceae*) caractérise la signature écologique typique d'une forêt en phase

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

de succession secondaire post-exploitation, évoluant lentement vers un stade de forêt mature. Ces résultats s'expliquent par la bonne santé de la forêt, qui présente une grande diversité d'espèces (Xavier, 2024).

En revanche, les Dracaenaceae (Dracaena arborea Willd.), les Bignoniaceae et les Anacardiaceae comptent respectivement une, deux et trois espèces, moins fréquentes. Dans cette forêt semi-décidue, on observe la liane *Tetracera alnifolia* ainsi que des *Marantaceae* et *Zingiberaceae* rares, se développant sur les trouées d'abattage et les pistes de débardage, sous des Macaranga spp. de 10 à 60 cm de diamètre, dont certains commencent à se dessécher. La régénération d'espèces abattues est faible à une distance de 10 à 15 m de la souche, probablement en raison de la compétition pour la croissance. La classe de diamètre de 180 à 20 cm montre une forte régression, comme indiqué dans le plan d'aménagement de l'UFA Ipendja, (MDDEF, 2012). Cette régression dans les classes de diamètre les plus jeunes indique une dynamique de compétition intense, pouvant modifier la structure et la composition future du peuplement forestier. Cette dynamique est corroborée par les travaux de Bühler et al. (2014).

L'analyse comparative entre la zone exploitée et la zone non exploitée met en évidence des variations significatives des effectifs selon les espèces, soulignant l'impact de l'exploitation sur la régénération forestière. La zone non exploitée présente un plus grand nombre d'espèces, tandis que la zone exploitée montre une diminution notable des effectifs pour certaines espèces : Sapelli (184 vs 50), Sipo (22 vs 8), Acajou (9 vs 4), Padouk (41 vs 41) et Doussié (13 vs 7). Ces résultats indiquent un impact négatif sur la biodiversité, soulevant des préoccupations concernant la durabilité de l'exploitation forestière, d'où la nécessité de revoir les pratiques en faveur d'une gestion durable (Bühler et al., 2014) pour assurer la pérennité des ressources.

Structure diamétrique globale et dynamique d'indépendance des essences

L'organisation des effectifs d'arbres par classes de dimensions suit une trajectoire structurelle homogène et globalement similaire, quelle que soit l'essence forestière considérée. L'indépendance statistique validée démontre que le peuplement résiduel conserve un profil de répartition partagé, bien que des fluctuations locales spécifiques s'amorcent pour les essences phares du commerce (Padouk, Sapelli, Sipo).

Cette absence de différence structurelle globale s'explique par le caractère récent de l'exploitation forestière. Le prélèvement a touché de manière transversale les arbres de taille exploitable toutes essences confondues, sans altérer radicalement la répartition globale par taille des arbres restants. Les légers écarts observés pour le Padouk et le Sapelli dans les dimensions intermédiaires et supérieures indiquent le maintien d'un stock de semenciers ou d'individus juste en dessous du diamètre minimum

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

d'exploitation. À l'inverse, les variations notées chez le Sipo dans les petites dimensions révèlent un sursaut de régénération naturelle, favorisé par la libération d'espace et les trouées de lumière créées lors des coupes.

Cette homogénéité structurelle post-perturbation rejoint les théories de Rollet (1974) sur la distribution des diamètres en forêt dense humide, qui suit classiquement une courbe en « J inversé » partagée par l'ensemble des espèces compagnes. Le maintien d'individus matures de Padouk et de Sapelli après exploitation est également documenté par Gourlet-Fleury *et al.* (2013). Ces auteurs rappellent que la réglementation forestière moderne en Afrique centrale impose des diamètres de coupe stricts ; ce qui préserve artificiellement une structure diamétrique minimale stable d'une espèce à l'autre. Enfin, la présence marquée de jeunes Sipo en sous-bois confirme les conclusions de Doucet (2004), qui qualifie les *Meliaceae* d'essences capables de maintenir une dynamique de recrutement efficace dans les petites classes de taille à la suite de perturbations modérées du milieu.

Ces écarts structurels (ou diamétriques) et écologiques (ou de composition) s'expliquent par des variations environnementales affectant l'accroissement des arbres et l'absence de cernes pendant des périodes de croissance très rapide ou lente (Durrieu de Madron et al., 2000). D'après ces auteurs, d'autres facteurs, comme la densité du peuplement et les techniques de récolte, peuvent également influencer la répartition des diamètres. Toutefois, ces variations restent faibles et ne modifient pas la conclusion globale. La classe de diamètre (10 à 29,99) cm présente plusieurs tiges dont les effectifs tendent à régresser.

Dynamique et distorsion de la régénération naturelle du peuplement

La reconstitution de la strate inférieure du peuplement est quantitativement assurée, mais elle souffre d'un fort déséquilibre sociologique. Le renouvellement de la biodiversité forestière se concentre au profit d'un noyau restreint d'essences commerciales phares, au détriment d'une expression homogène de la richesse spécifique initiale.

Ce déséquilibre s'explique par la conjonction de deux facteurs écologiques majeurs consécutifs à l'exploitation de 2018. D'une part, le Sapelli et le Padouk disposent d'une efficacité de dispersion et d'une agressivité germinative supérieures, stimulées par l'ouverture de la canopée et la perturbation de la litière au sol. D'autre part, le maintien de semenciers matures de ces mêmes essences (observé dans les grandes classes de diamètre) a saturé la banque de graines locale. Les trouées de lumière ont agi comme un accélérateur de croissance pour ces deux essences, étouffant ainsi les semis d'espèces compagnes plus tolérantes à l'ombre ou à croissance plus lente, ce qui rompt l'équilibre de la strate de régénération.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Cette dynamique de régénération sélective et asymétrique valide les observations de Riéra *et al.* (1990) et de Hawthorne (1995) sur le comportement des essences commerciales en zone de perturbation. Ces auteurs soulignent que le Sapelli et le Padouk se comportent fréquemment comme des essences nomades ou pionnières à croissance rapide dès que l'éclairement au sol augmente. Par ailleurs, Gourlet-Fleury et Laroussinie (2004) confirment que la régénération post-exploitation en Afrique centrale est rarement équilibrée ; elle favorise systématiquement les espèces opportunistes dont les semenciers ont été préservés, créant ainsi des vagues de dominance locale qui modifient temporairement la trajectoire floristique future du massif forestier.

N'Dah Kouadio et al. (2020) rapportent des résultats similaires, identifiant une flore riche de 43 espèces appartenant à 26 familles lors de l'évaluation du potentiel de régénération naturelle. Ils ont observé des espèces avec un pourcentage de régénération fort et moyen, utilisées pour la fertilisation du sol, la pharmacopée et l'alimentation, tandis que des espèces ayant un pourcentage de régénération faible servent d'ombrage aux jeunes cacaoyers et à la fourniture en bois d'œuvre. La faible représentation d'autres essences augmente le risque de réduction de la diversité spécifique future, d'où la nécessité d'interventions sylvicoles ciblées pour favoriser un équilibre entre essences commerciales.

Homogénéité structurale globale et dilution de la densité par entités taxonomiques

Le peuplement forestier conserve une uniformité architecturale remarquable à l'échelle globale. L'indépendance statistique stricte confirme que les trajectoires de croissance spatiale et dimensionnelle restent partagées entre toutes les essences. Néanmoins, cette apparente saturation globale masque une réalité écologique interne plus contrastée : la forte concentration d'arbres observée au niveau macroscopique se dilue et s'équilibre dès que l'analyse descend à l'échelle des familles botaniques.

L'homogénéité de la structure en diamètre s'explique par le fait que les forces environnementales et sylvicoles (notamment les perturbations issues de l'exploitation forestière) ont affecté le milieu de manière uniforme, dictant une distribution des tailles similaire pour toutes les espèces compagnes. Cependant, la forte densité globale observée est le produit d'un effet d'accumulation mathématique et écologique de toutes les tiges présentes sur les parcelles. Lorsqu'on ventile cette donnée par famille, cet effet de masse s'estompe. On observe alors une régulation naturelle de l'espace vital, où chaque groupe taxonomique s'équilibre autour de valeurs moyennes modestes en raison de la compétition interspécifique pour les ressources (lumière, nutriments du sol et eau).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Ce phénomène de régulation et d'homogénéité structurale rejoint les principes fondamentaux d'organisation des forêts tropicales décrits par Rollet (1974), qui a démontré que la distribution globale en « J inversé » reste inchangée malgré la diversité des familles présentes. De même, Gourlet-Fleury *et al.* (2013) soulignent que si la densité globale d'une forêt perturbée peut paraître artificiellement élevée en raison de la prolifération de jeunes tiges, l'analyse par groupe taxonomique révèle un équilibre dynamique dicté par la capacité de charge de l'écosystème. Les travaux de Koubouana *et al.* (2016) confirment également que dans le Bassin du Congo, la décomposition de la densité par famille permet d'annuler les effets de dominance locale pour révéler la véritable structure d'équilibre d'une forêt en mutation.

Cela indique que l'abondance est dominée par quelques familles, tandis que les autres groupes présentent une régénération plus homogène mais modérée, due à la dynamique de compétition et aux pratiques de gestion forestière (Buard, 2013). En ce qui concerne la diversité relative, les *Fabaceae* (84,29 %) dominent largement, suivies par les *Meliaceae* (61,96 %). Cela souligne leur dominance écologique et leur importance structurale au sein du peuplement, témoignant de leur adaptation aux conditions locales et de leur rôle clé dans la dynamique forestière (Honvou et al., 2021). Cette forte représentativité est liée à leur adaptation au climat de la zone (Missa et al., 2023).

En revanche, les dominances relatives sont faibles, notamment celle des *Meliaceae* (15,69 %), indiquant qu'elles n'ont pas une forte prépondérance dans la composition structurale (Figure 5). En termes de densité, les *Meliaceae* atteignent 56,40 %, contre 43,59 % pour les *Fabaceae*. Cette forte densité des *Meliaceae s'explique par leur nombre plus élevé dans l'échantillon (N'Guessan et al., 2022).* Les groupes spécifiques montrent des valeurs intermédiaires (52,76 % pour le Sapelli et le Sipo, 47,23 % pour le Padouk, le Doussié et l'Acajou), traduisant une distribution relativement équilibrée. En somme, la Figure 3 révèle une forte diversité floristique dominée par les *Fabaceae*, tandis que la densité est plus marquée chez les *Meliaceae*, communes dans les forêts tropicales d'Afrique. Ces familles sont parmi les plus fréquentes et dominantes à l'est du Cameroun (Kamga et al., 2018).

Structure des grands diamètres et distribution des essences commerciales majeures

Les classes de diamètres supérieures révèlent un net clivage au sein des essences de forte valeur commerciale. D'un côté, le Sapelli et le Padouk affichent une excellente résilience démographique dans la strate supérieure du peuplement. De l'autre, le Sipo et le Doussié se trouvent dans un état de raréfaction critique parmi les individus matures, frôlant une rupture de stock technique.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Cette divergence s'explique directement par l'historique d'exploitation sélective subi par le massif. Le Sapelli et le Padouk, bien que fortement exploités, ont conservé un contingent significatif de semenciers matures juste en deçà ou au-delà des diamètres limites, ce qui témoigne d'un prélèvement raisonné ou de structures de population initialement très denses. À l'inverse, la quasi-absence du Sipo et du Doussié dans ces classes de taille supérieure indique que ces essences ont subi une pression de coupe maximale lors des rotations précédentes, ou qu'elles souffrent chroniquement d'un faible taux de survie des individus lors de leur transition vers la maturité écologique.

Ce constat corrobore les conclusions de Gourlet-Fleury *et al.* (2013) en Afrique centrale, qui mettent en garde contre l'épuisement progressif des essences de premier ordre comme le Doussié (*Afzelia spp.*) et le Sipo (*Entandrophragma utile*) sous l'effet de coupes répétées. De plus, Doucet (2004) et Forni *et al.* (1997) rappellent que la structure des populations de *Meliaceae* varie fortement d'une espèce à l'autre : le Sapelli maintient souvent une structure stable avec des adultes préservés, tandis que le Sipo présente fréquemment des déficits chroniques dans les classes mûres à la suite d'une exploitation anthropique. Ce phénomène valide l'urgence de réviser les diamètres minimaux d'exploitation (DME) pour les essences hautement vulnérables comme le Doussié.

Globalement, la distribution indique une forte concentration des individus de Sapelli et de Padouk dans les classes moyennes de diamètre, tandis que les autres espèces sont marginales. Cette forte concentration des individus de Sapelli et Padouk reflète une dominance écologique marquée de ces deux essences dans la structure diamétrique de la population étudiée (Kouadio et al., 2020; Minko et al., 2021).

Cette tendance à la dominance se nuance toutefois à l’analyse statistique des données du Tableau n°5, qui montre que les cinq essences étudiées présentent des valeurs globalement comparables sur le plan statistique, indiquant un certain équilibre dans la répartition des effectifs. Les résultats obtenus montrent qu’aucune différence n’apparaît entre le nombre de tiges des deux essences (Sapelli et Padouk) à six ans suivant le début de l’exploitation de l’UFA Ipendja. Ces résultats laissent apparaître qu’à court terme (six ans), la structure quantitative de la population de Sapelli et Padouk reste équilibrée, ce qui est un indicateur positif pour la durabilité de leur exploitation, même si un suivi à plus long terme est nécessaire pour confirmer cette tendance. Des études ont souligné l’importance d’une gestion durable pour la pérennité des essences forestières (Huck & Niedzwiedz, 2013).

Potentiel de reconstitution à long terme et durabilité des rotations

La capacité de récupération technique du peuplement est inversement proportionnelle à la taille des arbres ciblés, révélant une vulnérabilité de

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

reconstitution sur les très gros diamètres. Le Sapelli démontre une excellente aptitude de récupération conforme aux exigences de durabilité légales dès les cycles courts, alors que le Padouk, bien que performant à long terme, accuse un retard par rapport aux objectifs théoriques maximaux fixés par les plans d'aménagement.

La diminution du taux de reconstitution avec l'augmentation des diamètres s'explique par la lenteur intrinsèque des processus de transition des arbres des classes moyennes vers les classes exploitables matures. Le Sapelli bénéficie d'une cinétique de recrutement efficace dans les seuils réglementaires grâce à sa résilience structurelle post-perturbation. En revanche, le Padouk subit une inertie de croissance ou un déficit de tiges de tailles intermédiaires qui freine sa capacité à atteindre une reconstitution complète à long terme, malgré sa bonne dynamique globale.

Cette divergence d'ajustement aux plans de gestion confirme les limites des modélisations uniformes souvent dénoncées par Gourlet-Fleury et Laroussinie (2004). Par ailleurs, la comparaison avec les modèles matriciels développés en République Démocratique du Congo met en lumière la performance relative supérieure du présent massif, un phénomène que des auteurs comme Toirambe (2010) attribuent à la variabilité de la qualité stationnelle et à l'hétérogénéité de l'intensité des prélèvements initiaux selon les concessions forestières.

Divergences de croissance diamétrique post-exploitation et déterminisme environnemental

À effectif égal, le Sapelli surpasse significativement le Padouk en termes de vitesse de croissance en épaisseur, et ce, dès les premières années suivant l'exploitation jusqu'aux horizons temporels lointains. Cette supériorité consacre le Sapelli comme une essence à forte réactivité cambiale post-perturbation par rapport au Padouk.

Bien que les deux essences maintiennent des densités de tiges comparables dans l'UFA Ipendja, le Sapelli exploite plus efficacement les modifications microclimatiques induites par l'exploitation forestière. L'ouverture de la canopée engendre une hausse de l'ensoleillement direct et des fluctuations thermiques au sol. Le Sapelli possède un tempérament écologique qui lui permet de convertir ce surcroît d'énergie lumineuse et de chaleur en croissance diamétrique rapide, tandis que le Padouk montre une réponse végétative plus modérée, restant plus dépendant de la stabilité des précipitations et de la disponibilité en nutriments du sol.

Ce déterminisme environnemental rejoint les conclusions de Fétéké *et al.* (2016), qui identifient la température et le rayonnement solaire comme les moteurs majeurs de la reprise de croissance chez les *Meliaceae* d'Afrique centrale. De même, ces observations s'alignent sur les théories de Kasekete

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

(2024), qui stipulent que la variabilité de croissance interspécifique dans les forêts tropicales s'explique par l'interaction complexe entre le patrimoine génétique des essences et les facteurs abiotiques stationnels, confirmant que le Sapelli tire un meilleur parti des niches écologiques créées par l'action anthropique que le Padouk.

Par contre, les indices de reconstitution (IR%) post-exploitation du Sapelli et du Padouk à 6 ans sont statistiquement similaires ($p = 0,052$, Tableau n°7), une différence non significative également notée par Picard & Gourlet-Fleury (2008). En revanche, à 30 ans après l'exploitation, l'IR% du Padouk est significativement plus élevé que celui du Sapelli (36,26±15,74% vs 23,26±13,91%, $\mu = 46$, $p = 0,0011$, Tableau n°7). Ce phénomène, qui ne dépend pas du DME ni de la variation diamétrique (13,5 cm pour le Padouk contre 15 cm pour le Sapelli ; Castadot et al., 2022), pourrait être attribué à des facteurs écologiques, physiologiques, génétiques et environnementaux. Ces résultats soulignent l'importance d'évaluer non seulement la croissance en diamètre, mais aussi la capacité de régénération des essences pour leur durabilité en contexte d'exploitation forestière.

En résumé, bien que le Sapelli présente des diamètres significativement supérieurs à 6 et 30 ans, son taux de reconstitution est inférieur à celui du Padouk à 30 ans, suggérant une gestion différenciée pour optimiser la régénération des deux essences. À 60 ans, malgré des diamètres similaires, le potentiel de reconstitution est inversé en faveur du Sapelli, tandis qu'à 90 ans, une approche méthodologique robuste est requise. Ces résultats soulignent l'importance d'adapter les pratiques de gestion forestière aux caractéristiques spécifiques de chaque espèce pour garantir leur durabilité et leur succès à long terme.

Conclusion

Cette étude a évalué la reconstitution de cinq essences commerciales dans l'UFA Ipendja, au nord du Congo. L'hypothèse selon laquelle le taux de reconstitution varie entre les espèces et entre les zones exploitées et non exploitées a été confirmée, soulignant l'impact de l'exploitation forestière sur la régénération. Les résultats indiquent que l'exploitation réduit la densité et la diversité spécifique, avec un impact notable sur le Sapelli. En revanche, le Padouk présente une meilleure reconstitution à long terme, tandis que le Sapelli montre une croissance diamétrique supérieure. Une gestion sylvicole durable est donc essentielle pour préserver la diversité et promouvoir la régénération des essences exploitées. Des recherches supplémentaires et des stratégies ciblées sont également nécessaires pour garantir la durabilité et la résilience des forêts face aux pressions humaines.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Contributions des auteurs : MANGONGA Paul Patrick a participé à la collecte et au traitement des données floristiques. Aristide EWAMELA et Pierre MBETE ont assuré la supervision scientifique. Le manuscrit a été rédigé par MANGONGA Paul Patrick, tandis qu'Aristide EWAMELA et Pierre MBETE ont apporté des lectures et des amendements.

Remerciements : Nos remerciements vont aux chefs d'équipes d'inventaire botanique et à leurs membres, qui ont participé à la collecte des données floristiques sur le terrain.

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. Aboubacar, A., Baggnian, I., Laouvali, A. & Dan Guimbo, I. (2023). Caractéristiques de la Régénération Naturelle de la Végétation Contractée des Plateaux de l'Ouest du Niger Suivant les Gradients Pluviométrique et d'Anthropisation. *European Scientific Journal,* ESJ, 19 (30), 74. *https://doi.org/*10.19044*/esj*.2023.*v*19*n*30*p*74. Consulté le 26 octobre 2025 à 18h48.
2. Ambombo Onguene, E. M., Ngondo Milingui, J. B., Pial, A C., Mbarga Bindzi, A., & Mossebo, D. C. (2018). Dynamique de la régénération naturelle des essences commerciales sur les routes secondaires de différents âges de l'UFA 09-003 (Djoum, Cameroun). *Int. Biol. Chem. Sci.* 12(1), 341-352. *https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.27* Consulté le 12 janvier 2023 à 18h18.
3. Arrêté ministériel n°034/CAB/MIN/EDD/03/03/BLN du 3 juillet 2014 portant procédure d'élaboration et de suivi des plans d'aménagement des concessions forestières de production de bois d'œuvre en République Démocratique du Congo.
4. Arrêté n°4432 / MDDEFE / CAB., du 24 mars 2011 définissant l'Unité Forestière d'Aménage.
5. Association Technique Internationale des Bois Tropicaux (2007). Étude sur le plan pratique d'aménagement des forêts naturelles de production tropicales africaines : Application au cas de l'Afrique

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Centrale Volet 1 « Production Forestière » Paris : ATIBT. 138 pages. *https://www.atibt.com.* Consulté le 10 octobre 2025 à 8h35.

6. Bajon, T., Mensah-Sacky, A., Giezendanner, H., Currie, M., & Coulibaly, M. (2024). Aperçu de la gestion des armes et munitions en Afrique. Rapport UNIDIR sur l'état d'avancement 2024. *https://www.unidir.org* Consulté le 26 octobre 2025 à 11h47.
7. Bocquet, E., Maniacky, J., Vermeulen, C., & Malaisse, F., (2020). À propos de quelques chenilles consommées par les Mongo en Province de l'Équateur (République démocratique du Congo). Geo-Eco-Trop, 44 (1) : 109-130. http://www.geoe cotrop.be/uploads/publications/pub_441_06.pdf. Consulté le 30 octobre 2025 à 14h23.
8. Buard, E., (2013). *Dynamiques des interactions espèces - espace - Mise en relation des pratiques de déplacement des populations d'herbivores et de l'évolution de l'occupation du sol dans le parc de Hwange (Zimbabwe).* Thèse de doctorat en géographie. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I. *https://theses.hal.science/tel-00806834v2.* Consulté le 20 octobre 2025 à 19h09.
9. Bühler, A., Demenois, J., Doucet, J.L., Federspiel, M., Petrucci, Y., Pelé, V., & Sepulchre, F., (2014) - Etudes sur le plan pratique de l'aménagement des forêts naturelles de production tropicales africaines - Volet 4 « Gestion Durable et préconisations en vue de la certification ». ATIBT-FFEM. Impribeau - Sainte-Ode (Belgique). 163 pages. http:// *www.impribeau.be*. Consulté le 18 octobre 2025 à 18h59.
10. CAFI (2019). *Lettre d'intention entre l'Initiative pour la forêt de l'Afrique centrale et la République du Congo*. [En ligne] disponible sur le site officiel de la Central African Forest Initiative (CAFI).
11. Castadot, B., Jobbe-Duval, B., Bénedet, F., Cornu, G., Forni E., Freycon, V., Gourlet-Fleury, S., Rossi, V., Doucet, L., J., Fayolle, A., Ligot, G., Bracke, C., Daïnou, K., & Monthe, F. (2022) Dynamique des forêts d'Afrique centrale pour une amélioration de la durabilité des plans d'aménagement forestiers, capitalisation des projets DYNAFFOR et P3FAC. 76 pages. *https://www.dynafac.org/fr*. Consulté le 22 octobre 2025 à 17h26.
12. Chabi-Boni, D. S., Nago, S. G. A., M'Mouyohoun, K. & Natta, A. K. (2024). Diminution des paramètres de diversité et d'abondance du gibier avec l'isolement des territoires de chasse des réserves de faune au Bénin. *Actes des XX*^{èmes} *Journées Scientifiques Internationales* de Lomé (République du Togo) sous le thème : Recherche et innovations au service de la transformation structurelle et du développement des pays Africains. Lomé du 7 au 11 octobre 2024, pp. 105-122.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

13. De Wasseige, C., Tadoum, M., Eba'a Atyi, R., & Doumenge, C. (2015). Les forêts du Bassin du Congo - Forêts et changements climatiques. Neufchâteau : Weyrich, 127 pages. ISBN 978-2-87489-356-*8 https://www.observatoire-comifac.net/publications/edf/2015. Consulté* le 30 octobre 2025 à 16h00.
14. Douh, C. (2018). *Rôle de la banque de graines du sol dans la régénération des forêts denses humides d'Afrique centrale.* Thèse en sciences agronomiques et ingénierie biologique. Université de Liège – Gembloux. République de Belgique.
15. Durrieu de Madron, L. & Forni, E. (1997). Aménagement Forestier dans l'Est du Cameroun, structure du peuplement et périodicité d'exploitation. CIRAD YAOUNDE BP 2572., Bois et Forêts des Tropiques, n° 254, 39-5. 50 pages.
16. Durrieu de Madron, L., Nasi, R., & Détienne, P. (2000). Accroissements diamétriques de quelques essences en forêt dense d'Afrique. Bois et Forêts des Tropiques, 1(263), 63-73.
17. Durrieu de Madron, L., Nasi, R., & Détienne, P. (2000). Accroissements diamétriques de quelques essences en forêt dense africaine. *Bois et Forêts des Tropiques*, *263*(263), 63–74. https://doi.org/10.19182/bft2000.263.a20062
18. Eba'a Atyi, R., Hiol Hiol, F., Lescuyer, G., Mayaux, P., Defourny, P., Bayol, N., Saracco, F., Pokem, D., Sufo Kankeu, & Nasi, R. (2021). The Forests of the Congo. Basin State of the Forests 2021. Bogor, Indonesia: CIFOR. *https://doi.org/10.17528/cifor/008700*. Consulté le 5 juillet 2025 à 10h21.
19. Eba'a Atyi, R., Auteur, B., & Auteur, C. (2021). *Titre du rapport*. Nom de l'institution. URL ou DOI
20. FAO (2020). *Évaluation des ressources forestières mondiales 2020 : Rapport principal*. Rome.
21. Fétéké, F., Fayolle, A., Daïnou, K., Bourland, N., Dié, A., Lejeune, P., Tagg, N., Haurez, B., Gillet, J.-F., & Doucet, J.-L. (2016). Variations saisonnières de la croissance diamétrique et des phénologies foliaire et reproductive de trois espèces ligneuses commerciales d'Afrique centrale. *Bois et Forêts des Tropiques*, 330 : 3-21. https://doi.org/10.19182/ bft2016. 330.a31315 Consulté le 30 octobre 2025 à 14 h 50.
22. Gestion Forestière 351 Institut de la recherche agricole pour le développement. Programme Forêt et bois. BP 2067, Yaoundé Cameroun. Ministère des Forêts et de la Faune Direction des forêts.46 pages.
23. Honvou, S. H. S., Aboh, B. A., Sewade, C., Teka, O., Gandonou, B. C., Oumorou, M., & Sinsin, B. (2021). Diversité floristique, structure

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

et distribution des groupements végétaux des parcours d'accueil des transhumants dans la Basse et Moyenne Vallée de l'Ouémé au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 15(1), 81-96, *http://www.ifgdg.org*. Consulté le 29 octobre 2025 à 15 h 41.

24. *https://doi.org/10.19182/bft2019.342.a31816*. Consulté le 10 août 2025 à 17h35.
25. Huck, M. & Niedzwiedz, A. (2013). De la définition et l'usage des indicateurs de gestion durable des forêts : un point de vue économique et social. *Rev. For. Fr.* LXIV (5), 613-633.
26. Julve, C., Vandenhaute, M., Vermeulen, C., Castadot, B., Ekodeck, H., & Delvingt, W. (2007). Séduisante théorie, douloureuse pratique : la foresterie communautaire camerounaise en butte à sa propre législation. *Parcs et Réserves, 62*(2), 18–24
27. Kamga, Y. B., Nguetsop, V. F., Momo Solefack, M. C., & Riera, B. (2018). Diversité Floristique Des Ligneux Et Structure Des Formations À Garcinia Kola Heckel Dans Les Régions Du Centre Et De l'Est, Cameroun. *European Scientific Journal*, 14(21), 451-484. Doi: 10.19044/esj.2018.v14n21p451 *URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n21p451*. Consulté le 30 octobre 2023 à 16 h 36.
28. Karsenty, A., Cerutti, P. O., Doucet, J.-L., Putz, F. E., Romero, C., Bernard, C., Eba'a Atyi, R., Douard, P., Claeys, F., Desbureaux, S., Ezzine de Blas, D., Fayolle, A., Fomété, T., Forni, E., Gond, V., Gourlet-Fleury, S., Kleinschroth, F., Mortier, F., Nasi, R., Nguinguiri, J. C., Vermeulen, C., & De Wasseige, C. (2016). L'aménagement forestier au Congo engendre-t-il plus de déforestation? s.l.: DP-Forêts d'Afrique Centrale, 17p. *http://dpfac.cirad.fr/amenagement-et-*deforestation. *https://doi.org/10.18167/agritrop/00001* Consulté le 22 octobre 2025 à 18h11.
29. Karsenty, A. & Gourlet-Fleury, S. (2006). Les enjeux de la gestion des forêts en Afrique centrale. *Forêts d'Afrique Centrale*, 10(2), 45-56.
30. Kasekete, D. (2024) *Influence des facteurs biotiques et abiotiques sur la productivité forestière et la diversité floristique du sous-bois des plantations ligneuses autour du Parc National des Virunga en Province du Nord-Kivu (République Démocratique du Congo)*. Thèse de Doctorat en Forêt-Environnement. Université officielle de Ruwenzori, République Démocratique du Congo. DOI : *10.13140/RG.2.2.27441.80488/1*. Consulté le 22 octobre 2025 à 17h59.
31. Kimpouni, A. (2001). Commercialization of forest products in the Republic of Congo. *Journal of Forest Economics*, 7(3), 167-176.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

32. Kimpouni, A. (2017). Phytoécologie des faciès amantaceae de la forêt de Lossi (Congo, Brazzaville). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(4), 1437-1460. *https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.* V11i4.4. Consulté le 10 mars 2025 à 15h56.
33. Korwin, M. (2021). Institutional management of forest resources in the Republic of Congo. *Forest Policy and Economics,* 123, 102-330.
34. Korwin, S. (2021). *Gouvernance forestière et climatique en République du Congo : quel avenir pour l'observation indépendante externe des forêts ?* Note d'analyse, Volonté de Fer / Fern. https://loggingoff.info/wp-content/uploads/2021/12/Note-danalyse-OIE-VFFR.pdf ,
35. Kouadio, A. (2020). Ecological balance in tropical forest ecosystems: A case study of the Meliaceae and Fabaceae families. *Forest Ecology and Management,* 475,118-453.
36. Louzolo, B. (2021). Gouvernance forestière : lancement du projet OI-APV FLEGT et PASGOF-SNOI Congo, deux projets d'observation indépendante des Forêts. Ministère de l'Economie Forestière de la République du Congo. *https://apvflegtcongo.info*. Consulté le 5 novembre 2024 à 07 h19.
37. Marcon, E. (2025). Mesures de la Biodiversité. 294 pages. *https://hal agroparistech.archives-ouvertes.fr/cel-01205813*/. Consulté le 30 octobre 2025 à 15h00.
38. Mertens & Belanger (2012). Atlas forestier de la République Démocratique du Congo. cité par Mpoyi A., Nyamwoga F., Kabamba F., -2013 *: Le contexte de la REDD+ en République Démocratique du Congo: Causes, agents et institutions - books.google.com.*
39. Mikoungui Gomo, M.-S., N'zala, D., & Ndzai, S. F. (2020). Diversité floristique des dépendances vertes périurbaines de Brazzaville (Congo) menacées de dégradation. *Int. J. Biol. Chem. Sci*. 14(7): 2567-2582. *http://www.ifgdg.org*. Consulté le 28 octobre 2025 à 18h37.
40. Ministère du Développement durable, de l'Économie forestière et de l'Environnement (MDDEFE) (2012). Plan d'aménagement UFA, Ipendja (2012-2041). *Bureau d'étude TERREA*. 248 pages.
41. Ministère de l'Économie Forestière & du Développement Durable (MEF) (2021). ATLAS FORESTIER INTERACTIF DU CONGO. Version 3.0 | Document de Synthèse. République du Congo. Éditeur : Alex Martin, World Resources Institute (WRI). *https://www.wri.Org*; Tropical Forest Management Techniques. *A Review of the Sustainability of Forest Management Practices.* In Tropical Countries. 61 pages.
42. Ministère de l'environnement et de développement durable de la RDC (2017). Guide opérationnel. Plan d'aménagement forestier. Prévision

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

et planification des récoltes sur la série de ligneuses. Série n°2., 39 pages.

43. Ministère du Développement Durable, de l'Économie Forestière et de l'Environnement (MDDEFE) (2012). *Plan d'aménagement de l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) IPENDJA du domaine forestier de la zone I Likouala, du Secteur Forestier*. République du Congo.
44. Missa, K., YAO, K., Kouao Koffi, J., & Kafana Soro, K. (2023). Diversité floristique et structure de la végétation d'une carrière de granite dans le district de Yamoussoukro, Centre de la Côte d'Ivoire *Int. J. Biol. Chem. Sci*. 17(4): 1519-1529, *International. Formulae Group. All rights reserved.9419-IJBCS. http://www.ifgdg.org*. DOI:https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs. v17i4.18. Consulté le 27 octobre 2025 à 14h29
45. Montagné-Huck, C. & Niedzwiedz, A. (2013). De la définition et l'usage des indicateurs de gestion durable des forêts : un point de vue économique et social. *Revue Forestière Française*, *64*(5), 613–633. doi.org
46. N'Dah Kouadio, C. K., Koulibaly, A., Coulibaly, S., Boko, B. B., Dramane, K. B., Diomande, V. P-A., & Kouadio Y. J. (2021). Potentiel de régénération naturelle des espèces ligneuses associées dans les agrosystèmes cacaoyers traditionnels de la zone rurale de DJEKRO (DALOA, COTE D'IVOIRE). *Agronomie Africaine Sp*. 33 (1) : 97 – 108.
47. N'Dah Kouadio, J., Auteur, B., & Auteur, C. (2020). Titre de la recherche. *Nom de la Revue*, *volume*(numéro), pages de début–pages de fin. https://doi.org/xx.xxxx
48. Ndera Tuyizere, Nyandwi, E., Mugabowindekwe, M., Rwanyiziri, G., Ishimwe, A., & Ndayisaba, J. (2025) Évaluation de la couverture forestière et de la dynamique de la densité des arbres dans la région de la ligne de partage des eaux Congo-Nil, dans l'ouest du Rwanda. *Académie des sciences de l'environnement et de la durabilité*, 2 (3), 1-14. DOI:10.20935/AcadEnvSci7864 Editor: Luca Schenone. University of Rwanda.
49. Olofsson, K. & Olsson, H. (2017). Estimation de la densité et de la distribution des diamètres des tiges d'arbres à partir de mesures laser terrestres en une seule passe sur des parcelles expérimentales: une étude de simulation. 33(4), 365-377. *https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1368698*. Consulté le 29 octobre 2025 à 11 h 30
50. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (2000). Évaluation des ressources forestières mondiales 2000. Rapport

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

succinct de l'étude FAO FORETS 140. Rome (Italie). https:*/fra/inde www.fao.org/forestry/fo x.jsp*. Consulté le 19 octobre 2025 à 20h12.

51. Picard, N. & Gourlet-Fleury, S. (2008). Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo. Rapport du Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) : Libreville, Gabon. 259 pages.
52. Picard, N. & Gourlet-Fleury, S. (2008). *Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo*. COMIFAC.
53. Schnell, R. (1970). Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux : les problèmes généraux. *Tome 1. Les flores. Les structures.* Paris. Edited by Gauthier-Villars, *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie) 25-3* ; 424-425 Pages.
54. Sepulchre, F., Dainou, K., & Doucet, J.-L. (2008). Étude de la vulnérabilité. NATURE +, chemin du Potisseau 124, BE-5100 Wépion (*fred.sepulchre@gmail.com)* (2) Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Laboratoire de Foresterie des Régions tropicales et subtropicales, passage des déportés 2, BE-5030 Gembloux *(fortrop@fsagx.ac.be*) 51 pages.
55. Tchatat, M., Ndoumbè Nkeng, M., Claude Abena, J. C., & Foahom, B. (2016). Volumes de bois autorisés à l'exploitation au Cameroun : détermination des valeurs maximales de dépassement Cameroun *Bois et Forêts des Tropiques 2 0 0 8, N ° 2 9 5 (1)*
56. Xavier, M. (2014). Gestion et conservation des forêts : quel rôle joue la diversité des essences ? *Mission Agrobiosciences-INRAE. Revue SESAME, numéro 16 Sesame 2024. https ://revue-sesame-inrae.fr/* 64 pa*ges*

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Diversité mammalienne sous plantations *d'Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium*, cas des Plateaux Batéké, République du Congo

Armain Praïme Ouladis Hollat Louis
Doctorant en foresterie ; École nationale supérieure d'agronomie et de foresterie (ENSAF), Université Marien-Ngouabi, Brazzaville, Congo
Pierre Mbete, Maître de Conférence CAMES
Enseignant-chercheur, École nationale supérieure d'agronomie et de foresterie (ENSAF), Université Marien-Ngouabi, Congo
Lilas Tran Ngoc
Étudiante, AgroParisTech, Institut Agro Montpellier, France
Hardan Banzounzi-Massamba
Étudiant, École nationale supérieure d'agronomie et de foresterie (ENSAF), Université Marien-Ngouabi, Congo
Paul Bertaux, Directeur technique
Société des Plantations Forestières Batéké Brazzaville (SPF2B), Congo

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p198

Submitted: 26 January 2026
Accepted: 08 August 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Hollat Louis, A.P.O., Mbete, P., Tran Ngoc, L., Banzounzi-Massamba, H., & Bertaux, P. (2026). *Diversité mammalienne sous plantations d'Acacia auriculiformis et Acacia mangium, cas des Plateaux Batéké, République du Congo*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 198. https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p198

Résumé

L'afforestation et la protection de la biodiversité des savanes suscitent de nombreux débats. Cette étude contribue à l'évaluation de l'influence des plantations d'Acacia sur la diversité mammalienne. La zone d'étude s'étend des plantations d'Ibina à celles d'Oka2, situées dans le département du Pool. Un dispositif comprenant 48 transects dont 25 dans la zone d'Ibina et 23 dans celle d'Oka2. La méthode de transects linéaires à largeur fixe a été utilisée en vue de la collecte de données à partir des indices de présence animale. La richesse totale est de 21 espèces appartenant à 11 familles. Parmi elle, 16 espèces dans la zone de Bambou-mingali et 15 dans celle d'Ingouo. Dans le site de Oka2 et sa périphérie, on compte 5, 4 et 7 espèces communes qui sont

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

réparties entre les écosystèmes de la forêt-plantation, de la forêt-savane et de la savane-plantation. Le site d'Ibina et ses environs sont dominés par la famille des Bovidae avec 76 %, la tendance est la même dans le site d'Oka2 avec 59 % de Bovidae. Les indices kilométriques d'abondance révèlent que le *Tragelaphus scriptus* est l'espèce la plus présente. On note également une dominance des Artiodactyla aussi bien dans la zone de Bambou-Mingali (52,96 %) que dans celle d'Ingouo (73,65 %). Les espèces inventoriées ont été classées selon les critères de l'UICN. En définitive, la présente étude affirme que les plantations forestières sont des réservoirs additionnels de biodiversité faunique, principalement les mammifères terrestres.

Mots-clés: Plantation forestière, Diversité faunique, Acacia, mammifère terrestre, plateaux batéké

Mammalian Diversity of *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium* Plantations, Case Study of the Batéké Plateaus, Republic of Congo

Armain Praïme Ouladis Hollat Louis
PhD student in forestry; National School of Agronomy and Forestry (ENSAF), Marien-Ngouabi University, Brazzaville, Congo
Pierre Mbete, CAMES Senior Lecturer
Lecturer and researcher, National School of Agronomy and Forestry (ENSAF), Marien-Ngouabi University, Congo
Lilas Tran Ngoc
Student, AgroParisTech, Institut Agro Montpellier, France
Hardan Banzounzi-Massamba
Student, National Higher School of Agronomy and Forestry (ENSAF), Marien-Ngouabi University, Congo
Paul Bertaux, Directeur technique
Batéké Brazzaville Forest Plantations Company (SPF2B), Congo

Abstract

Afforestation and the protection of biodiversity in savanna ecosystems continue to be the subject of much debate. This study contributes to the assessment of the impacts of Acacia plantations on mammalian diversity. The study area extends from the Ibina plantations to the Oka2 plantations, located in the Pool Department. A survey design comprising 48 transects was implemented, including 25 transects in the Ibina area and 23 transects in the Oka2 area. The fixed-width linear transect method was used to collect data

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

based on animal presence indices. The study area's faunal richness comprises 21 species belonging to 11 families, with a total of 16 species in the Bambou-mingali area and 15 in the Ingouo area. At the Oka2 site and its surroundings, there are 5, 4, and 7 common species distributed among the plantation forest, forest-savanna, and plantation savanna ecosystems. The Ibina site and its surroundings are dominated by the Bovidae family, accounting for 76%; the trend is similar at the Oka2 site, where Bovidae make up 59% of the species. Kilometric count indices reveal that Tragelaphus scriptus is the most abundant species. Artiodactyla also dominate in both the Bambou-Mingali area (52.96%) and the Ingouo area (73.65%). The inventoried species are classified according to IUCN criteria. In conclusion, this study confirms that forest plantations serve as additional reservoirs of mammalian biodiversity.

Keywords: Forest plantation, Wildlife diversity, Acacia, Land mammal, Batéké Plateau

Introduction

Le bassin du Congo est le deuxième massif forestier dense humide après celui de l'Amazonie. Il est doté d'une biodiversité remarquable dont les services profitent aussi bien aux pays concernés qu'à la planète entière (Desclée et al., 2025). Ces forêts tropicales contribuent efficacement au développement socio-économique des pays de la sous-région en particulier, et des pays africains en général, en fournissant des biens publics internationaux et des services de maintien de la qualité de l'environnement (forum forestier africain, 2022). Soixante millions de personnes dépendent de ces forêts en vue de satisfaire à leurs exigences socio-culturelles et économiques (Desclée et al., 2025). La République du Congo est dotée d'une superficie de 342.000 km², les forêts naturelles occupent environ 69 % du territoire national (Oussika & Miland, 2019). Toutefois, ces formations forestières sont menacées par une déforestation croissante, estimée à 0,10 % par an, soit environ 25 886 ha. L'exploitation irrationnelle des ressources floristiques et fauniques contribue à la fragilisation des habitats naturels, mais également à la disparition progressive de la biodiversité (Tchatchou et al., 2015). D'après Vié, Hilton-Taylor & Stuart, (2008), cette diminution progressive de la biodiversité faunique est devenue une préoccupation majeure tant au niveau national qu'international. L'indice de popularité des espèces a considérablement baissé, aussi certaines espèces sont menacées de disparition. Face à ce désastre écologique, l'humanité prend conscience du rôle fondamental des forêts en général et de la biodiversité en particulier dans le processus de maintien de l'équilibre environnemental et la satisfaction des besoins subsistances des populations (Vié, Hilton-Taylor et al., 2008). Au regard de ce qui précède, il est impératif de promouvoir le développement des plantations forestières et

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

agroforestières en vue de lutter contre la déforestation, en offrant une solution durable à l'exploitation des forêts naturelles (FAO, 2000). Celles-ci contribuent à diminuer les pressions anthropiques sur les forêts naturelles en offrant une alternative à la production du bois-énergie issu des forêts denses et à l'agriculture sur brûlis qui s'y développe, en vue de garantir la gestion durable de ces formations forestières naturelles (FAO, 2000). Les plantations forestières tout comme les formations forestières naturelles, participent efficacement à la lutte contre les changements climatiques lesquels résultent d'émissions à partir d'un scénario de référence adapté aux conditions nationales (Larson, 2013).

C'est dans ce contexte que de nombreux pays se sont inscrit dans une dynamique de reboisement et d'afforestation en particulier la République du Congo par son Programme d'afforestation et de reboisement (MEFDD, 2015). Ce programme vise l'afforestation de 1.000.000 ha des savanes à travers le pays dans une période de 10 ans (MEFDD, 2015). Cette valorisation des savanes par la création de plantations forestières et agroforestières suscite de nombreuses interrogations, notamment en ce qui concerne l'impact des plantations sur la diversité faunique terrestre et de son influence sur la régénération des espèces forestières. Les plantations d'espèces exotiques, comme l'Acacia sp, peuvent réduire la diversité biologique en modifiant les habitats naturels, les cycles hydrologiques et les régimes d'incendie (Wuenschel, 2019). Elles posent aussi un risque d'invasive, menaçant les espèces natives et la dynamique des savanes, bien que celles-ci soient considérées comme anthropiques et dégradées. Bien que des études menées par Tassin, Missamba-Lola, & Marien, (2011) affirment qu'il y a un effet allopathique des plantations d'Eucalyptus sur la diversité faunique. En effet, de nombreuses études sur la diversité biologique ont été menées sous une plantation d'Eucalyptus, mais très peu de travaux sont orientés vers les plantations d'*Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium* (Loumeto et Bernhard-reversat, 1997 ; Liao et al., 1984).

Cette étude s'est fixée pour objectif d'évaluer l'influence des plantations d'*Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium* sur la diversité faunique terrestre, principalement les mammifères terrestres. Elle vise spécifiquement à dresser la liste des différentes espèces de Mammifères en fonction des types de végétation. L'objectif est d'évaluer l'abondance ainsi que la distribution spatiale des espèces au sein de ces plantations, et de déterminer leur statut de conservation conformément aux critères de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). Au regard de ce qui précède, peut-on affirmer que les plantations forestières sont des déserts biologiques ? Le type de formation végétation a-t-il un effet sur la diversité faunique mammalienne ?

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Matériel et méthode

Présentation du site d'étude

Cette étude a été réalisée dans la zone du District d'Igné dans le Département du Pool. La (figure 1) indique que la zone d'inventaire se compose : de la zone de Bambou-Mingali plus précisément dans le site d'Ibina et la zone d'Ingouo dans laquelle se localise le site de Oka2. Le site d'Ibina, dotée d'une superficie plantée de 3.246 ha, est situé au Nord-Est du village Bambou-Mingali, à environ 16 km de la route nationale et à 77 km de Brazzaville, localisée aux coordonnées : 03. 874 330° Sud et 015. 535 078° Est. Tandis que le domaine d'Oka 2, avec 3.012 ha de superficie plantée, est situé au Nord-Ouest du village de Kouo, à approximativement 35 km de la route nationale N°2. Il est localisé aux coordonnées : 03.639.167° Sud de latitude et 015. 375.833° Est de longitude.

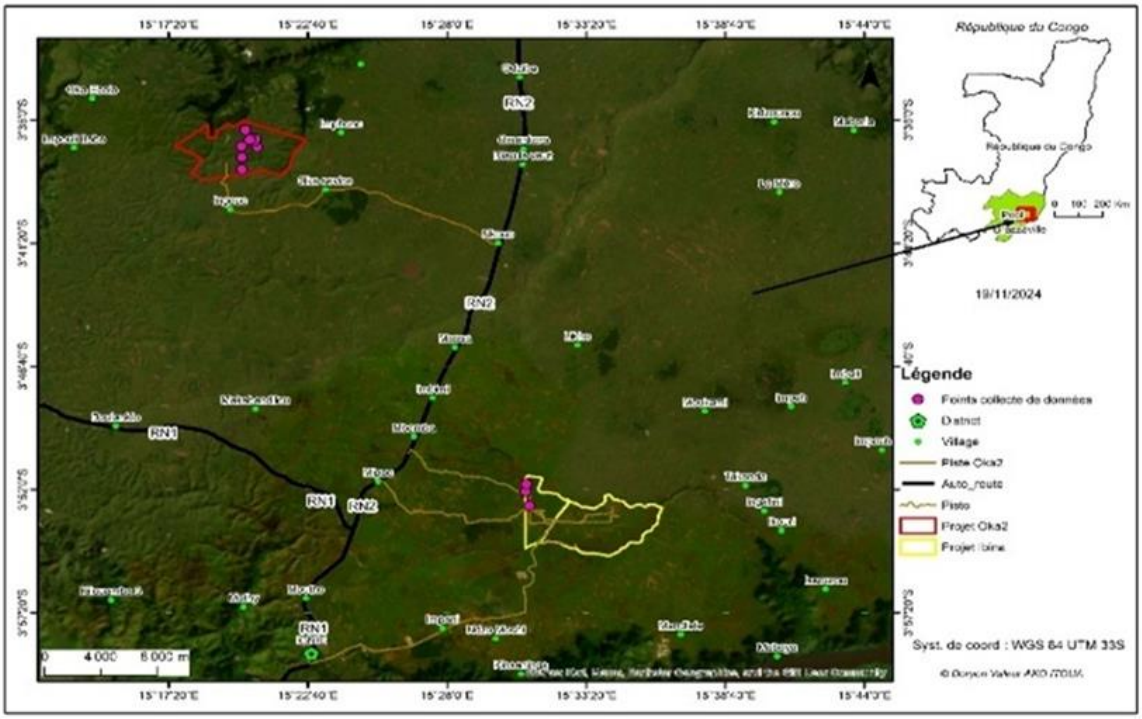
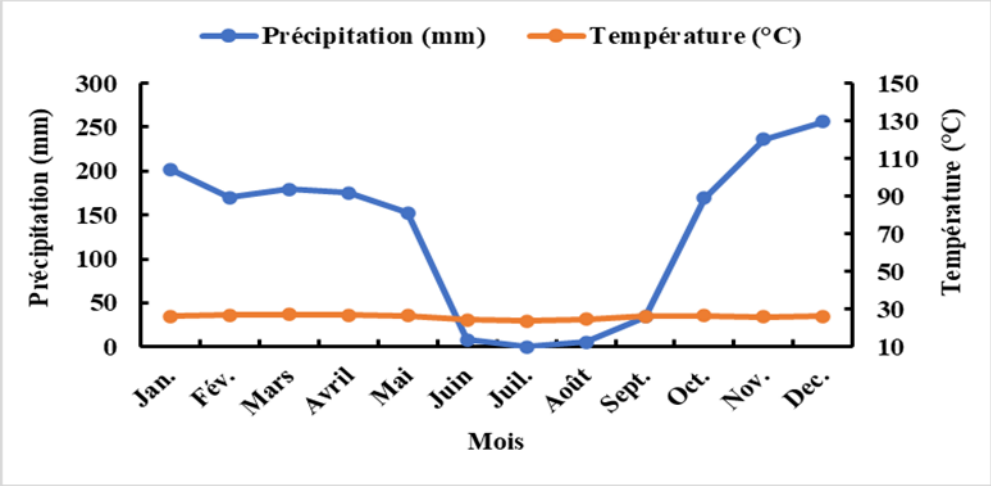


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Le climat de la zone est du type subéquatorial. La pluviométrie annuelle est comprise entre 1800 et 2000 mm. La température annuelle est comprise entre 25 et 26°C (MRSIT, 2007). Les sols rencontrés dans cette zone sont des sols ferrallitiques (Franquin, 1969). Les savanes sont de trois types : savane à *hyparrhenia diplandra* Tul, ; savane *Trachypogon spicatus* (L.) Nees et savane à *Loudetia simplex* (Nees) C.E.Hubb., 1934 (MRSIT, 2007).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Figure 2 : Courbe ombrothermique de la zone d'étude pour la période 2022 à 2024



(Source : ANAC, 2024)

Méthode de collecte de données

Pour la réalisation de cette étude, un dispositif de 48 transects a été mis en place, avec un total de 25 transects dans la zone de Bambou-Mingali plus précisément dans le domaine Ibina et ses environs, soit 16 transects sous les plantations et 9 en savane. Le dispositif de collecte de données s'appuie sur un échantillonnage stratifié en fonction des types de formations végétales. Les transects suivent une orientation ouest-est, avec une équidistance de 1 km entre eux ; la distance par transect est de 1 km sous plantation et de 2 km en savane.

La zone d'Ingouo, plus exactement dans le domaine d'Oka2 et ses périphéries, compte un total de 23 transects matérialisés, dont 4 transects en forêt naturelle, 8 transects sous plantation et, enfin, 11 transects en savane. La distance des transects en forêt naturelle est de 1 km, tandis que celle des transects en savane et sous plantation est de 2 km.

La démarche méthodologique adoptée lors de cet inventaire est celle de Haurez et al. (2020), laquelle consiste à progresser aussi discrètement que possible le long du transect. Tous les indices de présence animale et humaine visibles à l'œil nu sont relevés de part et d'autre du transect.

Outre les transects linéaires, des marches de reconnaissance pédestres (recces) ont été effectuées lors de cet inventaire. Celles-ci consistent à suivre, en forêt, des chemins de moindre résistance tels que : pistes d'éléphants, forêts à sous-étage dégagé, crêtes, pistes humaines, etc. (Haurez et al., 2020). Cette méthode a été utilisée lors du passage d'un transect à un autre ou de la base-vie à un transect, en vue de collecter des données complémentaires, particulièrement celles liées aux pressions anthropiques.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Pendant et après la collecte de données, différents guides d'identification d'espèces ont été utilisés, notamment ceux liés à la faune du Congo ou aux espèces protégées par la CITES. Il s'agit, entre autres, du Guide d'identification des espèces du Congo inscrites à la convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) et le guide d'identification des espèces vulnérables.

Méthode d'analyse et traitement de données

Après la phase de collecte de données, toutes les informations ont été codifiées, vérifiées et saisies à l'aide d'un tableur Excel en vue de leur traitement. Cette étape a permis de calculer les indices kilométriques d'abondance (IKA), le ratio préférentiel d'habitat par espèce inventoriée et la fréquence relative des indices. Le logiciel RStudio a permis de réaliser des courbes de raréfaction de la richesse spécifique faunique. Les données ont permis de classer les espèces en fonction de leurs odres taxonomiques et de leur niveau de conservation par rapport aux critères de l'UICN.

Résultats

Richesse spécifique faunique par zones d'étude

Cet inventaire faunique axé sur les mammifères terrestres met en évidence que la richesse spécifique varie en fonction des zones de collecte de données.

La figure 3 montre une richesse spécifique de 14 espèces dans la zone de Bambou-mingali dans le site d'Ibina, pour un total de 360 indices de présence animale. La zone d'Ingouo, quant à elle, compte 17 espèces inventoriées dans le site d'Oka2 et ses environs, avec un total de 290 indices animaux recensés.

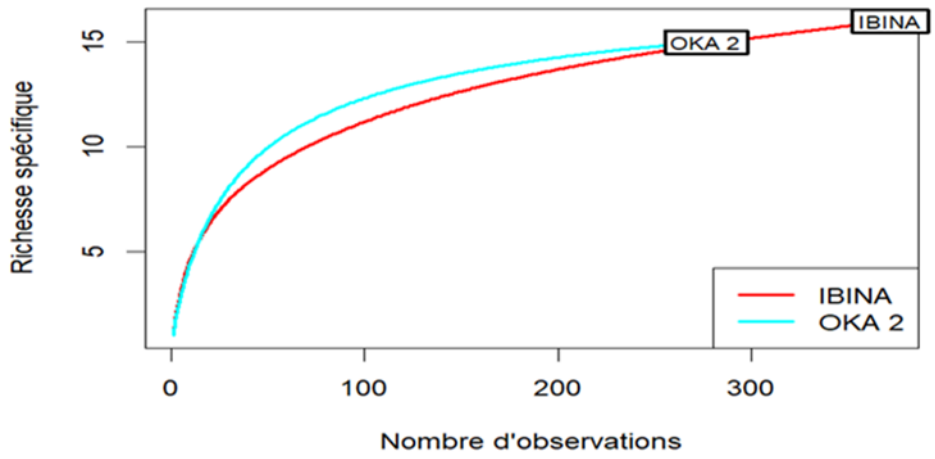


Figure 3 : Richesse spécifique mammalienne par domaine

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Richesse spécifique par type de formation végétale

D'après la figure 4, la richesse spécifique mammalienne de la zone d'étude peut varier en fonction des différentes formations végétales, telles que les plantations forestières, la savane et la forêt naturelle.

On note un total de 280 indices appartenant à 16 espèces sous plantation d'Acacia. La savane compte un total de 210 indices. Enfin, les forêts naturelles présentent un cortège de 60 indices appartenant à 10 espèces, ce qui en fait la richesse spécifique la plus faible.

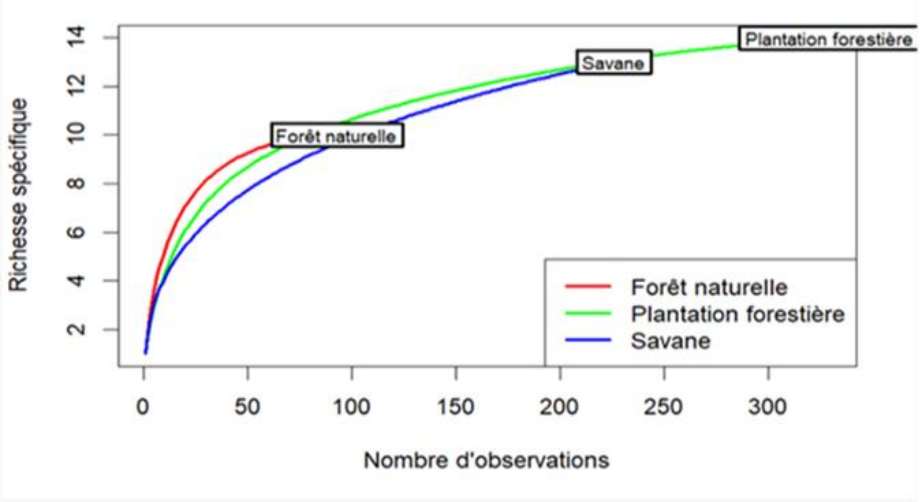


Figure 4 : Richesse spécifique mammalienne par type de formation végétale

Comparaison de la richesse spécifique entre les formations végétales

Il ressort de la figure 5 que, dans la zone de Bambou-mingali, plus précisément dans le site d'Ibina, les différentes formations végétales, à savoir les plantations forestières d'Acacia et les savanes, abritent 9 espèces communes. Les plantations forestières et les savanes se composent respectivement de 5 et 2 espèces, lesquelles sont propres aux deux formations végétales.

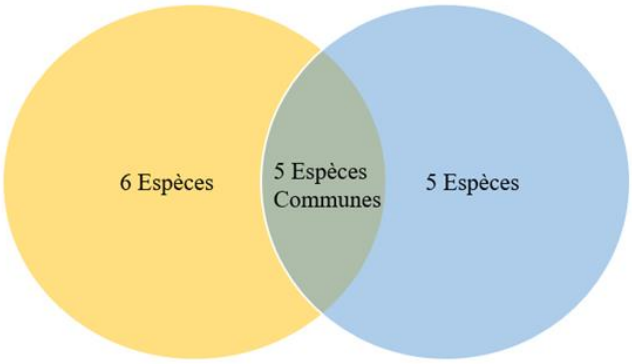


Figure 5 : Nombre d'espèces communes entre les formations végétales dans la zone de Bambou-mingali (Domaine Ibina)

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

La richesse spécifique de la zone d'étude d'Ingouo, plus exactement dans le site d'Oka2 et ses alentours, est de 15 espèces. La richesse spécifique faunique sous plantation et en savane est de 7 espèces. On observe cependant 3 espèces communes entre les forêts naturelles et les savanes, mais également entre la forêt naturelle et la plantation. En revanche, une seule espèce est commune aux plantations et à la savane.

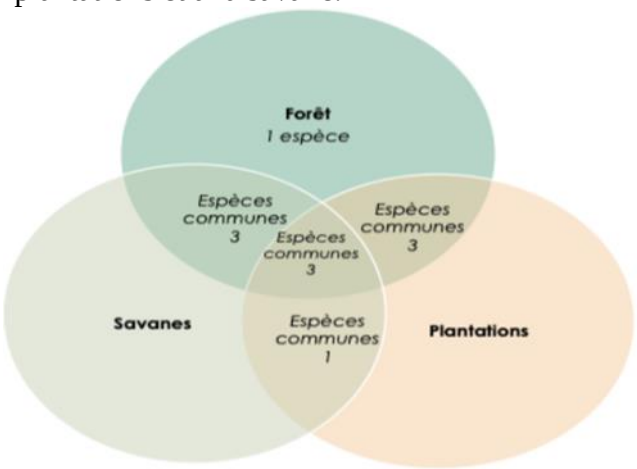


Figure 6 : Nombre d'espèces communes entre les savanes, les plantations et les forêts naturelles dans la zone de Bambou-mingali

Tableau 1 : Composition faunique par zone d'étude

		Site	
Espèces		**Ibina**	**Oka2**
Atilax paludinosus		+	+
Bos taurus		+	
Canis adustus		+	+
Cephalophus dorsalis		+	+
Cephalophus nigrifrons		+	+
Cephalophus silvicultor		+	+
Civettictis civetta		+	+
Genetta maculata		+	+
Genetta servalina		+	+
Genetta tigrina		+	
Lemniscomys striatus		+	+
Lemniscomys zebra		+	+
Leptailurus serval		+	
Malacomys longipes		+	
Orycteropus afer		+	
Phataginus tricuspis		+	+
Philantomba monticola		+	
Potamochoerus porcus			+
Protoxerus strangeri			+
Thryonomys swinderianus		+	+
Tragelaphus scriptus		+	+

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Composition faunique

Le tableau 1 montre la composition faunique de la zone de Bambou-Mingali dans le domaine d'Ibina, ainsi que dans celle d'Ingouo, dans le site d'Oka 2. On note que la majorité des espèces sont présentes dans les deux sites. Seules 7 espèces n'ont pas été recensées dans les deux sites ; il s'agit entre autres, de : *Bos taurus ; Genetta tigrina ; Leptailurus sertval ; Malacomys longipes ; Orycteropus afer ; Phylantomba monticola et Protxerus strageri.*

Le tableau 2 montre la composition faunique des espèces inventoriées dans les différentes formations végétales, à savoir en savane, forêts naturelles et sous-plantation. Parmi les espèces inventoriées seules 4 espèces sont rencontrées dans la zone d'Ingouo (domaine de Oka2). Il s'agit de : *Genetta servalina ; Genetta tigrina ; Lemniscomys striatus et du Tragelaphus scriptus.*

Tableau 2 : Composition faunique par type de formation végétale de la zone d'étude

	Sites				
Espèces	**Oka2**			**Ibina**	
	Plantation	**Savane**	**Forêt**	**Plantation**	**Savane**
Atilax paludinosus	+	+		+	
Bos taurus					+
Canis adustus	+	+		+	+
Cephalophus dorsalis			+	+	+
Cephalophus nigrifrons	+	+	+		
Cephalophus silvicultor	+		+	+	
Civettictis civetta	+	+	+	+	+
Genetta maculata			+		+
Genetta servalina		+			
Genetta tigrina					+
Lemniscomys striatus	+				+
Lemniscomys zebra	+	+			+
Leptailurus serval					
Malacomys longipes				+	
Orycteropus afer				+	
Phataginus tricuspis				+	
Philantomba monticola				+	
Potamochoerus porcus			+		
Protoxerus strangeri			+		
Thryonomys swinderianus	+	+	+	+	+
Tragelaphus scriptus	+		+	+	+

Distribution des familles

La distribution des familles d'espèces inventoriées dans la zone d'étude est illustrée par les figures 7A et 7B. Ainsi, la figure 7 montre la structure des familles des espèces de la zone d'Ingouo dans le domaine de Oka2 avec une domination de la famille de Bovidea avec 75,88%, suivi par

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

les familles de Thryonomyidea avec 9,34%. La famille la moins représentée est celle des Manidae avec un taux de 0,78%.

En revanche, la figure 8 zone de Bambou-Mingali dans le domaine d'Ibina est principalement peuplée par la famille de Bovidae avec 58,55%, suivie par la famille de Canidea avec 16,81%. La famille des Félidea est la moins représentée dans la zone de Bambou-Mingali avec un taux de 0,29%.

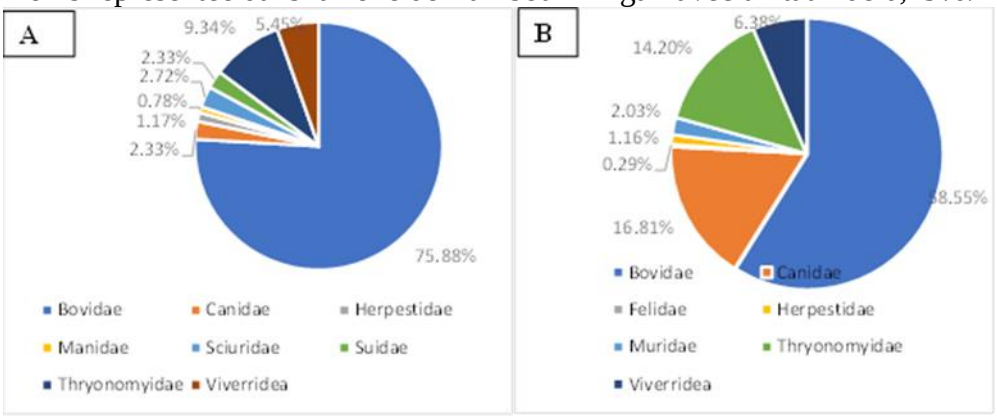


Figure 7A et B : Distribution des proportions des familles des inventoriées dans la zone de Bambou-Mingali (A) et Ingouo (B)

Le tableau 3 montre l'abondance des espèces recensées dans la zone de Bambou-Mingali plus précisément dans le domaine d'Ibina et dans ses périphéries. On note une dominance du *Tragelaphus scriptus* avec un total de 167 indices suivi du Canis adustus avec 64 indices.

Tableau 3 : Abondance par espèces dans la zone de Bambou-Mingali

Noms Scientifique	Ordres		Nbre d'indices
Atilax paludinosus	Carnivora		5
Bos taurus	Artiodactyla		5
Canis adustus	Carnivora		64
Cephalophus dorsalis	Artiodactyla		24
Cephalophus silvicultor	Artiodactyla		1
Civettictis civetta	Carnivora		25
Genetta servalina	Carnivora		2
Genetta tigrina	Carnivora		1
Lemniscomys striatus	Rodentia		3
Lemniscomys barbarus	Rodentia		6
Leptailurus serval	Carnivora		1
Malacomys longipes	Rodentia		3
Orycteropus afer	Tubulidentata		1
Philantomba monticola	Cetartiodactyla		15
Thryonomys swinderianus	Rodentia		49
Tragelaphus scriptus	Artiodactyla		167
Total			**372**

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Le tableau 4 représente l'abondance par espèces dominantes dans la zone d'Ingouo plus précisément dans le site d'Oka2 et ses environs. On note une dominance de Tragelaphus scriptus et de *Cephalophus dorsalis* lesquelles ont respectivement un total de 153 et 30 indices.

Tableau 4 : Abondance par espèces dans la zone d'Ingouo

Noms scientifiques	Ordres	Nbre d'indices
Atilax paludinosus	Carnivora	3
Canis adustus	Carnivora	6
Cephalophus dorsalis	Artiodactyla	30
Cephalophus nigrifrons	Artiodactyla	11
Cephalophus silvicultor	Artiodactyla	4
Civettictis civetta	Carnivora	14
Genetta maculata	Carnivora	2
Genetta servalina	Carnivora	1
Lemniscomys striatus	Rodentia	1
Lemniscomys barbarus	Rodentia	12
Phataginus tricuspis	Artiodactyla	2
Potamochoerus porcus	Artiodactyla	6
Protoxerus strangeri	Rodentia	8
Thryonomys swinderianus	Rodentia	24
Tragelaphus scriptus	Artiodactyla	153
Total		**277**

Le tableau 5 ressort la classification des espèces inventoriées par ordre aussi bien dans la zone de Bambou-mingali une dominance de l'ordre des Carnivora, lequel est représenté par 6 espèces, soit 37,5 % des espèces inventoriées. Il est suivi des ordres des Artiodactyla et de Rotentia lesquels sont représentés par 4 espèces, soit un taux de représentation de 25 %.

Tableau 5 : Distribution des ordres des espèces inventoriées dans la zone de Bambou-mingali

Zone d'étude	Ordres	Nombre d'espèces	Proportions (%)
Bambou-Mingali	Artiodactyla	4	25,00
	Carnivora	6	37,50
	Cetartiodactyla	1	6,25
	Rodentia	4	25,00
	Tubulidentata	1	6,25
Total	**5**	**16**	**100**

Le tableau 6 ressort la dominance des ordres des Artiodactyla et des Carnivora dans la zone d'Ingouo, plus précisément dans le site de Oka2 et ses environs. On observe une dominance des ordres des Artiodactyla et des Carnivora lesquels affichent chacun 5 espèces, soit un taux de représentation de 33,33 %.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Tableau 6 : Distribution des ordres des espèces inventoriées dans la zone d'Igouo

Zone d'étude	Ordres	Nombre d'espèces	Proportions
Ingouo	Artiodactyla	5	33,33
	Carnivora	5	33,33
	Pholidota	1	6,67
	Rodentia	4	26,67
Total	**4**	**15**	**100**

Le tableau 7 montre une grande diversité en ce qui concerne les indices de présence animale par espèce, et une très faible diversité en ce qui concerne le statut IUCN des espèces dans le domaine d'Ibina de la zone de Bambou-mingali.

Il est évident qu'il y a une prédominance de *Tragelaphus scriptus*, avec 44,89%, suivi par le *Canis adustus* et le *Thryonomys swinderianus*, avec des pourcentages respectifs de 17,20 et 13,17 %.

En outre, le statut le plus représenté est le LC avec un cortège de 15 espèces. Le type NT est très faiblement représenté avec une seule espèce : *Cephalophus dorsalis*. Le test de Khi-deux réalisé montre qu'il existe une différence significative entre les différents statuts avec un *p-value* de 0,033 inférieur au seuil de significativité de 0,05.

Tableau 7 : Statut IUCN des espèces inventoriées dans la zone de Bambou-mingali (Ibina)

Domaine	Statut IUCN	Espèces	Nbre d'observation	Proportion (%)
IBINA	LC	*Atilax paludinosus*	5	1,34
		Bos taurus	5	1,34
		Canis adustus	64	17,20
		Cephalophus silvicultor	1	0,27
		Civettictis civetta	25	6,72
		Genetta servalina	2	0,54
		Genetta tigrina	1	0,27
		Lemniscomys striatus	3	0,81
		Lemniscomys zebra	6	1,61
		Leptailurus serval	1	0,27
		Malacomys longipes	3	0,81
		Orycteropus afer	1	0,27
		Philantomba monticola	15	4,03
		Thryonomys swinderianus	49	13,17
		Tragelaphus scriptus	167	44,89
	NT	*Cephalophus dorsalis*	24	6,45
Total			**372**	**100,00**

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Tableau 8 : Ressort le statut IUCN des espèces inventoriées dans la zone Mabé-liwa (Oka2)

Domaine	Statut IUCN	Espèces	Nbre d'observation	Proportion (%)
		Atilax paludinosus	3	1,08
OKA2	LC	*Canis adustus*	6	2,17
		Cephalophus nigrifrons	11	3,97
		Cephalophus silvicultor	4	1,44
		Civettictis civetta	14	5,05
		Genetta maculata	2	0,72
		Genetta servalina	1	0,36
		Lemniscomys striatus	1	0,00
		Lemniscomys zebra	12	4,33
		Potamochoerus porcus	6	2,17
		Protoxerus strangeri	8	2,89
		Thryonomys swinderianus	24	8,66
		Tragelaphus scriptus	153	55,23
	NT	*Cephalophus dorsalis*	30	10,83
	EN	*Phataginus tricuspis*	2	0,72
Total			**277**	**100,00**

Le tableau 5 illustre que *Tragelaphus scriptus* est l'espèce la plus répondue avec un taux d'indices de 55,23%, suivie de *Thryonomis swinderianus, Civettictis civetta, Lemniscomys zebra* et du *Cephalophus nigrifons* lesquelles ont respectivement un taux de 8,66, 5,05, 4,33 et 3,97%. On observe une dominance du type LC avec un total de 16 espèces. En revanche, les types NT et EN sont représentés chacun par une seule espèce, qui sont respectivement *Cephalophus dorsalis* et *Phataginus tricuspis*. Il ressort de cette étude qu'il existe une différece significative entre les valeurs des critères de classification espèces d'après le test de Khi-deux, avec un *p-value* de 0,033 inférieur au seuil de significativité de 0,05 entre la zone d'Igouo et les statuts (IUCN) des espèces inventoriées.

La figure 11 illustre la distribution des espèces et leur concentration dans la zone de Bambou-Mingali, plus précisément dans le domaine d'Ibina et ses environs. On constate une forte représentation et concentration des espèces dans des zones à canopée totalement fermée. On note une dominance du Tragelaphus scriptus avec un total de 131 indices suivis du Canis adustus lequel totalise 59 indices rencontrés. Aussi, ces espèces sont également présentes dans les savanes lointaines.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

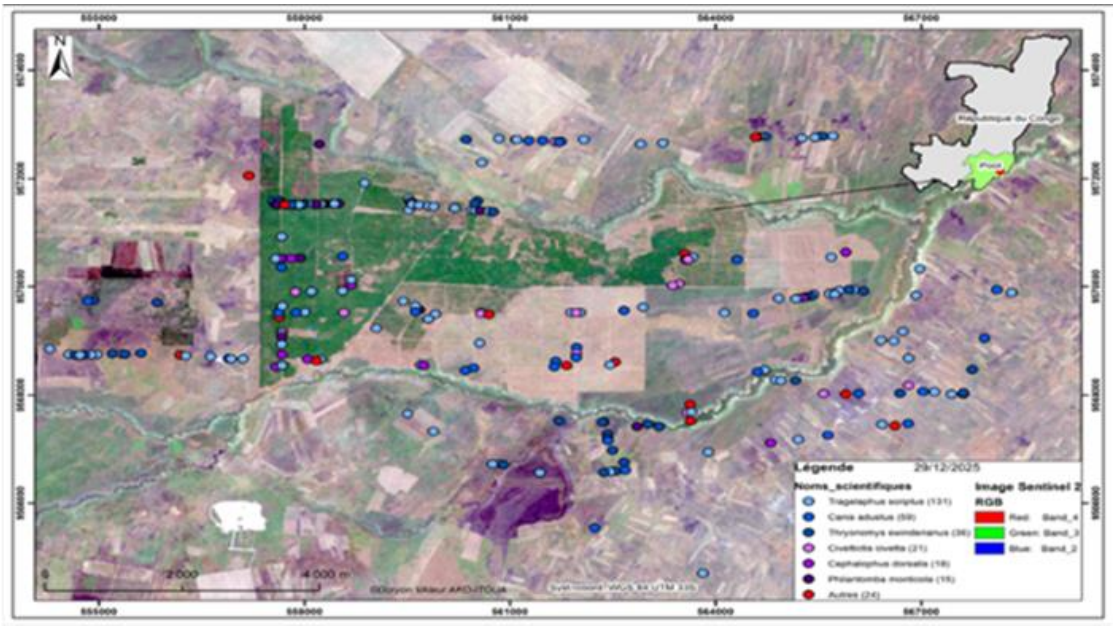


Figure 8 : Distribution et densité des indices de présence animale dans la zone de Bambou-Mingali (Ibina)

Dans la zone d'Ingouo, plus précisément dans le site d'Oka2 et ses périphéries, la figure 14 met en évidence la distribution des espèces inventoriées. On observe une forte représentation du *Tragelaphus scriptus dans* les plantations ainsi que dans les savanes environnantes, avec un total de 138. En revanche, les galeries forestières situées au nord-ouest du domaine présentent une distribution des espèces assez diversifiée et concentrée (figure 9).

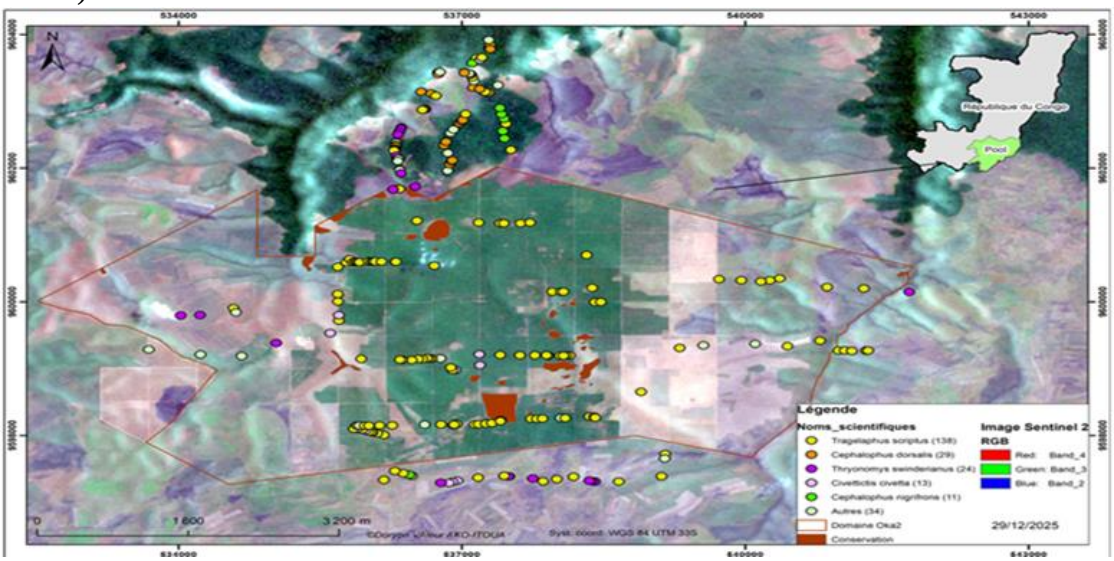


Figure 9 : Distribution des indices de présence animale dans la zone d'Ingouo

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Discussion

Richesse spécifique faunique par zone d'étude

Cette étude, réalisée dans la zone d'Ingouo (domaine Oka 2) et de Bambou-Mingali (domaine Ibina), avait pour objectif d'évaluer l'influence des plantations forestières de *A. auriculiformis* et *A. mangium* sur la diversité mammalienne.

Un total de 16 espèces appartenant à 8 familles et à 5 ordres a été inventoré dans la zone de Bambou-mingali, contre 15 espèces représentant 7 familles et 4 ordres dans la zone d'Ingouo. Cette différence relativement faible entre les deux zones est particulièrement liée à la diversité d'habitats (savane, forêt naturelle et plantation forestière) dans chaque zone d'étude.

En effet, la multiplicité des types de formation végétale dans une zone offre une diversité de niches écologiques indispensable à la faune sauvage. Ces résultats confirment ceux obtenus par Caro et al. (2014), dont la teneur indique que la composition floristique améliore les conditions d'habitat de la faune.

La richesse spécifique faunique observée à l'issue de cette étude est supérieure à celle obtenue par Mboumba, Momboua, Perin, & Ysnel, (2021) ; Mboumba, Momboua, Perin, & Campos (2000) et Koffi et al. (2018), lesquels ont respectivement récensé 6 et 12 espèces. Cette différence s'explique par l'intensité des pressions anthropiques sur les communautés mammaliennes des zones concernées. À cela s'ajoute la croissance démographique qui accentue ces pressions anthropiques, lesquelles contribuent à l'érosion de la biodiversité. D'après Amoussou et al., (2012), un cinquième de la superficie du territoire national doit abriter les deux tiers de la population à l'horizon 2025. Cette situation influence significativement la structure des habitats naturels et leur biodiversité. Cette observation corrobore les conclusions du Millenium Ecosystem assessment (MEA, 2025) qui affirme que les changements d'utilisation des terres sont l'une des principales causes de la perte de la biodiversité.

En revanche, la richesse spécifique faunique obtenue dans l'ensemble de la zone d'étude est inférieure à celle rapportée par Kouakou et al. (2011), lesquels ont inventorié 31 espèces dans la zone d'exploitation forestière de Grand-Béréby, en Côte d'Ivoire. Cette différence s'explique par la plus grande diversité des habitats et par des reliques forestières qui sont présentes dans la région. Kiffner et al. (2014), affirment que les variations de la composition floristique ont un impact sur les conditions d'habitat des animaux sauvages.

Ces résultats confirment la thèse selon laquelle les plantations forestières, principalement celles de *Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium* sur la biodiversité faunique en général et sur la diversité mammalienne en particulier (Koffi, et al., 2018 ; Soto Pinto et al., 2000 ; Steffan-dewenter, et al., 2007 ; & Clough et al., 2011).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

En République du Congo, les travaux de (Tassin et al., 1997) menés sous les plantations *d'Eucalyptus sp*, révèlent que les plantations forestières sont un moyen efficace d'améliorer la biodiversité par rapport aux savanes anthropiques et dégradées qu'elles remplacent (Louméto & Bernhard-Reversat, 1997).

Richesse spécifique par type de formation végétale

Les résultats indiquent que le type d'habitat influence la richesse spécifique mammalienne. Les plantations forestières présentent une richesse spécifique de 16 espèces, suivie des savanes (13 espèces) et des forêts naturelles avec 10 espèces. Cette richesse spécifique, plus élevée dans la plantation forestière, s'explique par le fait qu'en zone de plantation, l'effort d'échantillonnage est bien plus important en raison de la taille des galeries forestières parcourues. D'après Bouami (2022) ; Orbi Uliege (2020) et Mühlenberg et al. (1990), l'effort d'échantillonnage et la taille trop réduite des îlots peuvent entraîner une sous-représentation des habitats ou des espèces spécifiques. En effet, l'allélopathie inhibe la croissance des espèces de sous-étage, ce qui peut réduire la diversité végétale par ricochet et affecter la biodiversité faunique liée à ces habitats (McKey et al. 1978 ; Fisher, 1980 ; Louméto et Bernhard-Reversat 1997).

Les résultats de cette étude confirment que le type de formation végétale a un impact sur la diversité des espèces animales terrestres, en particulier sur les petits et grands mammifères, ce qui corrobore les conclusions des travaux de (Randriamoria, 2015 et Kouakou, Kouamé, Yao Wa, & Kouassi, 2011).

Nos résultats corroborent ceux obtenus par (Lindenmayer & Franklin, 2002 ; Kanowski, Catterall & Wardell-Johnson, 2005), lesquels affirment que les plantations forestières Eucalyptus peuvent contribuer grandement à améliorer la qualité de la biodiversité sous-plantation. .

La richesse spécifique la plus élevée observée sous plantation s'explique par une meilleure protection des plantations forestières face aux pressions anthropiques (chasse, feu de brousse et agriculture), qui maintient les conditions écologiques favorables à l'installation d'une biodiversité mammalienne. D'après Bissonnette et al. (1997), les perturbations du sous-étage peuvent toutefois avoir une influence critique sur les communautés fauniques, car la strate arbustive basse joue un rôle écologique majeur pour la survie de la plupart des herbivores.

Les pressions anthropiques, suivies d'une dégradation écologique des habitats, font des galeries forestières et des savanes des milieux peu favorables à l'installation de la faune locale. Les résultats de notre étude confirment ceux obtenus par (Bissonnette, Bélanger, Larue, Marchand, & Huot, 1997), lesquels indiquent que la richesse spécifique faunique, principalement celle des mammifères terrestres, varie en fonction du type de formation végétale après

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

avoir inventorié un total de 16, 25 et 20 espèces de mammifères respectivement en forêt, en savane et en zone mixte.

Nombre d'espèces communes

Dans le domaine d'Ibina, situé dans la zone de Bambou-mingali, 4 espèces communes ont été recensées entre les plantations et la savane.

En revanche, dans le domaine d'Oka2, situé dans la zone d'Ingouo et composé de 3 formations végétales, le nombre d'espèces communes est plus élevé entre la forêt et les plantations avec 5 espèces communes. Cette situation s'explique par le fait que la plantation forestière offre les conditions écologiques et microclimatiques similaires à celles des forêts ou galeries forestières, favorables à la faune locale. D'après Chardonnet et al. (1996), les espèces communes sont spécifiques à leur milieu en raison des différences écologiques majeures entre savane et forêt, ce qui explique le fait que certaines espèces généralistes ou adaptables fréquentent à la fois les savanes et les plantations (Njoukam, R. & Pelier, R, 2013).

Composition faunique

La composition faunique de la zone d'étude varie en fonction du type de formation végétale. Les plantations de *Acacia auriculiformis* et *Acacia mangium* présentent une composition faunique relativement proche de celle des forêts naturelles, tandis que les savanes sont les écosystèmes les moins diversifiés.

Cette variation de la composition faunique en fonction du type d'habitat confirme l'hypothèse selon laquelle la composition forestière, qu'elle soit constituée de peuplements résineux, feuillus ou mixtes, influence directement la diversité et la dynamique des espèces fauniques dans les plantations forestières (Newmaster, Roosenboom, Cole, & Towill, 2006).

Cette composition faunique est différente de celle des travaux de Mabiala (2006), dans le cadre du projet Plateau Batéké couvrant trois pays, le Gabon, la République du Congo et la République Démocratique du Congo, qui est dominée principalement par les grands mammifères *Gorilla gorilla*, *Loxodonta Cyclotis*, *Sylvicapra grimmia*.

Cette différence peut s'expliquer en grande partie par de la mosaïque complexe d'habitats qu'elle propose (Bout, 2006). Cette région combine savanes herbeuses et arbustives, forêts-galeries humides et plusieurs cours d'eau, créant une grande variété de niches écologiques favorables à une diversité importante d'espèces animales, notamment des mammifères et des oiseaux (Calaque, 2005).

Ces résultats corroborent la thèse selon laquelle les milieux savanicoles sont des types de biotopes relativement pauvres, aussi bien en termes de composition floristique que faunique (Cusin, 2009).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Distribution des familles et ordres des espèces

La distribution des familles dans les deux zones de collecte de données est similaire, avec une dominance de la famille des Bovidae aussi bien dans la zone de Bambou-Mingali (Ibina) que dans la zone d'Ingouo dans le domaine d'Oka2.

Cette dominance de la famille des Bovidae peut s'expliquer par leur adaptation alimentaire, leur capacité à exploiter les ressources des habitats ouverts ou semi-ouverts, mais aussi par les conditions écologiques spécifiques des sites qui influencent la disponibilité des ressources trophiques (Daget, 1980).

Cette présence, aussi bien dans les zones savanicoles et forestières que dans la plantation, corroborent les conclusions des travaux menés par Adjibi Oualiou, Codjia, & Mensah (2007).

En outre, on observe également une dominance des ordres des Carnivora et des Artiodactyla dans la zone de Bambou-Mingali, lesquels ont respectivement 6 et 4 espèces, pour un taux de représentation de 37,5 et 25 %.

Tandis que dans la zone d'Ingouo, des ordres, des Carnivora et Artiodactyla qui comptent chacun 5 espèces, pour un taux de représentation de 25 %.

Le résultat obtenu dans la zone de Bambou-Mingali est proche de celui des travaux de (Kouakou et al., 2011) dont les Artiodactyla représentent 41 % des espèces dans les concessions agro-industrielles au sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.

En revanche, ce résultat des deux zones est différent de celui obtenu par Béné et al. (2018) dans les plantations de cacaoyer de la zone de contact forêt-savane au centre de la Côte d'Ivoire, lequel montre une dominance de l'ordre des Rodentia avec 6 espèces, alors que les Artiodactyla et les Carnivora ne comptent que 3 et 2 espèces respectivement. Cette différence s'explique par le fait que ce bloc forestier subit une forte pression anthropique consécutive à l'agriculture extensive sur brûlis, aux plantations agro-industrielles, à l'exploitation forestière et à l'urbanisation. L'agriculture est l'une des pires formes de destruction des forêts ivoiriennes (Koné et al., 2014 ; Yéo, et al., 2011). Aussi, la disparition de la forêt ivoirienne a causé la réduction drastique de la population de plusieurs espèces de Mammifères (Koffi et al., 2008).

Statut UICN des espèces inventoriées

L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature a pour vocation de conserver la nature et garantir que l'utilisation des ressources naturelles soit **équitable** et **durable sur le plan écologique**, en fonction de différents principes.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Cet inventaire a recensé principalement des espèces de préoccupation mineure, aussi bien dans la zone de Bambou-Mingali du domaine d'Ibina que dans celle d'Ingouo dans le domaine d'Oka2.

Ce résultat est contraire à celui obtenu dans le parc national de Fazao-Malfakassa situé dans la partie centrale de la chaîne de l'Atakora au Togo, lequel a enregistré 7 espèces menacées de la liste rouge de l'UICN et 7 espèces rares et considérées comme menacées à l'échelle nationale (Atsri, Abotsi, et al., 2018).

En revanche, les résultats de cette étude sont supérieurs à ceux obtenus par Koffi et al., (2018) dans les plantations agroforestières de cacao en Côte d'Ivoire, dont les résultats sont similaires avec un cortège de 12 espèces à préoccupation mineure, avec aucune espèce inscrite sur la liste rouge inventoriée.

Ce résultat s'explique par le fait que la communauté faunique de la zone des plateaux Batéké en République du Congo, subit de moins en moins de pression, entraînant la disparition de certaines espèces.

Cependant, il est à noter que les plantations forestières de *A. aurculiformis* et *mangium* jouent un rôle crucial dans le maintien et l'amélioration de la diversité faunique. D'après Altieri (1999) ; Tucker (1997), de nombreux paysages gérés par l'homme regorgent d'une diversité spécifique comparable à celle des écosystèmes naturels. Il est donc évident que toute réflexion portant sur la biodiversité se doit d'intégrer non seulement les espaces naturels, mais aussi ceux qui sont gérés par l'homme (Tscharntke et al., 2005).

Conclusion

Les objectifs fixés par cette étude étaient principalement d'identifier la composition faunique de la zone d'étude, d'identifier la composition des mammifères terrestres en tenant compte de la typologie des formations végétales, mais également de déterminer leur statut de conservation conformément aux critères de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) dans la zone de Bambou-Mingali et d'Ingouo.

Les relevés fauniques révèlent une richesse spécifique faunique relativement faible, composée des espèces communes à l'échelle des sites d'étude et de formations végétales. On note une diversité faunique relativement faible dans l'ensemble de la zone d'étude, avec une richesse spécifique qui varie en fonction du type de formation végétale ou d'habitat.

Les communautés mammaliennes de la zone d'étude peuvent être classées en trois catégories selon les critères de l'UICN. À l'issue de cette étude, il s'agit entre autres des espèces à préoccupation majeure, des espèces quasi menacées et enfin des espèces en danger.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

En définitive, il sied de souligner que la création des superficies additionnelles de forêts par le reboisement et/ou l'afforestation contribue efficacement à l'amélioration de la biodiversité floristique avec la recrudescence des espèces de forêts matures avec l'âge des plantations, tandis qu'elle permet aussi la création des habitats plus favorables aux communautés fauniques des savanes souvent fortement anthropisées.

Contributions des auteurs

Armain Praïme Ouladis HOLLAT LOUIS a supervisé la collecte des données fauniques sur le terrain et a réalisé le traitement des données. Lilas TRAN NGOC et Hardan BANZOUNZI-MASSAMBA ont contribué à la collecte des données. Pierre MBETE a assuré la supervision scientifique. Le manuscrit a été rédigé par Armain Praïme Ouladis HOLLAT LOUIS ; la lecture et les amendements ont été apportés par Pierre MBETE.

Remerciements

Nos remerciements s'adressent au Docteur Bernard CASSAGNE, Directeur Gérant du Groupe FRM, pour avoir rendu possible la réalisation de cette étude. Mais aussi à Michel GALLY, Directeur Exécutif Congo du groupe FRM, pour avoir facilité les opérations de collecte de données sur l'ensemble des sites. Enfin, au Docteur François MANKESSI Coordonnateur National du Programme National d'Afforestation et de Reboisement (ProNAR), pour avoir autorisé la collecte de données dans les massifs du ProNAR et dans ses périphéries. Nos sincères remerciements vont à l'endroit du Dr LOUBOTA PANZOU Grace Jopaul pour sa contribution dans la mise en place du dispositif.

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 ont obtenu un financement de la Société des Plantations Forestières Batéké Brazzaville (SPF2B) en vue de la réalisation de cette étude.

Déclaration d'autorisation d'éthique et de travail sur le terrain

Cette étude n'a impliqué aucun participant humain ni entretien. La recherche était basée sur des observations écologiques de terrain et des indices de présence animale. Les données ont été recueillies par la méthode du transect linéaire et des marches de reconnaissance. Pour la réalisation des travaux de terrain, l'autorisation a été obtenue auprès des autorités de la SPF2B. L'étude

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

a été réalisée dans le respect des règles de la recherche et des inventaires de biodiversité.

References:

1. Atsri, H. K., Abotsi, K. E., & K. K. (2018). Enjeux écologiques de la conservation des mosaïques forêt-savane semi-montagnardes au centre du Togo (Afrique de l'Ouest). *Journal of Animal & Plant Sciences, 38*(1), 6112-6128.
2. Béné, J. C., Kouakou, C. V., Kpangui Kouassi, B. V., Bi, T. A., Djaha, K., & Adou, Y. C. (2018). *Journal of Animal & Plant Sciences, 35*, 5734-5748.
3. Bout, N. (2006). *Suivi écologique des grands mammifères et de l'impact humaine: Rapport final.* Gabon: WCS.
4. Calaque, R. (2005). *Présentation du Parc National des Plateaux Batéké & du projet WCS Gabon Plateaux Batéké.* Gabon: WCS.
5. Cloug, Y., Barkmann, J., Juhrbandt, J., Kessler, M., Cherico, W. T., Anshary, A., . . . Tscharntke, T. (2011). Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests. *PNAS, 108*(20), 8311-8316.
6. Cusin, J. (2009). la faune des mammifères et des oiseaux. *OpenEdition Books*, p223-230.
7. Daget, J. P. (1980). *Prairies et Pâturage.* CIRAD-CNRS.
8. Desclée, B., Bourgoin, C., Eva, H., Gourlet-Fleury, S., Hansen, M., Kibambe, J.-P., . . . Defourny, P. (2025). *Répartition des types de forêts et évolution selon leur affectation.* Kinshasa.
9. Djego, J., Gibigaye, M., Tente, B., & Sinsins, B. (2012). Analyses écologique et structurale de la forêt communautaire de Kaodji au Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sc, 6*(2), 705-713.
10. Dussault, C., Courtois, R., & Ouellet, J.-P. (2006). A habitat suitability index model to assess moose habitat selection at multiple spatial scales. *Can. J. For. Res., 36*, 11.
11. FAO. (2000). A fichery manager's guidebook : Management measures and their application. 227.
12. Fisher, R. F. (1980). Alle lopathy: a potential cause of regeneration failure. *Journal Forestry*, 346-350.
13. Forum forestier africain. (2022). *Les Forêts et L'attenuation du Changement Climatique.* (AFF, Éd.) Nairobi, Kenya. Récupéré sur https://afforum.org/new/web/sites/default/files/2025-02/12-AFF12P_0.pdf
14. Franquin, P. (1969). Analyse agroclimatique en région tropicale : Saison pluvieuse et saison humide application. 31.
15. Haurez, B., Fonteyn, D., Toint, S., Bracke, C., Doucet, J.-l., Kéhou, S., & Vermeulen, C. (2020). *Elaboration et mise en oeuvre d'un plan de*

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

gestion de la faune- Guide technique à destination des gestionnaires des forêts de production d'Afrique Centrale. Gembloux: Les presses Agronomique de Gembloux.

16. Koffi, D. A., Kone, I., & Tano. (2008). Influence du braconnage sur le comportement de fuite du bubale (Alcelaphus buselaphus major Pallas, 1766) dans la zone de Warigué en Côte d'Ivoire : implication pour l'organisation d'une chasse sportive. *Science et Nature, 5*(2), 145-153.
17. Koné, M. S., Konaté, K., Yéo, P. K., Kouassi, K. E., & Linsenmair. (2014). Effects of management intensity on ant diversity in cocoa plantation (Oume, Centre west Côte d'Ivoire). *Journal of insct Conservation, 18*(4), 701-712. doi:DOI : 10.1007/s10841-014-9679-8
18. Kouakou , H. B., Kouamé, B. A., Yao Wa, R. K., & Kouassi, B. K. (2011). Diversité des Mammifères et valeur pour la conservation des reliques forestières au sein d'une concession agro-industrielle au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoir. *Revue Internationale en sciences de l'environnement*, 1-17. Récupéré sur https://doi.org/10.4000/vertigo.19947
19. Larson, M. A. (2013). Droit foncier et accès aux forêts : manuel de formation à l'intension des chercheurs. 75.
20. Liao, C. H., Chen, M. Q., & Xie, Y. S. (1984). The initial investigation on soils animals in the tropical artificial forest of xialiang. *Tropical and Subtropical Forestrv Ecosystems, 2*, 214-226.
21. Louméto, J. J., & Bernhard-Reversat , F. (1997). Biodiversité dans les plantations d'arbres à croissance rapide au Congo. *Bois et Forêts des Tropiques*, 57-61.
22. Loumeto, J. J., & Bernhard-reversat, F. (1997). La biodiversité dans les plantations d'arbres à croissance rapide. *Bois et Forêts des Tropiques*, 57-61.
23. boumba, J.-F., Momboua, B. R., Perin, E., & Ysnel, F. (2021). Influence des perturbations anthropiques sur les communautés de petits mammifères des savanes gabonaises. *International Journal of Biological and Cheminal Science, 15*(4), 1355-1368.
24. McCkey, D., Waterman , P. G., MBI, C. N., Gartland, J. S., & Struhsaker, T. T. (1978). Phenolic content of vegetation in two african rain forests. *Ecological implications. Science*(202), 61-64.
25. MEA. (2005). : Ecosystems and Human Well-Being. *Island Press*.
26. MEFDD. (2015). *Résultats des calculs pour déterminer la biomasse, le carbone et les facteurs d'émissions de l'inventaire forestier National (IFN) en République du Congo.* Brazzaville: Ministère de l'Economie Forestière et du Développement Durable.
27. MRSIT. (2007). Rapport sur les caractéristiques climatiques de la République du Congo .

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

28. Newmaster, S. G., Roosenboom, C. R., Cole, H. A., & Towill, W. D. (2006). Restoration of floral diversity through plantations on abandoned agricultural land. *Canadian Journal of Forest Research, 36*, 1218–1235.
29. Randriamoria, T. M. (2015). Diversité et écologie des petits mammifères dans les habitats forestiers et anthropiques du District de Moramanga, Centre Est de Madagascar. *Sciences et technologie*, 17.
30. Soto-pinto , L., Perfecto, I., Castillo-hernandez, J., & Caballero-nieto, J. (2000). Shade ecffect on coffee production at the northern Tzelta zone of the state of Chiaps. *Agric Ecosyst Eviron, 80*, 61-69. doi:doi :10.1016/S0167-8809 (00)00134-1
31. Steffan-dewenter, I., Kessler, M., Barkmann, J., Boss, M., Buchori, D., Erasmi, S., Schaefer, M. (2007). Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 4973-4978.
32. Szymañski, C. R., Tabeni, S., Alvarez, J. A., & Campos, C. M. (2001). Diversity of plants and mammals as indicators of the effects of land management types in woodlands. *Forest Ecosystems, 8*(74), 15.
33. Tassin , J., Missamba-Lola, A. P., & Marien, J. N. (2011). Biodiversité des plantations d'eucalyptus. *Bois et Forets des Tropiques*, 27-38.
34. Tchatchou, B., Denis , J. S., Ifo, S., & Tiani, M. A. (2015). *Déforestation et dégradation des forêts dans le Bassin du Congo : État des lieux, causes actuelles et perspectives.* (CIFOR, Éd.) Bogor, Indonesie.
35. Tscharntke , T., Clough, Y., & Kruess, A. (2005). Organic versus conventional arable farming systems: Functional grouping helps understand staphylinid response. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 118*, 285-290.
36. Vié, J.-C., Hilton-Taylor, C., & Stuart, S. N. (2008). La vie sauvage dans un monde en mutation: La liste rouge de l'UNICN des espèces menacées. 194.
37. Vliet, N. V., & Nasi, R. (2013). Mise en évidence des facteurs du paysage agissant sur la répartition de la faune dans une concession forestière. *Bois et Forêts des Tropiques, 292*(2), 24-37.
38. Wuenschel, A. (2019). Impacts écologique potentiels à long terme des plantations d'Acacia non-natifs de la région de Kinshassa en République du Démocratique du Congo. 22-é".
39. Yéo, K. S., Konaté, S., Thio, K. S., & Camara. (2011). Impacts of land use types on ant communities in a tropical forest margin. *African Journal of Agricultural Research*, 260-274.

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Producteurs et itinéraires de production maraîchère sur le littoral togolais

Kossi Biava Afatsao
Kodjo Djidjole Etse
Komlan Edjedu Sodjinou
Benziwa Nathalie Johnson
Raoufou Radji
Marie-Luce Akossiwoa Quashie
Equipe Physiologie-Horticulture-Biotechnologies (PHOBIOT),
Centre de Recherche sur le Changement Climatique (CRCC),
Université de Lomé, Lomé, Togo

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p222

Submitted: 26 May 2026
Accepted: 04 August 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Afatsao, K.B., Etse, K.D., Sodjinou, K.E., Johnson, B.N., Radji, R., & Quashie, M-L.A. (2026). *Producteurs et itinéraires de production maraîchère sur le littoral togolais*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 222. https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p222

Résumé

Le maraîchage constitue une activité agricole stratégique sur le littoral togolais. Cette étude vise à caractériser le profil des producteurs et à analyser les pratiques culturales en zone côtière. L'approche méthodologique combine des enquêtes par questionnaire, des observations de terrain et des entretiens individuels auprès de 100 producteurs. Les résultats montrent une prédominance masculine (66 %), avec une majorité de producteurs âgés de moins de 45 ans. Le niveau d'instruction est globalement faible, avec seulement 6 % ayant atteint le secondaire II. Les pratiques culturales reposent essentiellement sur des savoirs empiriques, incluant l'utilisation de planches surélevées, une irrigation fréquente à partir d'eaux souterraines (forages) et une fertilisation organo-minérale. L'usage de pesticides chimiques concerne 56 % des producteurs, contre 24 % pour les biopesticides. L'approvisionnement en semences est diversifié : 18 % des producteurs s'approvisionnent au grand marché d'Attikpodji, 10 % auprès de fournisseurs locaux, tandis que 20 % utilisent des semences importées de pays voisins, notamment du Ghana. Une minorité (4 %) pratique l'autoproduction de

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

semences, en conservant des plants sur leurs parcelles. Quinze espèces maraîchères ont été recensées, dominées par les légumes-feuilles (*Lactuca sativa* L., *Solanum macrocarpum* L.), les légumes-fruits (*Capsicum annuum* L., *Solanum lycopersicum* L.) et les légumes-racines (*Beta vulgaris* L., *Daucus carota* L.), traduisant une adaptation aux préférences du marché. Les principales contraintes identifiées sont la pression parasitaire, les embruns marins, l'insécurité foncière, l'accès limité aux intrants et les coûts élevés de l'irrigation et de l'énergie. Malgré un potentiel hydrique favorable et la proximité du marché urbain de Lomé, la commercialisation reste largement informelle, limitant la valorisation économique des productions. Ces résultats soulignent la nécessité d'une approche intégrée fondée sur l'amélioration des pratiques culturales, la promotion de solutions agroécologiques, la sécurisation foncière, le renforcement des capacités des producteurs et l'adoption de technologies d'irrigation durables, afin d'assurer la durabilité du maraîchage côtier togolais.

Mots-clés: Littoral, production maraîchère, producteurs maraîchers, itinéraire de production, semences

Producers and Market Gardening Production on the Togolese Coast

Kossi Biava Afatsao
Kodjo Djidjole Etse
Komlan Edjedu Sodjinou
Benziwa Nathalie Johnson
Raoufou Radji
Marie-Luce Akossiwoa Quashie
Physiology-Horticulture-Biotechnology Team (PHOBIOT),
Climate Change Research Centre (CRCC), University of Lomé, Lomé, Togo

Abstract

Market gardening is a strategic agricultural activity on the Togolese coast. This study aims to characterize the profile of producers and analyze farming practices in coastal areas. The methodological approach combines questionnaire surveys, field observations, and individual interviews with 100 producers. The results show a male predominance (66%), with a majority of producers under 45 years of age. The overall level of education is low, with only 6% having completed upper secondary education. Farming practices are based primarily on empirical knowledge, including the use of raised beds, frequent irrigation from groundwater (boreholes), and organo-mineral

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

fertilization. Chemical pesticides are used by 56% of producers, compared to 24% for biopesticides. Seed supply is diversified: 18% of producers obtain their seeds from the large market in Attikpodji, 10% from local suppliers, while 20% use imported seeds from neighboring countries, particularly Ghana. A minority (4%) practice self-sufficiency in seed production, keeping seedlings on their plots. Fifteen vegetable species were identified, dominated by leafy vegetables (Lactuca sativa L., Solanum macrocarpum L.), fruiting vegetables (Capsicum annuum L., Solanum lycopersicum L.), and root vegetables (Beta vulgaris L., Daucus carota L.), reflecting an adaptation to market preferences. The main constraints identified are pest pressure, sea spray, land insecurity, limited access to inputs, and high irrigation and energy costs. Despite favorable water resources and proximity to the urban market of Lomé, marketing remains largely informal, limiting the economic value of produce. These findings highlight the need for an integrated approach based on improving farming practices, promoting agroecological solutions, securing land tenure, strengthening producer capacity, and adopting sustainable irrigation technologies to ensure the sustainability of coastal market gardening in Togo.

Keywords: Coastal, market gardening, market gardeners, production pathway, seeds

I. Introduction

Le maraîchage, correspondant principalement à la production de légumes destinés à l'alimentation humaine, constitue un segment majeur de l'agriculture mondiale. Selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2024), la production mondiale de légumes est estimée à environ 1,19 milliard de tonnes par an. Par ailleurs, la valeur du commerce mondial des fruits et légumes excède 300 milliards de dollars par an, plaçant ce secteur parmi les plus dynamiques du commerce agroalimentaire international (FAO, 2023). Au-delà de son poids économique, le maraîchage joue un rôle déterminant dans la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Les légumes constituent une source essentielle de micronutriments, notamment les vitamines A et C, le fer et le folate (FAO, 2023), contribuant ainsi à la prévention des carences nutritionnelles. En Afrique, la production annuelle de légumes est estimée entre 90 et 100 millions de tonnes, soit environ 8 % de la production mondiale (FAO, 2023). En Afrique de l'Ouest, le maraîchage représente une source importante de revenus monétaires et d'autosuffisance alimentaire pour les ménages ruraux et périurbains. Il contribue également à la création d'emplois, notamment pour les femmes et les jeunes, renforçant ainsi les moyens de subsistance locaux (Kouakou, 2020 ; Atakpama *et al.*, 2021 ; FAO, 2024). Dans ce contexte

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

régional, le maraîchage occupe une place stratégique au Togo. Sur le littoral togolais, il figure parmi les principales activités génératrices de revenus et joue un rôle central dans l'approvisionnement de la ville de Lomé en légumes frais (Kanda *et al*., 2009). Cette dynamique est favorisée par des conditions agro-environnementales relativement avantageuses, caractérisées par la disponibilité des ressources hydriques (lacs, lagunes et nappes souterraines), un climat subéquatorial favorable et la proximité immédiate des marchés urbains, notamment celui de Lomé (Kanda *et al*., 2017 ; Graner *et al*., 2023). Des travaux récents indiquent également une bonne qualité physico-chimique des eaux d'arrosage, bien que des variations spatiales de la minéralisation aient été observées (Afatsao *et al*., 2025). Cependant, malgré ces atouts, le secteur maraîcher africain y compris celui du littoral togolais se caractérise par une forte hétérogénéité sociotechnique. Les exploitations diffèrent significativement par leurs profils socio-économiques, leurs pratiques culturales et leurs niveaux de technicité, en fonction des environnements de production et des modalités d'accès aux ressources (Ouédraogo et Tapsoba, 2022). Cette diversité résulte de l'interaction entre facteurs endogènes (savoirs locaux, traditions culturales) et facteurs exogènes (introduction de nouvelles technologies, accès aux intrants et aux services techniques). Or, la performance et la rentabilité des systèmes maraîchers reposent en grande partie sur la maîtrise des itinéraires techniques de production, incluant la préparation du sol, le semis, la fertilisation, la protection phytosanitaire, l'irrigation et la récolte (Sebillotte, 1978 ; Husson *et al*., 2013). Par ailleurs, le développement agricole ne peut être appréhendé uniquement sous l'angle technique ou économique sans intégrer les dimensions sociales, les stratégies des acteurs et leurs perceptions (Ouédraogo *et al*., 2021). Malgré l'importance économique et alimentaire du maraîchage sur le littoral togolais, peu d'études ont analysé de manière intégrée la diversité sociotechnique des exploitations en tenant compte à la fois des savoirs endogènes et exogènes. De même, les itinéraires techniques de production demeurent insuffisamment documentés, ce qui limite la compréhension des dynamiques productives et entrave l'élaboration de stratégies d'amélioration adaptées aux réalités locales. C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente étude, qui vise à analyser les itinéraires techniques de production maraîchère sur le littoral togolais, tout en intégrant le profil socioprofessionnel des producteurs.

II. Méthodologie

2.1 Zone d'étude

La présente étude est conduite sur le cordon littoral du sud du Togo, une bande côtière stratégique située le long du golfe de Guinée, précisément entre les coordonnées géographiques en UTM de 307071,24 Est ; 678296,51 Nord et 322668,22 Est ; 683768,61 Nord. Cette zone côtière se caractérise par

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

une côte basse et sablonneuse, marquée par un phénomène d'érosion à l'est de la jetée principale du port Autonome de Lomé, avec un départ prononcé des sédiments (Fiagan, 2013). Cette zone est à cheval entre la préfecture du Golfe et celle des Lacs de la Région Maritime, et s'étend sur environ 20 km le long de la côte atlantique (**Figure 1**).

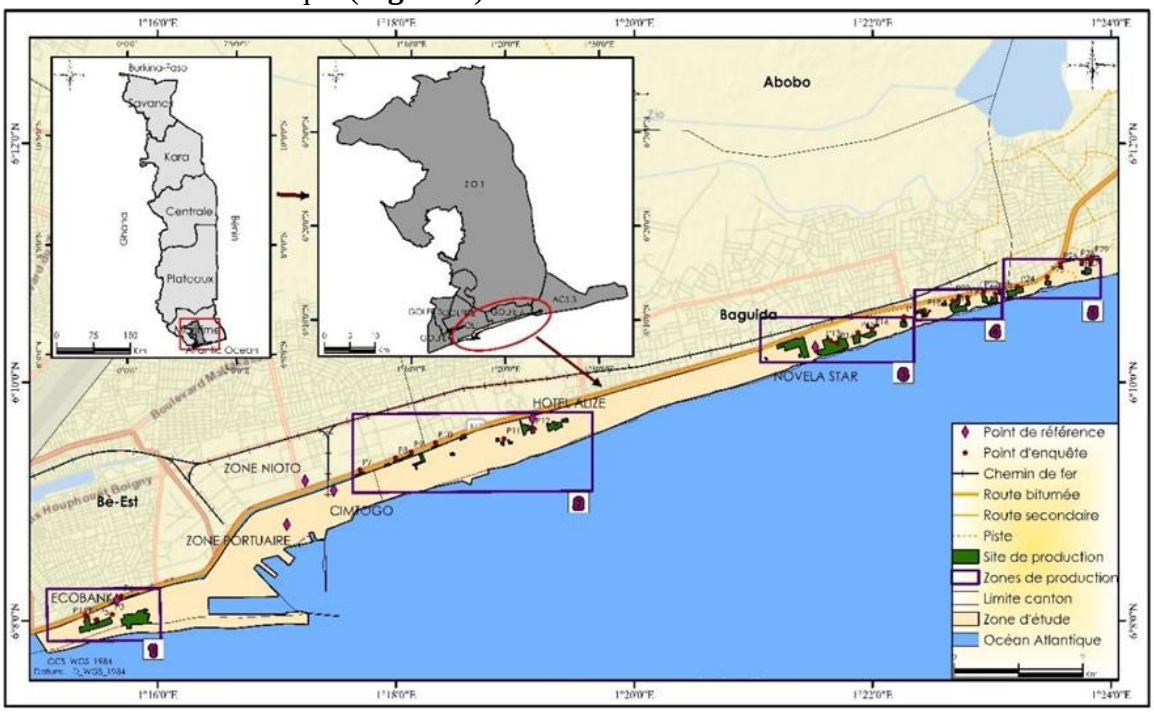


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude

2.2. Collecte de données

La population cible de cette étude est constituée de l'ensemble des producteurs maraîchers exerçant leurs activités sur le littoral togolais. L'échantillonnage adopté est de type raisonné (ou par choix raisonné), consistant à sélectionner des producteurs répondant à des critères précis. Pour être inclus dans l'étude, les producteurs devaient : (i) pratiquer le maraîchage dans la zone d'étude depuis au moins une campagne agricole ; (ii) être âgés d'au moins 18 ans, conformément aux dispositions de la loi n°2021-012 portant Code du travail en République togolaise ; (iii) être présents et disponibles au moment de l'enquête ; et (iv) accepter volontairement de participer à l'étude après avoir été informés de ses objectifs et modalités. Sur la base de ces critères, un échantillon de 100 producteurs a été retenu et enquêté.

Les enquêtes de terrain ont été réalisées dans les principales zones de production maraîchère du littoral togolais de Février à mai 2022. La zone d'étude couvre plusieurs quartiers répartis dans différentes communes,

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

notamment le quartier d'Ablogamé, situé dans la commune du Golfe 1, à l'ouest du Port autonome de Lomé, ainsi que les quartiers de Baguida et d'Agodéké dans la commune du Golfe 6. Elle inclut également les quartiers de Kpogan et d'Agbavi, localisés dans la commune des Lacs 3. Les différents sites de production prospectés sont situés à moins de 25 km de la ville de Lomé, capitale du Togo.

Cette recherche a été conduite dans le respect des principes éthiques applicables aux études impliquant des participants humains. Avant la collecte des données, les producteurs sélectionnés ont été informés des objectifs de l'étude, de la nature des informations recherchées. Leur implication reposait sur un consentement libre, éclairé et volontaire. L'anonymat des répondants ainsi que la confidentialité des données recueillies ont été garantis durant l'ensemble du processus de recherche.

Sur la base d'un questionnaire semi-structuré, les informations recherchées auprès des enquêtés sont entre autres l'âge, le sexe, le niveau d'instruction, les techniques culturales notamment le semis, les sarclages, la fertilisation, les traitements phytosanitaires, la gestion des ravageurs, les intrants utilisés (types, quantités, fréquences d'application), les sources d'approvisionnement en semences, les espèces cultivées, les procédures de préparation des pépinières, les systèmes et les sources d'irrigation, la fréquence d'arrosage, les modalités de récolte, les contraintes techniques et économiques rencontrées par les producteurs. Les informations relatives à la provenance des semences utilisées, fournies par les producteurs de la zone d'étude, ont également été vérifiées et croisées avec celles disponibles sur les sites des boutiques de distribution auprès desquelles les producteurs s'approvisionnent. Toutes ces informations permettent de reconstituer chaque étape de l'itinéraire technique, depuis l'acquisition des semences jusqu'à la production des espèces.

2.3. Identification des espèces cultivées

L'identification des espèces est faite en deux temps. Il s'agit de l'identification préliminaire basée sur les noms locaux et usuels recueillis grâce aux fiches techniques des producteurs, puis une confirmation des noms scientifiques est faite à l'herbier national de l'université de Lomé.

2.4. Analyse des données

L'analyse de données a fait appel aux méthodes de statistiques descriptives à l'aide du logiciel IBM SPSS statistics 27.0.1. Ainsi, les variables quantitatives sont décrites en utilisant la moyenne. Les variables qualitatives sont décrites en utilisant les pourcentages.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

III. Résultats

3.1. Caractéristiques du profil des producteurs

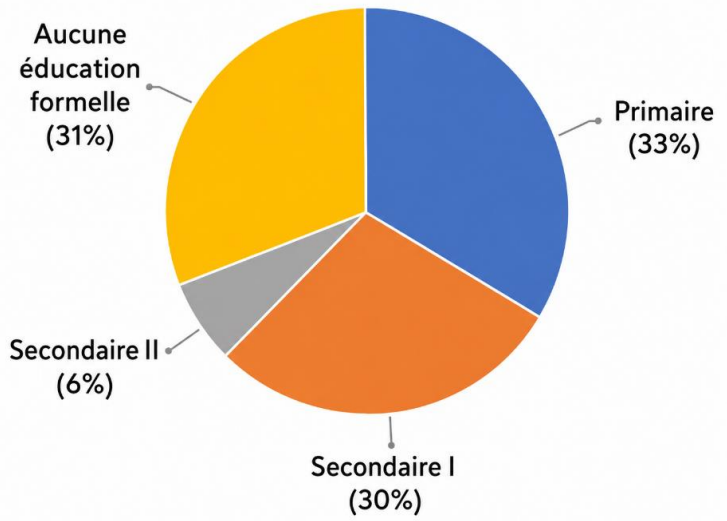
L'enquête menée auprès des producteurs révèle une distribution variable en termes de sexe et d'âge. Les résultats indiquent que 66% des producteurs sont des hommes. Concernant la répartition par tranche d'âge, la catégorie la plus représentée parmi les maraîchers est celle des 30 à 44 ans, regroupant 60% des enquêtés, suivie de près par les tranches d'âge inférieure à 30 ans. En revanche, la tranche d'âge la moins représentée est celle des tranches d'âge supérieur ou égale à 60 ans, avec seulement 6%, dont 4% des femmes (**Tableau 1**).

Tableau 1: Répartition des enquêtés selon le sexe et l'âge

Sexe	**Hommes**		**Femmes**		**Total**	
Tranche d'âge	**Effectif**	**Pourcentage**	**Effectif**	**Pourcentage**	**Effectif**	**Pourcentage**
18-30 ans	16	16%	6	6%	22	22%
30-44 ans	40	40%	20	20%	60	60%
45-59 ans	8	8%	4	4%	12	12%
≥ 60 ans	2	2%	4	4%	6	6%
Total	**66**	**66%**	**34**	**34%**	**100**	**100%**

Notons que parmi les enquêtés, 6% ont pu atteindre le secondaire II, 30% ont terminé le secondaire I, 33% ont achevé le premier cycle et 31% n'ont pas eu d'éducation formelle (**Figure *2***).

Figure 2 : Répartition des maraîchers selon le niveau d'instruction



***Légende** : Primaire : enseignement primaire ; Secondaire I : Premier cycle du secondaire (collège) ; Secondaire II : deuxième cycle du secondaire (lycée)*
(Classification internationale de l'éducation de l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), appelée CITE (Classification Internationale Type de l'Éducation), connue en anglais sous le nom d'ISCED)

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

III.2. Itinéraires techniques de production

Le cycle de production maraîchère passe par plusieurs étapes (**Figure 3**) :

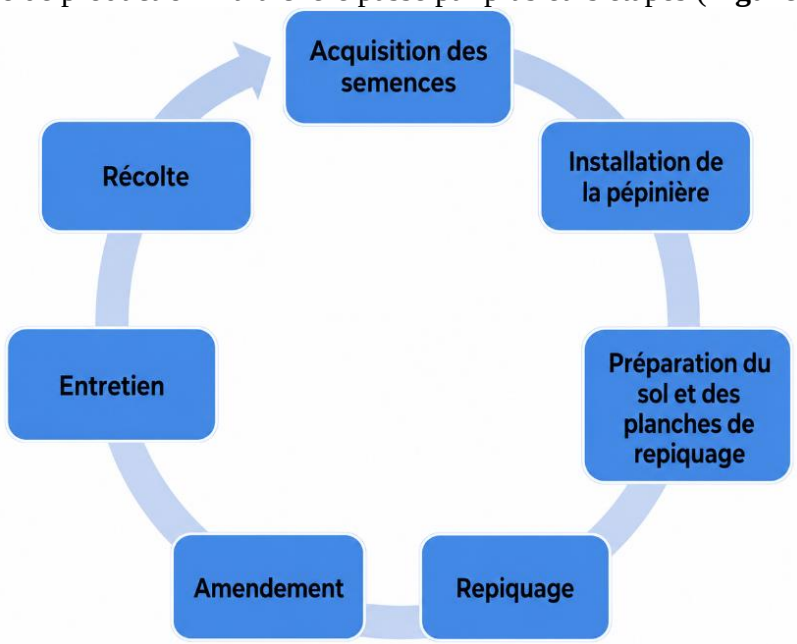


Figure 3 : Schéma représentatif du cycle de l'itinéraire de production sur la côte togolaise

a. Acquisition des semences

En matière d'approvisionnement en semences, 32 % des producteurs enquêtés déclarent se fournir auprès de la boutique Agroshop, qui commercialise des semences principalement issues des Pays-Bas et de la France. Par ailleurs, 40 % des producteurs s'approvisionnent à la fois auprès de la boutique Togo Semences et du grand marché d'Attikpodji, les semences proposées par Togo Semences étant majoritairement d'origine française.

La boutique Agroshop s'approvisionne en semences certifiées auprès de Bejo Seeds, entreprise néerlandaise spécialisée dans la sélection et la production de semences potagères, ainsi que de GSN Semences, producteur français de semences de légumes et de cultures fourragères disposant d'un réseau d'exportation adapté aux marchés ouest-africains.

En outre, 10 % des producteurs interrogés obtiennent leurs semences auprès de la boutique Koueviakoe, tandis que 18 % s'approvisionnent exclusivement au grand marché d'Attikpodji. Il ressort également que 20 % des producteurs utilisent des semences importées de pays voisins, notamment du Ghana. Enfin, une proportion de 4 % recourt à des stratégies d'autoproduction de semences en raison de contraintes financières. Ces producteurs conservent certains plants, notamment de *Solanum macrocarpum*, sur environ 33 % des parcelles cultivées afin de produire des semences fermières à partir de fruits arrivés à maturité physiologique.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

b. Installation de la pépinière

La totalité des enquêtés (100 %) aménage des espaces légèrement labourés puis arrosés pour l'installation des pépinières. Le semis est fait soit en ligne, soit à la volée, puis les semences sont recouvertes d'une fine couche de sable. Les pépinières font l'objet d'arrosages réguliers et sont protégées par une couverture de paille afin de limiter l'évaporation, durant une période d'incubation estimée entre trois et quatre semaines (**Figure 4**).

Figure 4 : Installation des pépinières



A : Feuilles de cocotier sèches qui couvrent les pépinières, B : Semis non recouvert

c. Préparation du sol et des planches de repiquage

La préparation du sol est intégrée à l'itinéraire technique à travers la préparation des planches, qui constitue l'étape fondamentale de mise en culture dans les systèmes maraîchers de la côte togolaise. Les producteurs n'effectuent pas un travail du sol à l'échelle de la parcelle, mais procèdent à la confection de planches surélevées. Cette opération regroupe l'ensemble des interventions de préparation du lit de culture, notamment l'ameublissement du sol, le nivellement, la délimitation des planches et, le cas échéant, l'incorporation des amendements organiques ou minéraux.

Les planches observées présentent une forme rectangulaire, sont surélevées et soigneusement nivelées. Deux catégories ont été distinguées en fonction de leur état d'exploitation : (i) les planches en production (actives), actuellement cultivées, et (ii) les planches inactives, temporairement non exploitées ou récemment aménagées (en jachère).

Les superficies relevées varient entre 5 et 28 m². Deux principaux formats se dégagent : d'une part, des planches de grande dimension, mesurant environ 10 à 12 m de longueur pour une largeur comprise entre 1 et 2,4 m ; d'autre part, des planches de taille moyenne, longues de 5 à 6 m, avec une largeur similaire comprise entre 1 et 2,4 m. Par ailleurs, les planches sont disposées perpendiculairement à la mer et séparées les unes des autres par des

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

allées d'environ 13 à 15 cm. Un espacement moyen de 50 cm est également observé entre deux lignes parallèles de planches.

d. Repiquage

Les jeunes plants de 3 ou 4 semaines issus de la pépinière sont transférés sur les planches préparées. Les plants sont repiqués en ligne.

e. Gestion de l'eau :

Les producteurs maraîchers utilisent l'eau de manière périodique, avec une utilisation fréquente de sources telles que les forages et les puits pour ceux dont les suppresseurs (**Figure 5**) des forages sont en panne.



Figure 5 : Suppresseur reliée au forage par les tuyaux PVC

La distribution de l'eau s'effectue au moyen de bandes perforées installées au sol (**Figure 6**), permettant une irrigation régulière des cultures.



Figure 6 : Arrosage via les bandes perforées

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Par ailleurs, les producteurs aménagent des dispositifs de stockage, notamment des buses servant de réservoirs, afin de garantir une disponibilité continue en eau. Selon les producteurs, ces installations contribuent à limiter la consommation d'énergie électrique et à réduire le recours aux groupes électrogènes lorsque ceux-ci sont utilisés (**Figure 7**).



Figure 7 : Buse de stockage d'eau

L'arrosage est effectué à une fréquence de deux fois par jour : une fois le matin et une seconde fois à partir de 15 heures. Les horaires du premier arrosage matinal ne sont pas fixes. La fréquence d'arrosage peut être modifiée en fonction de l'ensoleillement et de l'évaporation constatés par les producteurs.

f. Amendement

Les producteurs utilisent à la fois des intrants chimiques et organiques pour l'amendement des sols et la fertilisation des cultures. Les engrais chimiques cités et observés sont l'urée et le NPK 15-15-15. Les amendements organiques comprennent les fientes de volaille et de bovins, le fumier et le compost. Ces intrants sont épandus sur les planches de culture, généralement après le repiquage des plants. Toutefois, des apports peuvent également être réalisés avant le repiquage ou après les récoltes, notamment pour *Solanum macrocarpum*, afin de favoriser la régénération des plants. La fréquence des amendements varie selon le type de culture et l'expérience du producteur.

g. Entretien des cultures

L'entretien des cultures après le repiquage repose sur un ensemble de pratiques culturales notamment le désherbage manuel (**Figure 8**), l'application de traitements phytosanitaires, ainsi que la fertilisation minérale et/ou organique. Le désherbage est effectué par les producteurs et les métayers au moins deux fois au cours du cycle avant l'atteinte de la maturité des cultures, afin de limiter la concurrence des adventices.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Figure 8 : Désherbage manuel par les métayères



Les femmes métayers en train de faire des désherbages manuels

Par ailleurs, des traitements phytosanitaires sont appliqués, au moins deux fois par cycle. Ceci pour prévenir les attaques de champignons phytopathogènes et d'insectes ravageurs susceptibles d'affecter le rendement et la qualité de la production.

L'usage des pesticides est largement répandu. Parmi les maraîchers enquêtés, 56 % utilisent des pesticides chimiques, tandis que 24 % ont recours à des biopesticides. Il faut noter que ces pesticides sont utilisés principalement pour lutter contre les ravageurs et les maladies.

3.3. Contraintes liées à la production maraîchère

De nombreuses contraintes entravent la production maraîchère sur la côte togolaise. Parmi les principales difficultés recensées figurent la pression parasitaire**,** mentionnée par 71 % des enquêtés suivi des effets des embruns marins et la projection d'eaux salées due aux vagues déferlantes, évoqués par 20 % des producteurs interrogés et enfin les problèmes liés à l'occupation du sol et aux ressources financières évoqués par 9 % des répondants. Les attaques parasitaires récurrents sont ceux des chenilles citées par 44% des enquêtés suivi de celles des pucerons (27%), des punaises (20%) et de nématodes (9%)**.** Il est à noter que seulement 5% des maraîchers utilisant les produits phytosanitaires ont reçu une formation de base en matière de protection phytosanitaire. En revanche, 95 % des enquêtés ont appris l'utilisation des pesticides directement sur le terrain, principalement auprès des autres producteurs et s'exposent ainsi aux risques sanitaires importants.

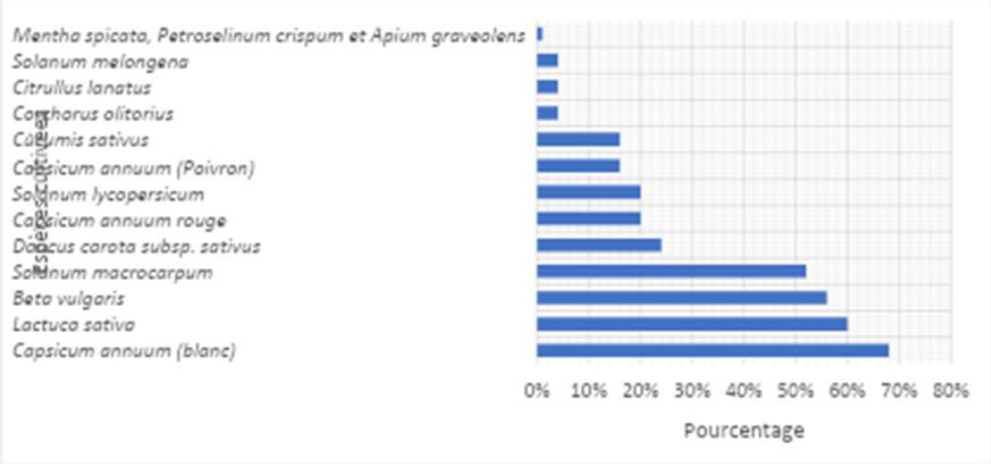
ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Concernant les embruns marins et la projection d'eaux salées, 52 % des producteurs délimitent leurs zones de production situées à proximité du trait de côte à l'aide de haies vive ou de claie en feuilles de cocotier, afin de se protéger contre les embruns marins et les jets d'eau de mer vers les parcelles cultivées.

3.4. Inventaire des espèces maraîchères cultivées

Au total, 15 espèces sont recensées dans cette étude (**Figure 9**). Les espèces les plus fréquemment citées par les producteurs sont le piment (*Capsicum annuum* L.), notamment le piment blanc, mentionné par 68 % des producteurs. La laitue (*Lactuca sativa* L.) se distingue parmi les légumes feuilles avec 60 % de citations. La betterave (*Beta vulgaris* L.) est citée par 56 % des producteurs, tandis que la grande morelle (*Solanum macrocarpum* L.) est mentionnée par 52 % des répondants. À l'inverse, certaines espèces sont faiblement citées : 4 % pour l'aubergine (*Solanum melongena* L.), la menthe (*Mentha spicata* L.), le persil (*Petroselinum crispum* Mill.) et le céleri (*Apium graveolens* L.). Ces espèces sont principalement produites sur demande.

Figure 9 : Espèces maraichères cultivées sur le littoral



NB : « Les pourcentages sont calculés sur la base des citations multiples ; un producteur pouvait citer plusieurs espèces. La somme des pourcentages peut donc dépasser 100 %. »

En fonction de la saisonnalité et la demande sur le marché, les six espèces les plus cultivées sont classées en trois catégories de légumes : les légumes feuilles (Laitue, Grande Morelle) ; les légumes fruits (Piments, Tomate) et les légumes racines (Betterave, Carotte). Une illustration succincte est donnée pour faciliter la reconnaissance de ces six espèces (***Planche 1***).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Planche 1 : Photo des espèces les plus cultivées sur le littoral togolais



Laitue (Lactuca sativa L)



Grande morelle (Solanum macrocarpum L)



Piments (Capsicum annuum L.)



Tomate (Solanum lycopersicum L.)



Betterave (Beta vulgaris subsp. Vulgaris)



Carotte (Daucus carota subsp. Sativus)

3.5. Sources d'énergie

Les résultats de l'enquête révèlent que l'énergie électrique fournie par la Compagnie Energie Electrique du Togo (CEET) constitue la principale source d'alimentation des équipements d'irrigation. Cette énergie est utilisée pour le fonctionnement des dynamos, grâce à l'installation soit d'un compteur ordinaire, soit par le système dit de catch power (un système de prépaiement).

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Les producteurs utilisent également, des dynamos de puissance moyenne (environ 2 HP), des groupes électrogènes pour assurer l'arrosage des planches au moyen de bandes perforées.

IV. Discussion

L'étude met en évidence une prédominance masculine dans le maraîchage du littoral togolais. Cette situation rejoint les observations réalisées dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest où les hommes occupent majoritairement les activités nécessitant un accès au foncier, aux équipements d'irrigation et aux investissements productifs (FAO, 2023 ; ONU-Femmes, 2022). Cependant la présence des femmes dans l'échantillonnage confirme leur implication effective dans la production maraîchère, malgré des contraintes persistantes d'accès aux ressources productives (Atinkut *et al*., 2021 ; Seidu *et al.,* 2022). Toutefois, leur faible représentation pourrait être associée à la pénibilité des travaux maraîchers en zone côtière, notamment l'aménagement des planches, le transport des intrants, les traitements phytosanitaires des plants et la gestion de l'irrigation.

L'étude révèle que les individus de moins de 45 ans s'adonnent plus à l'activité de maraîchage que les personnes âgées. Cette situation est fréquemment observée dans les systèmes horticoles africains où les activités de production nécessitent une mobilisation importante de la main-d'œuvre et une capacité d'adaptation aux innovations techniques (FAO, 2023). Cependant, la faible proportion de producteurs âgés de plus de 60 ans pourrait s'expliquer par les exigences physiques inhérentes aux activités maraîchères. En effet, les opérations telles que la préparation des planches et les travaux d'entretien des cultures requièrent un effort physique soutenu, dont la capacité d'exécution tend à diminuer avec l'avancée en âge. Cette réalité conduit souvent les producteurs les plus âgés à réduire progressivement leur implication dans les activités agricoles intensives ou à se réorienter vers des tâches moins exigeantes sur le plan physique (FAO, 2024 ; ILO, 2023). Cette structure démographique relativement jeune constituerait un atout pour le renouvellement générationnel du secteur maraîcher, considéré comme un enjeu majeur du développement agricole en Afrique de l'Ouest (IFAD, 2023).

Le niveau d'instruction relativement faible des producteurs constitue un facteur important dans le fonctionnement du système de production maraîchère. En effet, près du tiers des producteurs enquêtés n'ont bénéficié d'aucune éducation formelle et seuls 6 % ont atteint le niveau secondaire II. Cette situation peut limiter l'accès aux informations techniques et la compréhension des recommandations agricoles, notamment en matière de protection phytosanitaire. Plusieurs études ont montré que le niveau d'éducation influence positivement l'acquisition des connaissances agricoles et l'adoption des innovations techniques (Zossou *et al.*, 2020 ; FAO, 2023). De

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

même, les producteurs les plus instruits sont généralement plus aptes à comprendre les notices techniques et à appliquer correctement les recommandations relatives à l'utilisation des pesticides (Konan *et al*., 2025). Dans le contexte du maraîchage en Afrique de l'Ouest, le faible niveau d'instruction est souvent associé à un apprentissage essentiellement informel reposant sur les échanges entre producteurs, ce qui peut favoriser la persistance de pratiques phytosanitaires inadéquates (Kanda *et al*., 2013 ; Diallo *et al.,* 2020).

Les pratiques culturales observées chez les producteurs maraîchers du littoral togolais révèlent une relative homogénéité des itinéraires techniques. L'utilisation de planches surélevées favorise le drainage des excès d'eau, améliore l'aération du sol et limite les risques d'engorgement racinaire, contribuant ainsi à de meilleures performances agronomiques. Ces observations concordent avec les conclusions de Zhao *et al.* (2024), qui soulignent que les systèmes de culture sur planches surélevées constituent une stratégie efficace d'adaptation aux contraintes hydriques dans les environnements tropicaux et subtropicaux.

Par ailleurs, le recours au paillage au niveau des pépinières constitue une pratique favorable à la conservation de l'humidité du sol. Selon Ramos *et al*. (2024), le paillage réduit les pertes d'eau par évaporation, améliore les conditions microclimatiques du sol et favorise ainsi une meilleure germination de même qu'un développement plus vigoureux des jeunes plants. Les pratiques observées chez les producteurs du littoral togolais traduisent donc une adaptation empirique aux contraintes environnementales locales.

L'approvisionnement en semences des producteurs maraîchers du littoral togolais repose principalement sur des circuits commerciaux spécialisés. Cette prédominance du système semencier formel traduit la recherche de semences à haut potentiel de rendement, homogènes et ayant une meilleure qualité sanitaire. Selon la FAO (2024)**,** les systèmes semenciers formels constituent un levier important d'amélioration de la productivité agricole grâce à la diffusion de variétés améliorées et certifiées répondant aux normes de qualité. Cette situation a également été observée dans plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest où les producteurs maraîchers privilégient les semences commerciales pour les cultures à forte valeur marchande en raison de leurs performances agronomiques supérieures (Abate *et al*., 2023). Par ailleurs, certains producteurs réutilisent leurs propres semences non certifiées, notamment celles de *Solanum macrocarpum*. Pour parer aux contraintes financières liées l'acquisition des semences certifiées. Cependant, McGuire et Sperling (2016) rappelaient que les systèmes semenciers paysans demeurent la principale source d'approvisionnement de nombreux petits producteurs africains, lorsque les marchés semenciers formels sont peu accessibles ou financièrement contraignants. La conservation des semences de

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

S. macrocarpum apparaît ainsi comme une stratégie locale de résilience qui contribuerait à réduire les coûts de production tout en assurant la disponibilité des semences d'une campagne à l'autre. Cette observation rejoint les conclusions de Merçon *et al.* (2024) qui stipulent que ces pratiques locales de conservation et d'échange des semences renforceraient la résilience des systèmes agricoles face aux incertitudes économiques et environnementales. Ces pratiques réduisent leur dépendance vis-à-vis des marchés et favorisent la continuité de la production en permettant aux producteurs de disposer d'un stock semencier autonome. Ainsi, on note une coexistence entre les systèmes semenciers formels et informels. Cette complémentarité a été mise en évidence par McGuire et Sperling (2016) qui estiment que les deux systèmes remplissent des fonctions distinctes mais complémentaires dans les économies agricoles africaines. Ces résultats suggèrent que l'amélioration de la durabilité du maraîchage au Togo ne devrait pas reposer exclusivement sur la promotion des semences certifiées, mais également sur la valorisation, la conservation et la diffusion des semences paysannes adaptées aux conditions agroécologiques locales. Comme le souligne Merçon *et al*. (2024), la combinaison des innovations issues des systèmes formels avec les connaissances locales constitue une approche pertinente pour renforcer la résilience et la durabilité des systèmes agricoles qui reposent sur un système d'irrigation approprié.

La présente étude révèle que l'irrigation constitue le pilier du système de production maraîchère du littoral togolais. Le recours aux forages, associé à l'utilisation de bandes perforées alimentées par des dynamos électriques ou des groupes électrogènes, traduit une forte dépendance à la maîtrise de l'eau pour assurer la production tout au long de l'année. Pour Champaneri *et al.* (2024)**,** l'irrigation demeure l'un des principaux leviers d'intensification de la production maraîchère, particulièrement dans les contextes caractérisés par une forte variabilité climatique. Toutefois, la dépendance aux équipements de pompage et aux sources d'énergie expose les producteurs à des risques de rupture d'approvisionnement en eau et à une augmentation des coûts de production, ce qui peut compromettre la rentabilité des exploitations. Cette situation est comparable à celle observée dans plusieurs zones maraîchères rurbaines d'Afrique de l'Ouest où l'accès à l'eau d'irrigation constitue un facteur déterminant de la productivité agricole.

La présence de dispositifs de stockage de l'eau observée dans ces exploitations témoigne d'une stratégie locale d'adaptation visant à sécuriser les besoins hydriques des cultures. Cette pratique est cohérente aux recommandations formulées par Champaneri *et al*. (2024)**,** qui soulignent que les infrastructures de stockage permettent d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de renforcer la résilience des systèmes maraîchers face aux périodes de pénurie. Cependant, la durabilité de ces systèmes dépend généralement de la qualité des ressources hydriques mobilisées. À cet égard,

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Wofakor *et al*. (2024) rappellent que l'utilisation d'eaux souterraines ou de surface nécessite un suivi régulier afin de prévenir les risques de contamination chimique ou microbiologique susceptibles d'affecter la santé des consommateurs et la qualité des productions. Aussi, la dépendance à l'électricité met en évidence l'importance d'un accès fiable à l'énergie pour le fonctionnement des systèmes d'irrigation. Toutefois, elle expose les producteurs aux interruptions de service et à la hausse des coûts énergétiques, susceptibles d'affecter la durabilité des activités de production. Toutefois, des alternatives telles que l'irrigation goutte à goutte et les pompes solaires offrent des gains substantiels en efficacité hydrique, en rentabilité et en durabilité (International Center for Biosaline Agriculture [ICBA], 2021 ; Sanogo *et al*., 2025). Ainsi, leur adoption demeure freinée par les coûts initiaux et le manque de dispositifs de financement adaptés.

L'un des résultats phares de cette étude révèle l'utilisation importante d'intrants organiques et minéraux, notamment l'urée, le NPK, le fumier, le compost et les fientes animales dans la production maraîchère. Cette combinaison traduit la volonté des producteurs de maintenir la fertilité des sols tout en répondant aux exigences de rendement des cultures. Plusieurs études ont montré que l'application combinée de fertilisants organiques et minéraux améliore la disponibilité des nutriments, accroît l'efficience de leur utilisation, favorise les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et contribue à préserver sa fertilité sur le long terme tout en limitant les risques de dégradation (Uddin *et al*., 2025 ; Agegnehu et Amede, 2017 ; Gram *et al*., 2020). Cette stratégie est particulièrement pertinente dans les systèmes maraîchers intensifs où les prélèvements nutritifs sont élevés. Cependant, le recours fréquent aux pesticides constitue un enjeu majeur. Le fait que seulement 5 % des producteurs aient bénéficié d'une formation en protection phytosanitaire est préoccupant. Cette situation confirme les observations de Dorkenoo *et al*. (2020), qui expliquent que la majorité des maraîchers utilisent les pesticides sans formation adéquate et présentent une faible connaissance des risques sanitaires et environnementaux associés à ces produits. De même, Assinou *et al* (2024) soulignent que les pratiques phytosanitaires dans les systèmes maraîchers du Grand Lomé restent largement fondées sur l'expérience personnelle ou les conseils des vendeurs d'intrants plutôt que sur un encadrement technique structuré. Cette insuffisance de formation favoriserait les erreurs de dosage, le non-respect des délais avant récolte et l'utilisation inappropriée des produits phytosanitaires.

L'ampleur des attaques parasitaires rapportées par les producteurs explique en partie cette forte dépendance aux pesticides. En effet, les chenilles, pucerons, punaises et nématodes figurent parmi les principaux ravageurs des cultures maraîchères en Afrique de l'Ouest. Selon Kara *et al*. (2024), la pression exercée par les ravageurs constitue l'un des principaux facteurs

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

influençant le choix et la fréquence d'utilisation des pesticides par les maraîchers urbains et périurbains. Toutefois, l'utilisation répétée et parfois excessive des pesticides peut engendrer des phénomènes de résistance chez les ravageurs, une contamination de l'environnement et des risques pour la santé humaine. Selon Mbatchou *et al*. (2024), l'application non maîtrisée des pesticides et le non-respect des bonnes pratiques agricoles demeurent des facteurs majeurs de contamination des légumes par des résidus chimiques en Afrique de l'Ouest. Par conséquent, le renforcement des capacités des producteurs en lutte intégrée contre les ravageurs et l'utilisation des biopesticides apparaissent donc indispensables pour réduire les impacts négatifs liés à l'usage des pesticides.

Les contraintes liées aux embruns marins et aux projections d'eau salée constituent une autre caractéristique importante des systèmes maraîchers du littoral togolais. Les haies vives, les claies et les clôtures faites en feuilles de cocotier observées, dans les exploitations, témoignent de stratégies locales visant à atténuer les effets de la salinité. Ces résultats corroborent les travaux de Souza *et al*. (2024**),** qui expliquent que l'exposition prolongée aux sels marins peut entraîner des perturbations physiologiques, une réduction de la croissance végétale et une baisse des rendements. De même, Cerrato *et al.* (2024) soulignent que le stress salin constitue l'un des principaux facteurs limitant la productivité des cultures dans les zones côtières. Les barrières végétales et les brise-vents sont ainsi reconnus comme des mesures efficaces pour réduire les effets des embruns et protéger les cultures sensibles.

Sur le plan agronomique, la production maraîchère côtière est dominée par le piment (*Capsicum annuum* L.), la laitue (*Lactuca sativa* L.) et la grande morelle (*Solanum macrocarpum* L**.)**, espèces répondant à une forte demande urbaine en raison de leurs cycles courts, de leurs rendements attractifs et de leur valeur nutritionnelle. Les légumes-feuilles, largement cultivés, constituent un apport essentiel en micronutriments pour les ménages urbains à faibles revenus (Diop *et al*., 2022). Toutefois, cette spécialisation accrue, accroît la vulnérabilité des exploitations face aux chocs de marché, aux maladies et aux aléas hydriques. Une diversification raisonnée (rotations culturales, cultures de couverture, introduction d'espèces de contre-saison) apparaît dès lors nécessaire pour lisser les revenus et réduire les risques productifs. Selon Assinou *et al* (2024)**,** la diversification des cultures maraîchères dans les villes ouest-africaines répond à la fois aux exigences du marché urbain et à la nécessité de répartir les risques liés aux ravageurs, aux maladies et aux fluctuations climatiques. La coexistence de légumes-feuilles, de légumes-fruits et de légumes-racines contribuerait également à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations rurbaines tout en favorisant la préservation de l'agrobiodiversité. Notons que, la viabilité des exploitations est fortement conditionnée par la demande. La dépendance aux circuits

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

informels et aux intermédiaires limite la captation de valeur par les producteurs, tandis que l'insuffisance d'infrastructures de stockage et de conditionnement accroît les pertes (Diop *et al*., 2022). Des actions ciblées visant l'amélioration du conditionnement, la mutualisation des moyens logistiques et l'accès à des marchés structurés pourraient renforcer la résilience économique du secteur (Economic Community of West African States [ECOWAP], 2021), surtout sur le littoral togolais.

Conclusion

Cette étude a permis de caractériser les producteurs maraîchers de la côte togolaise et d'analyser leurs pratiques de production. Les résultats montrent un secteur dominé par de jeunes producteurs majoritairement masculins et faiblement instruits, dont les systèmes de culture reposent sur des pratiques empiriques associant l'irrigation intensive, la fertilisation organo-minérale et l'utilisation fréquente de pesticides. Malgré une diversité de quinze espèces maraîchères recensées, la production reste confrontée à de nombreuses contraintes, notamment la pression phytosanitaire, les risques liés à la salinité, la dépendance énergétique, l'insuffisance de formation technique des producteurs et les difficultés de commercialisation. De ce fait, le renforcement des capacités des producteurs, la promotion de pratiques agroécologiques, l'amélioration de l'accès à des systèmes d'irrigation réfléchis en eau et en énergie, ainsi que le développement de mécanismes de financement adaptés apparaissent essentiels pour accroître la résilience et la compétitivité du maraîchage sur le littoral togolais. En définitive, ce secteur peut devenir un modèle d'agriculture durable conciliant la performance économique, la préservation de l'environnement et l'inclusion sociale pour l'atteinte des objectifs du développement durable (ODD2).

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 le Laboratoire de Recherche Forestière de l'Université de Lomé et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été respectés.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

References:

1. Abate, T., Tadesse, M., & Bernard, T. (2023). Seed systems and agricultural transformation in sub-Saharan Africa. *Food Security,* 15(2), 321–336. https://doi.org/10.1007/s12571-022-01322-4
2. Afatsao, K. B., Johnson, B. N., Etse, K. D., Sodjinou, K. E., Radji, A. R., & Quashie, A. M. M.-L. (2025). Market gardening on the Togolese coast: Characterization of the water resources used. *Journal of Water Resource and Protection, 17*(12). https://doi.org/10.4236/jwarp.2025.1712045.
3. Agegnehu, G., & Amede, T. (2017). Integrated soil fertility and plant nutrient management in tropical agro-ecosystems: A review. *Journal of Integrative Agriculture, 16*(3), 662–680. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61564-5
4. Agossou, K., Yabi, I., & Afouda, A. A. (2022). Pesticide use and health risks among vegetable farmers in West Africa. *Journal of Environmental Health Research, 22*(3), 45–58.
5. Agriterra. (2021). *Youth engagement in West African agriculture: Barriers and opportunities*. https://www.agriterra.org/
6. Atakpama, W., Kanda, M., Folega, F., Lamboni, D. T., Batawila, K., & Akpagana, K. (2021). Agriculture urbaine et périurbaine dans la ville de Lomé et ses banlieues. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 9,* 205–211.
7. Assinou, K. E., Kpotchou, K., Agbeko, F., Ayi-Fanou, L., Koudouvo, K., Tchacondo, T., & Gbogbo, K. A. (2024). Socio-economic, health and ecological sustainability of vegetable supplies in West African cities: Assessment of stakeholders' knowledge, attitudes and practices in Accra and Greater Lomé. *Journal of Ecohumanism, 3*(4), 3274–3302. https://doi.org/10.62754/joe.v3i4.3850.
8. Atinkut, H. B., Bedada, D., & Desta, Y. (2021). Labor intensity and gender participation in small-scale agriculture. *Journal of Rural Studies, 82,* 280–289.
9. Cerrato, M. D., Mir-Rosselló, P. M., Cañellas-Boltà, N., Gulías, J., Ribas-Carbó, M., Flexas, J., & Cifre, J. (2024). Insights on physiological, antioxidant and flowering response to salinity stress of two coastal species. *Physiology and Molecular Biology of Plants, 30*(6), 1533–1549. https://doi.org/10.1007/s12298-024-01502-0.
10. Champaneri, D. D., Desai, K. D., Sharma, V., Madane, D. A., & More, S. J. (2024). A synoptic review of deficit irrigation methods: Sustainable water-saving strategies in vegetable cultivation. *Water Science and Technology: Water Supply,* **24**(9), 3132–3147. https://doi.org/10.2166/ws.2024.195

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

11. Convention on Biological Diversity. (2018). *Biodiversity and agriculture: Supporting biodiversity while reducing agricultural impacts*. https://www.cbd.int/agro/
12. Diallo, A., Zotchi, K., Lawson-Evi, P., Bakoma, B., Badjabaissi, E., & Eklu-Gadegkeku Kwashie, E. (2020). Pesticides use practice by market gardeners in Lome (Togo*). Journal of Toxicology, 2020*, Article 8831873, 1–8. https://doi.org/10.1155/2020/8831873
13. Diop, B. (2022). Nutritional importance of leafy vegetables in West Africa. *Journal of Nutrition and Food Security*.
14. Dorkenoo, A. M., Ayi-Fanou, L., Agbeko, F., Ketoh, G. K., Fayomi, B., Boko, M., & Akpona, S. A. (2020). Pesticides use practice by market gardeners in Lomé (Togo). *Journal of Environmental and Public Health, 2020*, Article 8834589, 1–8. https://doi.org/10.1155/2020/8834589.
15. Economic Community of West African States (ECOWAS). (2021). *A blueprint for strengthening food system resilience in West Africa*. ECOWAS Commission. https://ecowap.ecowas.int/media/ecowap/file_document/2021_A_Blueprint_for_Strengthening_Food_System_Resilience_in_West_Africa_EN.pdf
16. Fiagan, K. A. (2013). L'impact de l'érosion côtière sur la pêche artisanale maritime au Togo. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement, 2*, 1–13.
17. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1997). *Irrigation potential in Africa: A basin approach*. FAO.
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *The state of food and agriculture 2018: Migration, agriculture and rural development*. FAO.
19. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *The state of the world's biodiversity for food and agriculture*. FAO.
20. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *International Year of Fruits and Vegetables 2021: Background paper*. FAO. https://doi.org/10.4060/cb2395en
21. Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). *Seed biodiversity: The life insurance of our food production*. Rome: FAO.
22. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Urban and peri-urban agriculture sourcebook: From production to food systems*. FAO.
23. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO**).** (2023). *The status of youth in agrifood systems*. FAO. https://doi.org/10.4060/cc8510en

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

24. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *What factors shape small-scale farmers' and firms' adoption of new technologies?* Rome: FAO.
25. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *Agricultural production statistics 2010–2023*. FAO. https://www.fao.org/faostat/en
26. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2024). *The State of Food and Agriculture 2024: Value-driven transformation of agrifood systems*. Rome: FAO.
27. Food and Agriculture Organization of the United Nations, & World Bank. (2025). *Seeds, productivity and resilience in African agriculture*. FAO–World Bank.
28. Frison, E. A., Cherfas, J., & Hodgkin, T. (2011). Agricultural biodiversity is essential for a sustainable improvement in food and nutrition security. *Sustainability, 3*(1), 238–253.
29. Gram, G., Roobroeck, D., Pypers, P., Six, J., Merckx, R., Chivenge, P., & Vanlauwe, B. (2020). Combining organic and mineral fertilizers as a climate-smart integrated soil fertility management practice in sub-Saharan Africa: A meta-analysis. *PLoS ONE, 15*(9), e0239552.
30. Graner, A., Dzamah, A.-F., Ahovi, K. D., Tchangani, L., & Michel, I. (2023). Dynamique maraîchère de la plaine de Djagblé (au Togo) : Des exploitations agricoles périurbaines en quête de durabilité. *Cahiers Agricultures, 32*, 28.
31. Husson, O., Séguy, L., Charpentier, H., Rakotondramanana, P., Michellon, R., Raharison, T., Naudin, K., Enjalric, F., Moussa, N., Razanamparany, C., Rasolomanjaka, J., Bouzinac, S., Chabanne, A., Boulakia, S., Tivet, F., Chabierski, S., Razafintsalama, H., Rakotoarinivo, C., Andrianasolo, H. M., Chabaud, F. X., Rakotondralambo, T., Rakotondralambo, P., & Ramaroson, I. (2013). *Manuel pratique du semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) : Application à Madagascar*. GSDM/CIRAD.
32. International Labour Organization (ILO). (2023). *Safety and health in agriculture*. International Labour Organization.
33. International Center for Biosaline Agriculture. (2021). *Efficient irrigation technologies for smallholder farmers*. https://www.biosaline.org/
34. International Fund for Agricultural Development (IFAD). (2023). *Rural development report 2023: Transforming food systems for rural prosperity*. IFAD.
35. Inter-réseaux Développement rural. (2024). *Agroécologie et biodiversité : Des pratiques paysannes pour préserver les ressources*

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

naturelles et renforcer les moyens d'existence ruraux. https://www.inter-reseaux.org/

36. Jarvis, D. I., Fadda, C., Bessho, K., & De Haan, S. (2023). Agricultural biodiversity and climate change adaptation: The role of farmers' seed systems. *Agronomy, 13*(5), 1248. https://doi.org/10.3390/agronomy13051248
37. Kanda, M., Badjana, H. M., Folega, F., Akpavi, S., Wala, K., Imbernon, J., & Akpagana, K. (2017). Dynamique centrifuge du maraîchage périurbain de Lomé (Togo) en réponse à la pression foncière. *Cahiers Agricultures, 26*(1), 15001.
38. Kanda, M., Djaneye-Boundjou, G., Wala, K., Gnandi, K., Batawila, K., Sanni, A., & Akpagana, K. 2013. Application des pesticides en agriculture maraîchère au Togo. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 13(1).
39. Kanda, M., Wala, K., Batawila, K., Djaneye-Boundjou, G., Ahanchede, A., & Akpagana, K. (2009). Le maraîchage périurbain à Lomé : Pratiques culturales, risques sanitaires et dynamiques spatiales. *Cahiers Agricultures, 18*(4), 356–363.
40. Kara, N. M., Gomgnimbou, A. P. K., Sanon, A., Gomgnimbou, M. K., Ouédraogo, I., Kaboré, A., Sawadogo, M., & Nacro, H. B. (2024). Determinants of pesticides choice in market gardening in urban and peri-urban areas of the cities of Bobo-Dioulasso and Ouagadougou in Burkina Faso. *International Journal of Plant & Soil Science, 36*(8), 1101–1112. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2024/v36i84943.
41. Konan, K. J.-P., Yao, K. T., & Kouamé, A. G. (2025). Educational level, pesticide use, and rice farmers' health: A survey in Sakassou Department, Côte d'Ivoire. *Journal of Agricultural Science, 17*(7), 27–40. https://doi.org/10.5539/jas.v17n7p27
42. Kouakou, P.-A. (2020). Déterminants de la productivité, de la rentabilité économique et impact social du maraîchage dans la commune de Boundiali, au Nord de la Côte d'Ivoire. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 8*(1), 93–101.
43. Mbatchou, V. C., Yunusah, O. D., & Iddrisu, U. F. (2024). Effects of pesticide residues on the growth and yield of vegetables at Navrongo of Ghana. *CABI Agriculture and Bioscience, 5*(51), 1–14. https://doi.org/10.1186/s43170-024-00252-z
44. Mastretta-Yanes, A., Tobin, D., Bellon, M. R., von Wettberg, E., Cibrián-Jaramillo, A., Wegier, A., Monroy-Sais, A. S., Gálvez-Reyes, N., Ruiz-Arocho, J., & Chen, Y. H. (2024). Human management of ongoing evolutionary processes in agroecosystems. *Plants, People, Planet, 6*(6), 1190–1206. https://doi.org/10.1002/ppp3.10521

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

45. McGuire, S., & Sperling, L. (2016). Seed systems smallholder farmers use. *Food Security, 8*(1), 179–195. https://doi.org/10.1007/s12571-015-0528-8
46. Merçon, J., Ayala-Orozco, B., Rosell, J. A., et al. (2024). Social-ecological resilience: Knowledge of agrobiodiversity by campesinos and migrants in the face of global changes. *Journal of Environmental Management, 370*, 122461. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122461
47. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. (2024). *Projet fracture numérique – Maraîchage : Accès au marché et aux connaissances en Afrique de l'Ouest*. FAO. https://www.fao.org/
48. Organisation des Nations Unies-Femmes. (2022). *Femmes, agriculture et autonomisation économique en Afrique*. ONU-Femmes.
49. Ouédraogo, R. (2021). *Analyse des déterminants socioéconomiques et psychosociaux de la décision d'adoption d'innovations par les agriculteurs : Cas de l'irrigation de complément au Burkina Faso* (Thèse de doctorat, Institut Agro Montpellier, France). https://agritrop.cirad.fr/
50. Ouedraogo, F., & Tapsoba, P. K. (2022). Diversity of market gardening farms in western Burkina Faso: Nexus between production environment, farm size, financial performance and environmental issues. *Heliyon, 8*(12), e12408. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12408.
51. Ramos, T. B., Darouich, H., & Pereira, L. S. (2024). Mulching effects on soil evaporation, crop evapotranspiration and crop coefficients: A review aimed at improved irrigation management. *Irrigation Science, 42*(3), 525–539. https://doi.org/10.1007/s00271-024-00924-8.
52. Sanogo, M., Yonaba, R., Keïta, A., & Lawane, A. (2025). Adoption of solar-powered pumps in agriculture: Insights from smallholders in Burkina Faso. *Discover Agriculture, 3*(53). https://doi.org/10.1007/s44279-025-00205-8.
53. Sebillotte, M. (1978). Itinéraire technique et évolution de la pensée agronomique. *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 64*(11), 906–914.
54. Seidu, A. A., Ali, M., & Issahaku, G. (2022). Gendered labor constraints in vegetable farming. *Gender, Place & Culture, 29*(5), 712–730.
55. Souza, E. R., Schaffer, B., Vargas, A. I., Santos, A. C., & Gutierrez Rodriguez, E. A. (2024). Contrasting salinity effects of artificial seawater and sodium chloride on *Carica papaya* L. cultivar Red Lady physiology and growth. *CABI Agriculture and Bioscience, 5*(15), 1–17. https://doi.org/10.1186/s43170-024-00216-3.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

56. Uddin, M. K., Saha, B. K., Wong, V. N. L., & Patti, A. F. (2025). Organo-mineral fertilizer to sustain soil health and crop yield for reducing environmental impact : A comprehensive review. *European Journal of Agronomy, 162*, 127433. https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127433.
57. Organo-mineral fertilizer to sustain soil health and crop yield for reducing environmental impact: A comprehensive review. European Journal of Agronomy, 162, 127433.
58. Wofakor, M. A., Kyei-Baffour, N., Ofori, E., Amekudzi, L. K., Quaye-Ballard, J. A., Adomako, D., & Yeboah, S. (2024). Assessment of irrigation water quality for vegetable farming in peri-urban Kumasi, Ghana. *Scientific African, 23*, e02059. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02059.
59. Zhao, F., Luo, S., & Zhang, J. (2024). Review of the high bed–low ditch system as an alternative to lowland paddy in tropical and subtropical Asia. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 8*, Article 1361292. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1361292.
60. Zossou, E., Arouna, A., Diagne, A., & Agboh-Noameshie, R. A. (2020). Learning agriculture in rural areas: The drivers of knowledge acquisition and farming practices by rice farmers in West Africa. *Journal of Agricultural Education and Extension, 26*(3), 291–306.

ESJ Natural/Life/Medical Sciences Peer-reviewed

Effets de différents types de fertilisation sur la composition nutritionnelle de l'amarante (*Amaranthus hybridus* L.) cultivée à Kinshasa

Mununu Yoyo Evariste
Institut National pour l'Etude et Recherche Agronomiques (INERA), République Démocratique du Congo
Faculté des Sciences Agronomiques, Université Pédagogique National (UPN), République Démocratique du Congo
Ibobondji Kapuku Lucien
Ikaa Lefeta François
Ntumba Tshibangu Joseph
Enanga Etun Benjamin
Institut National pour l'Etude et Recherche Agronomiques (INERA), République Démocratique du Congo
Mangana Ikoko Joël
Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa (UNIKIN), République Démocratique du Congo
Binzunga Makumbu Mamy
Lokinda Litalema Faustin
Institut National pour l'Etude et Recherche Agronomiques (INERA), République Démocratique du Congo
Mumba Diamba Antoine
Institut National pour l'Etude et Recherche Agronomiques (INERA), République Démocratique du Congo
Faculté des Sciences Agronomiques, Université Pédagogique National (UPN), République Démocratique du Congo

Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p248

Submitted: 25 March 2026
Accepted: 08 August 2026
Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:
Mununu Yoyo, E., Ibobodji Kapuku, L., Ikaa Lefeta, F., Ntumba Tshibangu, J., Enanga Etun, B., Mangana Ikoko, J., Binzunga Makumbu, M., Lokinda Litalema, F., & Mumba-Djamba, A. (2026). *Effets de différents types de fertilisation sur la composition nutritionnelle de l'amarante (Amaranthus hybridus L.) cultivée à Kinshasa*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 248. https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p248

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Résumé

L'amarante (*Amaranthus hybridus* L.) est un légume-feuille d'une importance majeure pour la sécurité nutritionnelle en République Démocratique du Congo, fournissant des protéines et des minéraux essentiels. Toutefois, sa qualité nutritionnelle est étroitement liée aux pratiques de fertilisation et de la fertilité du sol. Cette étude visait à évaluer l'effet comparatif de trois types de fertilisations, à savoir le frass issu de larves de mouche soldat noire (*Hermetia illucens L.*), la fiente de poule et de l'urée, sur la composition bromatologique de l'amarante cultivée à Kinshasa. L'expérimentation a été conduite selon un dispositif en blocs complets randomisés comprenant sept traitements. Les résultats d'analyses effectuées au laboratoire LANAL (UNIKIN) révèlent que l'application du frass à 100 % (T6) optimise significativement la teneur en protéines des feuilles, qui atteint 5,11 %, contre 4,60 % avec l'urée et 4,54 % pour le témoin. Contrairement aux estimations antérieures, les teneurs en fibres ont été stabilisées entre 1,76 % (T6) et 1,81 % (T0), ce qui indique que la fertilisation au frass n'altère pas la tendreté des feuilles. En outre, le traitement T6 (frass 100%) a amélioré la teneur en éléments minéraux des feuilles, avec 255 mg/MF de calcium contre 167 mg/MF pour le témoin (T0), 1,86 mg de fer contre 1,79 mg, et 0,54 mg, traduisant une meilleure qualité nutritionnelle de l'amarante. Ces résultats mettent en évidence le potentiel du frass de mouche soldat noire comme fertilisant organique innovant et bio-circulaire, capable d'améliorer la qualité nutritionnelle de l'amarante tout en contribuant à une production maraîchère plus durable en milieu tropical.

Mots-clés: *Amaranthus hybridus* L., frass, *Hermetia illucens* L., qualité nutritionnelle, biofertilisant

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Effect of Different Types of Fertilization on the Nutritional Composition of Amaranth (*Amaranthus hybridus* L.), Cultivated in Kinshasa

Mununu Yoyo Evariste
National Institute for Agricultural Studies and Research (INERA),
Democratic Republic of the Congo
Faculty of Agricultural Sciences, National Pedagogical University (UPN),
Democratic Republic of the Congo
Ibobondji Kapuku Lucien
Ikaa Lefeta François
Ntumba Tshibangu Joseph
Enanga Etun Benjamin
National Institute for Agricultural Studies and Research (INERA),
Democratic Republic of the Congo
Mangana Ikoko Joël
Faculty of Agricultural Sciences, University of Kinshasa (UNIKIN),
Democratic Republic of the Congo
Binzunga Makumbu Mamy
Lokinda Litalema Faustin
National Institute for Agricultural Studies and Research (INERA),
Democratic Republic of the Congo
Mumba Diamba Antoine
National Institute for Agricultural Studies and Research (INERA),
Democratic Republic of the Congo
Faculty of Agricultural Sciences, National Pedagogical University (UPN),
Democratic Republic of the Congo

Abstract

Amaranth (*Amaranthus hybridus* L.) is a leafy vegetable of major importance for nutritional security in the Democratic Republic of the Congo, providing protein and essential minerals. However, its nutritional quality is closely linked to fertilization practices and soil fertility. This study aimed to evaluate the comparative effect of three types of fertilization, namely frass from black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.), poultry manure, and urea, on the chemical composition of amaranth grown in Kinshasa. The experiment was set up using a randomized complete block design with seven treatments. Laboratory analyses carried out at LANAL (UNIKIN) show that application of 100% frass (Treatment T6) significantly optimizes leaf protein content, reaching 5.11%, compared with 4.60% under urea and 4.54% for the control.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Contrary to earlier estimates, fiber content remained stable between 1.76% (T6) and 1.81% (T0), indicating that frass fertilization does not adversely affect leaf tenderness. In addition, Treatment T6 (100% frass) improved leaf mineral content: calcium reached 255 mg per 100 g fresh matter versus 167 mg/100 g FM in the control (T0), iron 1.86 mg versus 1.79 mg, and zinc 0.54 mg, reflecting better overall nutritional quality of the amaranth. These findings highlight the potential of black soldier fly frass as an innovative, circular organic fertilizer capable of enhancing amaranth nutritional quality while supporting more sustainable vegetable production in tropical environments.

Keywords: *Amaranthus hybridus* L., frass, *Hermetia ilucens* L., nutritional quality, biofertilizer

Introduction

L'amarante (*Amaranthus hybridus* L.) occupe une place prépondérante dans les systèmes alimentaires des zones urbaines et périurbaines d'Afrique subsaharienne, notamment en République Démocratique du Congo où elle figure parmi les légumes-feuilles les plus consommés (Akin-Idowu *et al.*, 2016 ; Achigan-Dako *et al.,* 2014). Grâce à son cycle de croissance rapide et à sa forte valeur nutritive, elle constitue une source essentielle de protéines végétales, de fibres alimentaires, de vitamines (A et C), ainsi que des minéraux essentiels tels que le calcium, le fer et le magnésium (Mlakar *et al.,* 2010 ; Sarker *et al.,* 2019). A Kinshasa, sa culture intensive joue un rôle déterminant dans le renforcement de la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations, tout en constituant une importante source de revenus pour les petits producteurs maraîchers (FAO, 2021). Cependant, le maraîchage se heurte à la dégradation progressive de la fertilité des sols ferralitiques de la région, caractérisés par une forte acidité et une faible teneur en matières organiques (Kahindo *et al.,* 2019). Afin de compenser ces contraintes, l'usage d'engrais minéraux, notamment l'urée, est fréquente pour stimuler la biomasse végétative. Bien que ces intrants augmentent le rendement, leur coût élevé et leurs effets négatifs sur l'environnement tels que le lessivage des nitrates et l'acidification des sols limitent leur durabilité (Chivenge *et al.,* 2011). De plus, une fertilisation exclusivement minérale peut entraîner une « dilution » des nutriments essentiels, réduisant ainsi la valeur nutritionnelle des feuilles récoltées (Sarker *et al.,* 2018).

Dans ce contexte, le recours à des amendements organiques constitue une alternative prometteuse pour restaurer la fertilité des sols tout en améliorant la qualité nutritionnelle des cultures (Palm *et al.*, 2001 ; Vanlauwe *et al.,* 2010). Parmi ces amendements, la fiente de poule est traditionnellement valorisée pour sa richesse en azote et phosphore (Ojeniyi, 2000), de nouvelles solutions issues de l'économie circulaire émergente. Plus récemment, le frass,

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

résidu organique issu de la bioconversion des déchets par les larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens* L.) suscite un intérêt croisant en tant que biofertilisant innovant, riche en nutriments, en chitine et en micro-organismes bénéfiques (Liu *et al.,* 2020 ; Beesigamukama *et al.,* 2020).

Plusieurs études réalisées en Afrique de l'Est et en Europe ont mis en évidence les performances agronomiques du frass sur diverses cultures, notamment en termes de croissance, de rendement et de fertilité des sols (Tanga *et al.,* 2022 ; Meneguz *et al.,* 2018 ; Lomonaco *et al.,* 2022). Néanmoins, son impact spécifique à son influence sur la composition bromatologique de l'amarante cultivée dans la condition pédoclimatique spécifique de Kinshasa reste encore peu exploré. En milieu urbain kinois, où les régimes alimentaires constituent encore un problème majeur de santé publique (UNICEF, 2020), l'identification de pratiques de fertilisation capables d'améliorer simultanément les rendements et la qualité nutritionnelle des légumes-feuilles représente un enjeu important pour le développement d'une agriculture urbaine durable.

Cette étude vise donc à évaluer l'effet comparatif du frass issu des larves de la mouche soldat noire, de la fiente de poule et de l'urée sur les propriétés nutritionnelles de l'amarante. L'objectif est de identifier la stratégie de fertilisation optimale pour maximiser la teneur en protéines et en minéraux essentiels de cette culture, tout en proposant aux producteurs une solution durable, accessible et respectueuse de l'environnement pour contribuer à l'amélioration de la qualité nutritionnelle des légumes-feuilles et à la réduction des risques de carences alimentaires.

Matériel et Méthodes

Description du site expérimental

L'étude a été menée sur le site expérimental de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa (UNIKIN), en République Démocratique du Congo. Cette zone est caractérisé par un climat tropical humide de type Aw4 selon la classification de Köppen, avec une saison de pluies (septembre à mai) et une saison sèche (juin à août). Le sol du site est de nature ferralitique à texture sableuse, avec une faible capacité de rétention en eau et une acidité prononcée, conditions susceptibles de limiter la disponibilité des éléments nutritifs pour les cultures.

Matériel biologique et intrants

Le matériel végétal utilisé était constitué de semences d'amarante (*Amaranthus hybridus* L..), variété locale largement cultivée et consommée à Kinshasa. Trois types de fertilisants ont été testés :

- L'engrais minéral : L'urée (46% N) était utilisée comme référence chimique.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

- L'engrais organique traditionnel : La fiente de poule séchée.
- L'innovation organique : Le frass de larves de mouche soldat noire (*Hermetia illucens* L.) produit à partir du recyclage de biodéchets organique ménagers.

Dispositif expérimental et traitements

Le dispositif adopté est un dispositif en blocs complets randomisés (BCR) comportant 7 traitements répartis en 4 répétitions, soit un total de 28 parcelles élémentaires. Chaque parcelle couvrait une superficie de $3m^2$.

Les différents traitements ont été définis suivant une dose standard de 125 kg d'Azote par hectare (125 kg N/ha), correspondant aux besoins optimaux de l'amarante en zone tropicale ; cette dose a servi de base pour comparer l'efficacité des différentes sources de fertilisation : l'urée à 46 % d'azote, fiente de poule et frass de mouche soldat noire. Les modalités détaillées et dosages sont consignés dans ce tableau (1).

En conséquence, les échantillons destinés aux analyses nutritionnelles ont été prélevés et conditionnés selon une démarche rigoureuse, puis analysés au laboratoire d'analyses d'aliments de l'UNIKIN. La description détaillée des méthodes, du matériel et des procédures analytiques est reportée dans la section 3.5 dédiée aux analyses de laboratoire. Aucun schéma spécifique du dispositif analytique n'est joint ici ; les informations détaillées relatives aux paramètres mesurés et aux normes appliquées sont précisées dans ladite section. Les données obtenues sont présentées sous forme de tableaux et interprétées comme des tendances numériques, conformément aux précisions méthodologiques indiquées.

Tableau 1: Traitements et dosages selon les types de fertilisation

Saison Pluvieuse / Saison Sèche					
Code	**Traitement**	**Teneur en N (%)**	**Dose fertilisant/plante (g/pied)**	**Dose fertilisant (t/ha)**	**Apport en N (kg/ha)**
T0	Témoin	0	0	0	0
T1	Fiente de poule	20	4.5	0,6	125
T2	Urée	46	1.3	0,26	125
T3	25 % frass	3	7.75	0,849	25.5
T4	50 % frass	3	15.5	1,698	51
T5	75 % frass	3	23.25	2,547	76.4
T6	100 % frass	3	31	3,396	125.1

Conduite de la culture

La mise en place de l'essai a débuté par un labour manuel suivi de la confection des planches de culture. Les semences d'amarante (*Amaranthus hybridus* L.) ont d'abord été semées en pépinière, puis les jeunes plants ont été repiqués 21 jours après le semis en respectant un espacement de 30 cm × 30

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

cm. Les opérations d'entretien comprenaient des arrosages réguliers, des sarclages et un suivi phytosanitaire manuel. Les feuilles destinées aux analyses bromatologiques ont été récoltées cinq (5) semaines après repiquage.

Analyses de laboratoire

Les échantillons de feuilles fraîches ont été prélevés à la 5e semaine après répiquage, puis transportés au laboratoire d'analyse des aliments (LANAL) de l'Université de Kinshasa (UNIKIN) pour analyse. La méthode d'échantillonnage consistait à prélever au hasard trois plantes saines et entièrement développées par traitement, en évitant les zones de bordures. Les feuilles ont été nettoyées à l'eau distillée, puis conditionnées dans les sachets hermétiquement fermés et conservées en glacière avant analyse, réalisée dans les 48 heures suivant la récolte.

Les paramètres suivants ont été déterminés selon les méthodes conventionnelles de l'association de chimistes officiels (AOAC) :

- La teneur en humidité : par dessiccation à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante ;
- La teneur en protéines brutes : par la méthode de Kjeldahl (teneur en azote multipliée par le facteur de conversion (N x 6,25)) ;
- La teneur en fibres alimentaires : par digestion acide et alcaline (méthode de Weende) ;
- La teneur en cendres totales : par incinération au four à moufle à 550°C ;
- Teneur en ß-carotène et vitamine C : par la valeur en micronutriments, afin d'évaluer la valeur en micronutriments ;
- Les teneurs en calcium, fer et zinc : par spectrophotométrie d'absorption atomique pour compléter le profil minérale.

Analyse des données

Les données issues du laboratoire étaient traitées à l'aide du tableur Excel, qui a également servi à la réalisation des tableaux et des représentations graphiques des résultats, dont l'interprétation s'est basée sur une analyse comparative directe des valeurs obtenues pour chaque paramètre physico-chimique entre les différents traitements.

Résultats

Composition nutritionnelle (bromatologique) de l'amarante

Les résultats d'analyses nutritionnelles effectuées au Laboratoire d'Analyse des Aliments (LANAL) sur les feuilles d'amarante récoltées à la 5ème semaine après repiquage sont présentés dans le Tableau 2.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Tableau 2: Paramètres nutritionnels de l'amarante selon les types de fertilisation

Paramètres / TMT	**T0 (Témoin)**	**T1 (Fiente)**	**T2 (Urée)**	**T3 (25% frass)**	**T4 (50% frass)**	**T5 (75% frass)**	**T6 (100% frass)**
Humidité (%)	82	86	83	84	84	87	86
Cendre (%)	0,8	0,8	0,8	0,81	0,79	0,8	0,81
Protéines (%)	4,54	4,81	4,6	4,71	4,72	4,93	5,11
Fibres (%)	1,81	1,79	1,79	1,8	1,82	1,78	1,76
Vitamine (ß-carotène) A (mg)	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,003	0,004	0,0058
Vitamine C (mg)	0,061	0,061	0,061	0,02	0,03	0,05	0,06
Lipide (%)	0,22	0,21	0,2	0,22	0,22	0,22	0,22
Glucide (%)	8,41	8,39	8,38	8,42	8,4	8,41	8,41
Calcium (mg/MF)	167	233	195	175	216	235	255
Fer (mg)	1,79	1,8	1,8	0,47	0,93	1,40	1,86
Zinc (mg)	0,49	0,5	0,49	0,14	0,27	0,41	0,54

Les teneurs en éléments minéraux et micronutriments des feuilles d'amarante rapportées dans le tableau 2, font apparaître des tendances numériques selon le traitement appliqué.

Le traitement à 100% de frass (T6) affiche systématiquement les valeurs les plus élevées : 255 mg/100 g de calcium, 1,86 mg/100 g de zinc, dépassant celles du témoin, de l'urée et de la fiente. On observe une progression graduelle des teneurs en minéraux au fur et à mesure que la proportion de frass augmente (de T3 à T6), tandis que l'urée et la fiente ne génèrent que des écarts très faibles par rapport au témoin.

S'agissant des vitamines, la teneur en ß-carotène (provitamine A) augmente légèrement avec la dose de frass, passant de 0,0052 % chez le témoin (T0) à 0,0058 chez 100 % frass (T6), soit une hausse d'environ 11,5 %. La teneur en vitamine C reste globalement stable entre 0,060 %, avec une très légère diminution numérique observée uniquement pour le traitement au frass pur.

Teneur en protéines brutes

L'analyse de la figure 1 montre que le type de fertilisation influence sur la teneur en protéines de l'amarante.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

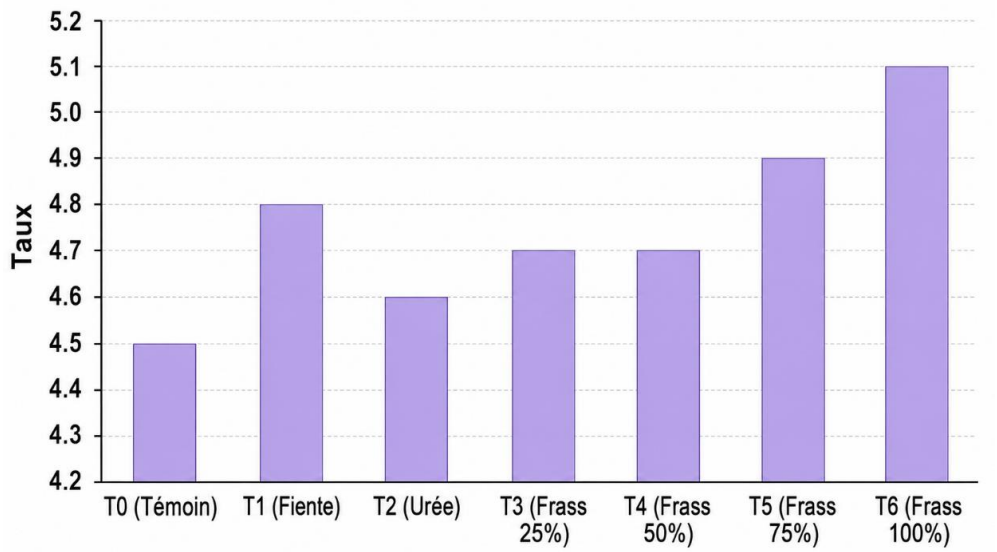


Figure 1: Teneur en protéines (%) de l'amarante sous différents traitements fertilisants

L'analyse de la figure 1 montre que le traitement T6 (frass 100 %) présente la valeur la plus élevée (5,11 %) de la teneur en protéine brute, suivi du traitement T5 (4,93 %). Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues avec les fientes de poule (4,81 %) et l'urée (4,60 %), tandis que le témoin (T0), non fertilisé, présente la teneur la plus faible (4,54 %).

L'apport de frass des larves de MSN semble donc favoriser une meilleure synthèse protéique dans les tissus foliaires par rapport aux autres sources d'azote.

Teneur en fibres alimentaires

La figure 2 présente l'effet des différents traitements fertilisants sur la teneur en fibres alimentaires des feuilles d'amarante.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

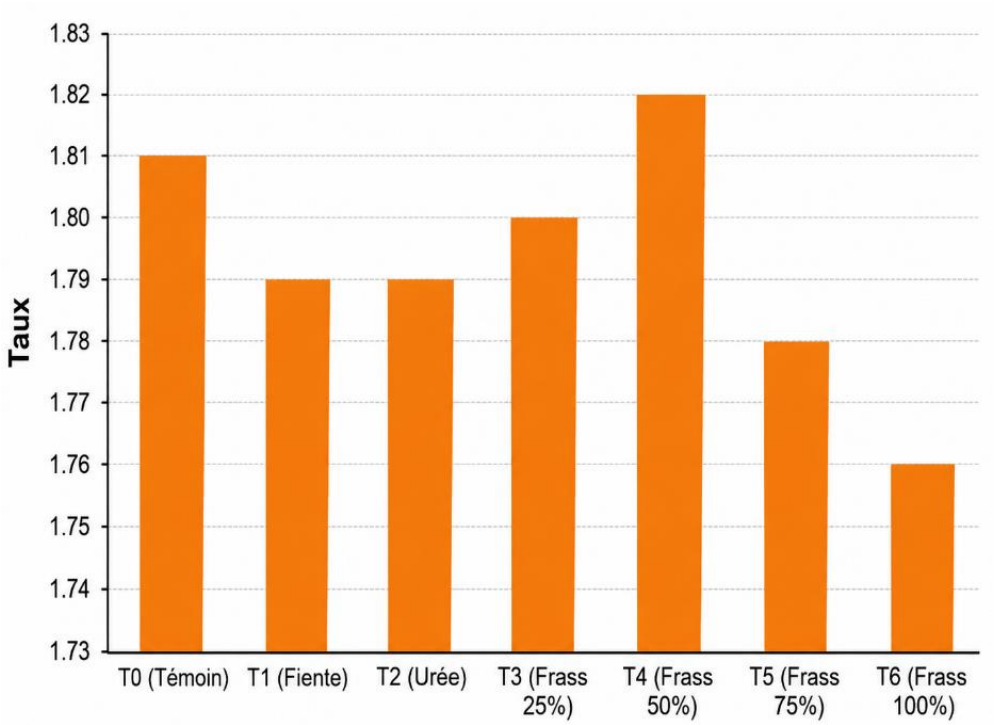


Figure 2: Effet des traitements fertilisants sur la teneur en fibres alimentaires (%) des feuilles d'amarante

Contrairement aux observations visuelles de terrain, les analyses de laboratoire révèlent des teneurs en fibres alimentaires relativement faibles et proches d'un traitement à l'autre, variant de 1,76% (T6) à 1,82% (T4). Compte tenu de la faible amplitude des écarts et de l'absence d'analyse statistique sur ces paramètres, aucune différence significative ne peut être affirmée entre les traitements. On observe toutefois numériquement que le traitement T6 (100% frass) présente la teneur la plus basse en fibres. Cela suggère que la fertilisation au frass pourrait permettre d'obtenir des plantes vigoureuses sans pour autant accélérer la lignification des feuilles, ce qui est favorable à la tendreté, bien que cette hypothèse mérite d'une confirmation statistique.

Cendres et Humidité

La figure 3 illustre la variation de la teneur en cendres des feuilles d'amarante selon les traitements fertilisants appliqués.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

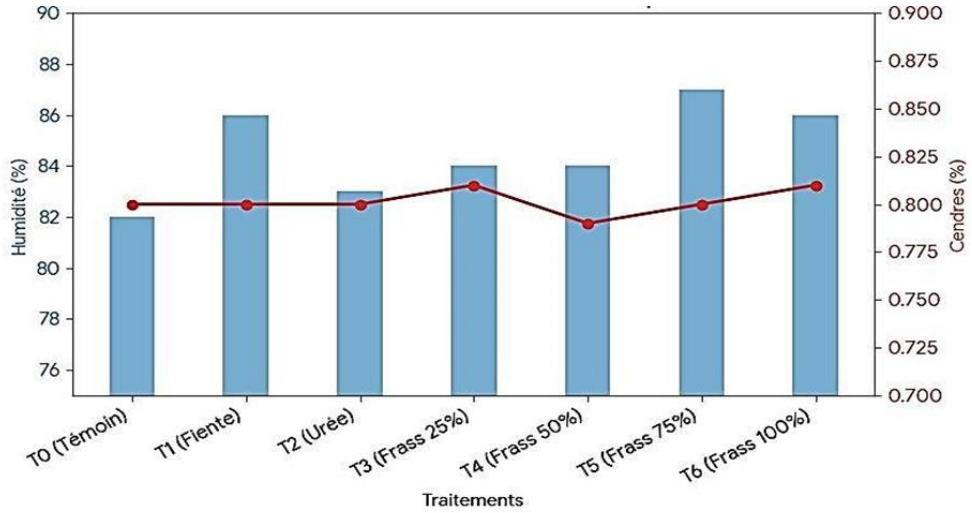


Figure 3: Effet des traitements fertilisants sur la teneur en humidité et cendres (%) des feuilles d'amarante

La teneur en cendres, représentative de la richesse minérale totale, reste stable autour de 0,80% pour l'ensemble des traitements, indiquant que la structure minérale de base de la plante n'est pas altérée par le type de fertilisant. Le taux d'humidité varie entre 82 % et 87 %, les valeurs les plus élevées étant observées pour les traitements organiques (T5 et T6), ce qui pourrait être lié à une meilleure capacité de rétention d'eau des tissus sous fertilisation organique.

Discussion

La présente étude démontre que la fertilisation à base de frass issu des larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens* L.) exerce une influence positive sur la qualité nutritionnelle de l'amarante (*Amaranthus hybridus* L.), avec des performances souvent supérieures à celles de l'urée chimique et de la fiente de poule traditionnellement utilisée en production maraîchère, le frass a permis d'obtenir des performances nutritionnelles supérieures pour plusieurs paramètres analysés. Ces résultats s'inscrivent dans le contexte des recherches récentes et de valorisation des biofertilisants issus de l'économie circulaire, qui visent à concilier amélioration de la productivité agricole, restauration de la fertilité des sols et production d'aliments à haute valeur nutritionnelle.

Effet des fertilisants sur la teneur en protéines

Les résultats de l'étude montrent que le traitement au frass à 100 % (T6) permet d'atteindre une teneur maximale en protéines brutes de 5,11 %. Cette supériorité confirme que la nature de la source d'azote qui conditionne directement la synthèse protéique dans les tissus foliaires. Contrairement à

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

l'azote minéral apporté sous forme d'urée, rapidement lessivé dans les sols ferralitiques sableux et acides de Kinshasa comme l'ont souligné Kahindo *et al*. (2019) dans leur analyse des contraintes de fertilité des sols du bassin du Congo, selon qui, la fraction organique du frass agit comme un réservoir à libération lente. Beesigamukama *et al.* (2020) et Romano *et al*. (2023) ont également observé ce mécanisme : la minéralisation progressive de l'azote contenu dans le frass assure une synchronisation parfaite entre la disponibilité des nutriments et les besoins physiologiques de la plante, améliorant ainsi l'efficience d'utilisation de l'azote.

En outre, Liu *et al.* (2020) et Barragán-Fonseca *et al*. (2024) ont démontré que le frass contient des acides aminés libres et des peptides directement assimilables ou capables de stimuler le métabolisme azoté. Cette caractéristique pourrait expliquer les performances supérieures observées par rapport à la fiente de poule, pourtant reconnue comme une source importante d'azote organique (Ojeniyi, 2000). Ces résultats rejoignent ceux de Tanga *et al*. (2022), qui, dans des essais menés en Afrique de l'Est, ont constaté que le frass augmente la teneur en protéines de plusieurs légumes-feuilles comparativement avec les engrais conventionnels. Ces observations confirment que le frass ne se contente pas de fournir de l'azote, mais optimise également sa valorisation pour la synthèse de composés azotés essentiels.

Effet sur la teneur en fibres alimentaires

Un résultat majeur de cette expérimentation est le maintien de teneurs en fibres faibles et stables, avec des valeurs comprises entre 1,76 % pour T6 et 1,82 % pour T4, malgré une croissance végétative vigoureuse. Le traitement à base de 100 % de frass présente même la plus faible concentration en fibres, malgré une croissance végétative importante observée au cours de l'expérimentation. Ce résultat est essentiel car forte fertilisation azotée minérale induit souvent une croissance rapide qui s'accompagne d'une lignification précoce des tissus, dans le but de soutenir le poids de la biomasse produite. Ce phénomène a été clairement décrit par Sarker *et al.* (2018), qui soulignent que la qualité organoleptique et notamment la tendreté est un critère déterminant pour l'acceptation des légumes par les consommateurs.

Les résultats montrent que le frass permet d'obtenir des rendements élevés en biomasse sans altérer la tendreté des feuilles. Cette observation diffère légèrement de celles rapportées par Chepkorir *et al.* (2024) sur les épinards, où une légère augmentation des fibres avait été notée avec la fertilisation du frass. Cette divergence suggère que l'effet sur la fibrosité dépend étroitement de l'espèce végétale et du stade de récolte. Pour l'amarante, nos résultats corroborent néanmoins les conclusions de Mlakar *et al.* (2010), selon lesquelles une alimentation équilibrée en nutriments, telle que celle fournie par le frass, préserve la structure cellulaire et retarde la

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

sénescence des tissus. Dans le contexte de Kinshasa, où la tendreté est un critère de choix primordial, ce résultat place le frass comme un intrant de premier plan pour améliorer à la fois le rendement et la qualité marchande.

Effets sur les teneurs en cendres et en humidité

La teneur en cendres est utilisée comme indicateur de la richesse minérale totale, est restée relativement stable autour de 0,80 % dans tous les traitements. Cela indique que la structure minérale de base de la plante n'est pas modifiée par le type de fertilisant. Ce constat est cohérent avec les travaux de Akin-Idowu *et al*. (2016), qui ont montré que la composition minérale globale de l'amarante est en grande partie régie par des caractéristiques génétiques, même si les apports exogènes peuvent en modifier la concentration.

Concernant le taux d'humidité des feuilles, les valeurs observations varient entre 82 % et 87 %, avec les teneurs les plus élevées enregistrées dans les traitements organiques, notamment T5 et T6. Cette tendance a déjà été rapportée par Meneguz *et al.* (2018) et Lomonaco *et al.* (2022), qui expliquent que les amendements organiques comme le frass améliorent la structure du sol et sa capacité de rétention d'eau, ce qui se répercute sur la turgescence et la teneur en eau des tissus végétaux. Vanlauwe *et al.* (2010) ajoutent que dans des sols à faible capacité de rétention, comme ceux de notre site expérimental, l'apport de matières organiques est le principal levier pour maintenir une hydratation optimale des cultures. Nos résultats confirment donc que le frass agit à la fois sur la nutrition de la plante et sur le fonctionnement hydrique du sol, deux paramètres liés à la fraîcheur et à la conservation des légumes.

Influence sur les micronutriments

L'application du frass à 100 % a permis d'obtenir les teneurs les plus élevées en calcium (255 mg/100 g), en fer (1,86 mg/100 g) et en zinc (0,54 mg/100 g), comparativement aux autres traitements. Cette amélioration traduit un potentiel de biofortification naturelle de l'amarante grâce à l'utilisation du frass : comme l'ont démontré Beesigamukama *et al.* (2020) et Barragán-Fonseca *et al.* (2022), ce produit restitue non seulement du carbone et de l'azote, mais aussi l'ensemble des macros et microéléments (calcium, magnésium, phosphore, fer) contenus dans le substrat initial transformé par les larves.

Dans le contexte des sols ferrallitiques de Kinshasa, caractérisés par une carence en bases échangeables du fait de l'acidification, Kahindo *et al.* (2019) rappellent que tout apport riche en éléments minéraux joue un rôle de tamponnement et de recharge. Le frass répond parfaitement à cette attente, comme l'avaient déjà observé Palm *et al.* (2001) en classant les matières

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

organiques selon leur capacité à restaurer la fertilité chimique des sols tropicaux.

En revanche, la teneur en vitamine A (β-carotène) est restée stable ou n'a que très légèrement augmenté, même avec T6. Cela corrobore les conclusions de Sarker et Oba (2019), selon lesquelles la biosynthèse des caroténoïdes dépend avant tout de facteurs génétiques et lumineux, plus que de la fertilisation directe. La légère hausse constatée chez 100 % frass rejoint cependant l'hypothèse d'une synergie indirecte : une nutrition azotée optimale favorise le développement du tissu photosynthétique, et donc la synthèse des pigments associés. Sur la vitamine C, nos résultats sont conformes à ceux de Sarker *et al*. (2018), qui rapportent une grande stabilité de ce composé chez l'amarante, indépendamment de la source d'azote, tant que les besoins de base sont satisfaits.

Implications nutritionnelles et perspectives

L'utilisation du frass de mouche soldat noire représente une approche innovante combinant agriculture durable, économie circulaire et amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments. Dans un contexte urbain comme celui de Kinshasa, où la malnutrition protéino-énergétique et les carences en fer et en calcium sont très répandues (UNICEF, 2020), transformer des biodéchets urbains en un fertilisant capable de produire des légumes plus denses en nutriments constitue une opportunité majeure.

Ces résultats obtenus montrent que le frass peut constituer une alternative crédible aux engrais minéraux conventionnels, comme le soulignaient déjà la FAO (2021) et Barragán-Fonseca *et al.* (2024) dans leurs analyses sur le rôle des intrants organiques durables pour la sécurité alimentaire. Comparativement à l'urée, dont l'usage excessif peut conduire à une « dilution » des nutriments dans la biomasse (Sarker *et al*., 2018), ou à la fiente de poule, dont la disponibilité et la qualité sont variables, le frass présente une régularité et une efficacité qui en font une alternative crédible.

Enfin, nos observations confirment celles de Tanga *et al*. (2022) selon qui l'adoption de ce type de fertilisant réduit la dépendance aux engrais importés, limite les risques environnementaux liés au lessivage des nitrates (Chivenge *et al*., 2011) et améliore directement la qualité sanitaire des aliments produits localement. Ces résultats confirment le potentiel du frass comme un outil stratégique pour accompagner la transition vers une agriculture urbaine durable en Afrique subsaharienne.

Conclusion et Recommandations

Cette étude a permis d'évaluer l'influence de différentes stratégies de fertilisation sur la composition bromatologique et la qualité nutritionnelle de l'amarante (*Amaranthus hybridus* L.) cultivée dans les conditions

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

pédoclimatiques de Kinshasa. Les résultats obtenus démontrent que le choix du fertilisant est un levier majeur non seulement pour améliorer la productivité et la croissance, mais également pour renforcer sa valeur nutritionnelle.

L'étude démontre que l'application de 100% de frass de mouche soldat noire (31 gr/pied, soit 3,4 t/ha) est la stratégie d'amendement la plus performante parmi les traitements pour la culture d'amarante à Kinshasa.

Il apparait que le traitement T6 a notamment permis d'améliorer plusieurs composantes de la qualité biochimique de l'amarante à savoir la teneur en protéine, en biofortification minérale et en enrichissement en calcium.

Par ailleurs, contrairement à l'hypothèse selon laquelle une fertilisation organique importante pourrait entraîner une augmentation de la fibrosité des feuilles, les résultats montrent que le traitement T6 présente la plus faible teneur en fibres (1,76 %). Cette caractéristique indique que le frass permet d'obtenir des feuilles à la fois riches en nutriments et conservant une bonne tendreté, un critère particulièrement recherché par les consommateurs kinois.

Ainsi, le frass issu de mouche solda noir ne doit pas être considéré uniquement comme un fertilisant destiné à accroître la productivité agricole, mais également comme un outil potentiel d'amélioration de la santé nutritionnelle. La valorisation des biodéchets urbains en un engrais performant (frass) constitue une solution durable pour lutter contre les carences en fer (anémie) et la malnutrition protéino-énergétique en République Démocratique du Congo.

Au regard des résultats obtenus, les recommandations suivantes sont formulées :

1. *Aux maraîchers de Kinshasa :* il est recommander d'intégrer le frass issu de mouche soldat noire à une dose de 3,4 t/ha (correspondant au traitement T6) comme amendement dans les systèmes de production pour optimiser la valeur marchande et nutritionnelle des feuilles de l'amarante.
2. *Aux décideurs et services de vulgarisation (SNV) :* Promouvoir la production locale de frass à partir de biodéchets organiques pour réduire la dépendance aux engrais chimiques importés et lutter contre les carences en fer (anémie) au sein des populations urbaines.
3. *À la communauté scientifique :* Poursuivre les recherches complémentaires sur l'effet résiduel du frass lors des cycles de culture successifs et évaluer son impact sur d'autres métabolites secondaires tels que les vitamines ou les antioxydants.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

Contributions des auteurs

- Mununu Yoyo Evariste : Conception du protocole expérimental, collecte et analyse des données, rédaction initiale du manuscrit, interprétation des résultats, coordination de l'étude.
- Ibobondji Kapuku Lucien : Mise en place des essais de terrain, suivi des cultures, mesures des paramètres agronomiques, saisie des données.
- Ikaa Lefeta François : Préparation du frass et des fertilisants, caractérisation physico-chimique au laboratoire, contrôle qualité des intrants.
- Ntumba Tshibangu Joseph: Réalisation des figures et tableaux, vérification.
- Enanga Etun Benjamin : Revue bibliographique, recherche et sélection des références scientifiques, mise à jour de la littérature.
- Mangana Ikoko Joël : Interprétation des résultats agronomiques et nutritionnels, discussion des observations, comparaison avec la littérature.
- Binzunga Makumbu Mamy : Relecture critique, correction linguistique et stylistique, harmonisation du format scientifique.
- Lokinda Litalema Faustin : Vérification méthodologique, validation des données, conseils techniques tout au long de l'étude.
- Mumba Diamba : Supervision générale de la recherche, validation du protocole, orientation scientifique, relecture finale, approbation de la version à publier.

Remerciements

Les auteurs expriment leur sincère gratitude envers l'Institut National d'Étude et de la Recherche Agronomiques (INERA) pour son accompagnement dans la mise en œuvre de cette étude. Ils remercient également l'ensemble des personnels et partenaires ayant contribué au suivi des essais et aux analyses.

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.

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

References:

1. Achigan-Dako, E. G., Sogbohossou, O. E. D., & Maundu, P. (2014). Current knowledge on *Amaranthus* spp.: Research priorities for Sub-Saharan Africa. *South African Journal of Botany*, *92*, 2–13.
2. Akin-Idowu, P. E., Odunola, O. A., Gbadegesin, M. A., Oke, A., & Orkpeh, U. (2016). Assessment of the nutritional quality of some *Amaranthus* species. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *10*(1), 160–172.
3. Barragán-Fonseca, K. B., Nurfikari, A., van de Zande, E. M., Wantulla, M., van Loon, J. J. A., Dicke, M., & Cascone, P. (2022). Insect frass: A new frontier for sustainable agriculture. *Current Opinion in Insect Science*, *54*, Article 100971.
4. Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N. K., Musyoka, M. W., Fiaboe, K. K. M., Nakimbugwe, D., Khamis, F. M., Subramanian, S., Mugendi, D. N., Ekesi, S., & Tanga, C. M. (2020). Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*, Article 574592.
5. Chepkorir, A., Tanga, C. M., Beesigamukama, D., Imathiu, S., & Niassy, S. (2024). Insect frass as a regenerative biofertilizer for improved crop growth and soil health. *Frontiers in Plant Science*, *15*, Article 1365482.
6. Chivenge, P., Vanlauwe, B., & Six, J. (2011). Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis. *Plant and Soil*, *342*(1–2), 1–30.
7. FAO. (2021). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture : Vers une transformation des systèmes agroalimentaires pour une sécurité nutritionnelle durable*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
8. Kahindo, J. M., Mugendi, D. N., & Mutuo, P. (2019). Soil fertility constraints in the Congo Basin and implications for sustainable agriculture. *African Journal of Agricultural Research*, *14*(10), 582–593.
9. Liu, C., Wang, C., & Yao, H. (2020). Comprehensive extraction of chitin from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) pupal exuviae. *International Journal of Biological Macromolecules*, *155*, 1354–1361.
10. Lomonaco, C., Lazzari, L., Maienza, A., Terzano, R., & Vagnoli, C. (2022). Frass from Black Soldier Fly larvae: A promising soil amendment for sustainable agriculture. *Applied Sciences*, *12*(11), Article 5432.
11. Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M., & Gasco, L. (2018). Effect of rearing substrate on growth

ISSN: 1857-7881 (Print)
e-ISSN 1857-7431 (Online)

performance and composition of *Hermetia illucens* larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, *4*(1), 23–31.

12. Mlakar, S. G., Turinek, M., Jakop, M., Bavec, M., & Bavec, F. (2010). Nutrition value and use of grain amaranth: Potential for future. *Agricultura*, *7*, 43–53.
13. Ojeniyi, S. O. (2000). Effect of goat manure on leaf nutrients content and yield of *Amaranthus*. *Applied Tropical Agriculture*, *5*, 20–23.
14. Palm, C. A., Gachengo, C. N., Delve, R. J., Cadisch, G., & Giller, K. E. (2001). Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: Application of an organic resource quality index. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *83*(1–2), 27–42.
15. Romano, N., Fischer, H., Kumar, V., Francis, S., & Sinha, A. K. (2023). Partially replacing synthetic fertilizers with Black Soldier Fly frass enhances soil fertility and reduces nutrient losses. *Tropical Agriculture*, *100*(2), 215–226.
16. Sarker, U., & Oba, S. (2019). Antioxidant constituents of three selected red and green *Amaranthus* leafy vegetable. *Scientific Reports*, *9*(1), Article 18203.
17. Sarker, U., Oba, S., & Daramy, M. A. (2018). Augmentation of nutrients and colorants in *Amaranthus tricolor* by leaf consumption stages. *Scientific Reports*, *8*(1), Article 17949.
18. Tanga, C. M., Beesigamukama, D., Lundy, M. G., Niassy, S., Kassie, M., Omuse, E. R., & Ekesi, S. (2022). Performance of Black Soldier Fly frass fertiliser: Impacts on crop yield and soil health. *Journal of Insects as Food and Feed*, *8*(2), 185–196.
19. UNICEF. (2020). *Situation nutritionnelle des enfants en République Démocratique du Congo : Rapport d'analyse sur les carences en micronutriments*. Fonds des Nations Unies pour l'enfance.
20. Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K. E., Merckx, R., Mokwunye, U., & Sanginga, N. (2010). Integrated soil fertility management: Operationalizing the concept in African agriculture. *Journal of Agricultural Science*, *148*(3), 225–238. https://doi.org/10.1017/S0021859609990933