

European Scientific Journal, *ESJ*

October 2023

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

October 2023 edition vol. 19, No. 30

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

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

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

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

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

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

Sincerely,

Daniel B. Hier, MD

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

Editor in Chief

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Robert Szucs,
University of Debrecen, Hungary

Dragica Vujadinovic,
University of Belgrade, Serbia

Pawel Rozga,
Technical University of Lodz, Poland

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

Rashmirekha Sahoo,
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Faranak Seyyedi,
Azad University of Arak, Iran

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

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

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Noor Alam,
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

Rashad A. Al-Jawfi,
Ibb University, Yemen

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

Hans W. Giessen,
Saarland University, Saarbrucken, Germany

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Lodz, Poland

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Anita Lidaka,
Liepaja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

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

Lydia Ferrara,
University of Naples, Italy

Byron A Brown,
Botswana Accountancy College, Botswana

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

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

Cinaria Tarik Albadri,
Trinity College Dublin University, Ireland

Mahammad A. Nurmamedov,
State Pedagogical University, Azerbaijan

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

Assem El-Shazly,
Zagazig University, Egypt

Saltanat Meiramova,
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

Rajasekhar Kali Venkata,
University of Hyderabad, India

Ruzica Loncaric,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Stefan Vladutescu,
University of Craiova, Romania

Anna Zelenkova,
Matej Bel University, Slovakia

Billy Adamsen,
University of Southern Denmark, Denmark

Marinella Lorinzi,
University of Cagliari, Italy

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

N. K. Rathee,
Delaware State University, USA

Michael Ba Banutu-Gomez,
Rowan University, USA

Adil Jamil,
Amman University, Jordan

Habib Kazzi,
Lebanese University, Lebanon

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Henry J. Grubb,
University of Dubuque, USA

Daniela Brevenikova,
University of Economics, Slovakia

Genute Gedviliene,
Vytautas Magnus University, Lithuania

Vasilika Kume,
University of Tirana, Albania

Mohammed Kerbouche,
University of Mascara, Algeria

Adriana Gherbon,
University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania

Pablo Alejandro Olavegogeochea,
National University of Comahue, Argentina

Raul Rocha Romero,
Autonomous National University of Mexico, Mexico

Driss Bouyahya,
University Moulay Ismail, Morocco

William P. Fox,
Naval Postgraduate School, USA

Rania Mohamed Hassan,
University of Montreal, Canada

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

Tilahun Achaw Messaria,
Addis Ababa University, Ethiopia

George Chiladze,
University of Georgia, Georgia

Elisa Rancati,
University of Milano-Bicocca, Italy

Alessandro Merendino,
University of Ferrara, Italy

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

Anastassios Gentzoglani,
University of Sherbrooke, Canada

Awoniyi Samuel Adebayo,
Solusi University, Zimbabwe

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

Berenyi Laszlo,
University of Miskolc, Hungary

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

Omar Arturo Dominguez Ramirez,
Hidalgo State University, Mexico

Bupinder Zutshi,
Jawaharlal Nehru University, India

Pavel Krpalek,
University of Economics in Prague, Czech Republic

Mondira Dutta,
Jawaharlal Nehru University, India

Evelio Velis,
Barry University, USA

Mahbubul Haque,
Daffodil International University, Bangladesh

Diego Enrique Baez Zarabanda,
Autonomous University of Bucaramanga, Colombia

Juan Antonio Lopez Nunez,
University of Granada, Spain

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

Ashgar Ali Ali Mohamed,
International Islamic University, Malaysia

A. Zahoor Khan,
International Islamic University Islamabad, Pakistan

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Andrzej Palinski,
AGH University of Science and Technology, Poland

Jose Carlos Teixeira,
University of British Columbia Okanagan, Canada

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

Anita Auzina,
Latvia University of Agriculture, Latvia

Martin Gomez-Ullate,
University of Extremadura, Spain

Nicholas Samaras,
Technological Educational Institute of Larissa, Greece

Emrah Cengiz,
Istanbul University, Turkey

Francisco Raso Sanchez,
University of Granada, Spain

Simone T. Hashiguti,
Federal University of Uberlandia, Brazil

Tayeb Boutbouqalt,
University, Abdelmalek Essaadi, Morocco

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

Ismail Ipek,
Istanbul Aydin University, Turkey

Olena Kovalchuk,
National Technical University of Ukraine, Ukraine

Oscar Garcia Gaitero,
University of La Rioja, Spain

Alfonso Conde,
University of Granada, Spain

Jose Antonio Pineda-Alfonso,
University of Sevilla, Spain

Jingshun Zhang,
Florida Gulf Coast University, USA

Rodrigue V. Cao Diogo,
University of Parakou, Benin

Olena Ivanova,
Kharkiv National University, Ukraine

Marco Mele,
Unint University, Italy

Okyay Ucan,
Omer Halisdemir University, Turkey

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

Matti Raudjarv,
University of Tartu, Estonia

Cosimo Magazzino,
Roma Tre University, Italy

Susana Sousa Machado,
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

Jelena Zascerinska,
University of Latvia, Latvia

Umman Tugba Simsek Gursoy,
Istanbul University, Turkey

Zoltan Veres,
University of Pannonia, Hungary

Vera Komarova,
Daugavpils University, Latvia

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

Stephane Zingue,
University of Maroua, Cameroon

Pierluigi Passaro,
University of Bari Aldo Moro, Italy

Georges Kpazai,
Laurentian University, Canada

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

Natalia Sizochenko,
Dartmouth College, USA

Michele Russo,
University of Catanzaro, Italy

Nikolett Deutsch,
Corvinus University of Budapest, Hungary

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

Brian Sloboda,
University of Maryland, USA

Yassen Al Foteih,
Canadian University Dubai, UAE

Marisa Cecilia Tumino,
Adventista del Plata University, Argentina

Luca Scaini,
Al Akhawayn University, Morocco

Aelita Skarbaliene,
Klaipeda University, Lithuania

Oxana Bayer,
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

Onyeka Uche Ofili,
International School of Management, France

Aurela Saliaj,
University of Vlora, Albania

Maria Garbelli,
Milano Bicocca University, Italy

Josephus van der Maesen,
Wageningen University, Netherlands

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

Francisco Gonzalez Garcia,
University of Granada, Spain

Mahgoub El-Tigani Mahmoud,
Tennessee State University, USA

Daniel Federico Morla,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Valeria Autran,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Muhammad Hasmi Abu Hassan Asaari,
Universiti Sains, Malaysia

Angelo Viglianisi Ferraro,
Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy

Roberto Di Maria,
University of Palermo, Italy

Delia Magherescu,
State University of Moldova, Moldova

Paul Waithaka Mahinge,
Kenyatta University, Kenya

Aicha El Alaoui,
Sultan My Slimane University, Morocco

Marija Brajčić,
University of Split, Croatia

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

Belen Martinez-Ferrer,
Univeristy Pablo Olavide, Spain

Rachid Zammar,
University Mohammed 5, Morocco

Fatma Koc,
Gazi University, Turkey

Calina Nicoleta,
University of Craiova, Romania

Shadaan Abid,
UT Southwestern Medical Center, USA

Sadik Madani Alaoui,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Patrizia Gazzola,
University of Insubria, Italy

Krisztina Szegedi,
University of Miskolc, Hungary

Liliana Esther Mayoral,
National University of Cuyo, Argentina

Amarjit Singh,
Kurukshetra University, India

Oscar Casanova Lopez,
University of Zaragoza, Spain

Emina Jerkovic,
University of Josip Juraj Strossmayer, Croatia

Carlos M. Azcoitia,
National Louis University, USA

Rokia Sanogo,
University USTTB, Mali

Bertrand Lemennicier,
University of Paris Sorbonne, France

Lahcen Benaabidate,
University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco

Janaka Jayawickrama,
University of York, United Kingdom

Kiluba L. Nkulu,
University of Kentucky, USA

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

George C. Katsadoros,
University of the Aegean, Greece

Elena Gavrilova,
Plekhanov University of Economics, Russia

Eyal Lewin,
Ariel University, Israel

Szczepan Figiel,
University of Warmia, Poland

Don Martin,
Youngstown State University, USA

John B. Strait,
Sam Houston State University, USA

Nirmal Kumar Betchoo,
University of Mascareignes, Mauritius

Camilla Buzzacchi,
University Milano Bicocca, Italy

EL Kandoussi Mohamed,
Moulay Ismai University, Morocco

Susana Borrás Pentinat,
Rovira i Virgili University, Spain

Jelena Kasap,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Massimo Mariani,
Libera 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

Julius Gathogo,
University of South Africa, South Africa

Claudia Pisoschi,
University of Craiova, Romania

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

Joseph Ntale,
Catholic University of Eastern Africa, Kenya

Kate Litondo,
University of Nairobi, Kenya

Maurice Gning,
Gaston Berger University, Senegal

Katarina Marosevic,
J.J. Strossmayer University, Croatia

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

Syed Shadab,
Jazan University, Saudi Arabia

Koffi Yao Blaise,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Mario Adelfo Batista Zaldivar,
Technical University of Manabi, Ecuador

Kalidou Seydou,
Gaston Berger University, Senegal

Patrick Chanda,
The University of Zambia, Zambia

Meryem Ait Ouali,
University IBN Tofail, Morocco

Laid Benderradji,
Mohamed Boudiaf University of Msila, Algeria

Amine Daoudi,
University Moulay Ismail, Morocco

Oruam Cadex Marichal Guevara,
University Maximo Gomes Baez, Cuba

Vanya Katarska,
National Military University, Bulgaria

Carmen Maria Zavala Arnal,
University of Zaragoza, Spain

Francisco Gavi Reyes,
Postgraduate College, Mexico

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

Patricia Randrianavony,
University of Antananarivo, Madagascar

Roque V. Mendez,
Texas State University, USA

Kesbi Abdelaziz,
University Hassan II Mohammedia, Morocco

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

Ilknur Bayram,
Ankara University, Turkey

Elenica Pjero,
University Ismail Qemali, Albania

Gokhan Ozer,
Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Turkey

Veronica Flores Sanchez,
Technological University of Veracruz, Mexico

Camille Habib,
Lebanese University, Lebanon

Larisa Topka,
Irkutsk State University, Russia

Paul M. Lipowski,
Creighton University, USA

Marie Line Karam,
Lebanese University, Lebanon

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

Mohamed Berradi,
Ibn Tofail University, Morocco

Visnja Lachner,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Sangne Yao Charles,
University Jean Lorougnon Guede, Ivory Coast

Omar Boubker,
University Ibn Zohr, Morocco

Kouame Atta,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Patience Mpanzu,
University of Kinshasa, Congo

Devang Upadhyay,
University of North Carolina at Pembroke, USA

Nyamador Wolali Seth,
University of Lome, Togo

Akmele Meless Simeon,
Ouattara University, Ivory Coast

Mohamed Sadiki,
IBN Tofail University, Morocco

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

Gamal Elgezeery,
Suez University, Egypt

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

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

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

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

Alla Manga,
University Cheikh Anta Diop, Senegal

Lalla Aicha Lrhorfi,
University Ibn Tofail, Morocco

Ruth Adunola Aderanti,
Babcock University, Nigeria

Katica Kulavkova,
University of "Ss. Cyril and Methodius", Republic of Macedonia

Aka Koffi Sosthene,
Research Center for Oceanology, Ivory Coast

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

Toure Krouele,
Ecole Normale Supérieure d'Abidjan, Ivory Coast

Sophia Barinova,
University of Haifa, Israel

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

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

Aderewa Amontcha,
Université d'Abomey-Calavi, Benin

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

Rene Mesias Villacres Borja,
Universidad Estatal De Bolívar, Ecuador

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

Qamil Dika,
Tirana Medical University, Albania

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

Hariti Hakim,
University Alger 3, Algeria

Emel Ceyhun Sabir,
University of Cukurova, Turkey

Salomon Barrezueta Unda,
Universidad Tecnica de Machala, Ecuador

Belkis Zervent Unal,
Cukurova University, Turkey

Elena Krupa,
Kazakh Agency of Applied Ecology, Kazakhstan

Carlos Angel Mendez Peon,
Universidad de Sonora, Mexico

Antonio Solis Lima,
Apizaco Institute Technological, Mexico

Roxana Matefi,
Transilvania University of Brasov, Romania

Bouharati Saddek,
UFAS Setif1 University, Algeria

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

Serigne Modou Sarr,
Universite Alioune DIOP de Bambey, Senegal

Nina Stankous,
National University, USA

Lovergine Saverio,
Tor Vergata University of Rome, Italy

Fekadu Yehuwalashet Maru,
Jigjiga University, Ethiopia

Karima Laamiri,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Elena Hunt,
Laurentian University, Canada

Sharad K. Soni,
Jawaharlal Nehru University, India

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

Florence Kagendo Muindi,
University of Nairobi, Kenya

Maximo Rossi Malan,
Universidad de la Republica, Uruguay

Haggag Mohamed Haggag,
South Valley University, Egypt

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

Eveligh Ceciliana Prado-Carpio,
Technical University of Machala, Ecuador

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

Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

Stefan Cristian Gherghina,
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

Aristide Yemmafouo,
University of Dschang, Cameroon

Gabriel Anibal Monzón,
University of Moron, Argentina

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

Arburim Iseni,
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

Raoufou Pierre Radji,
University of Lome, Togo

Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,
Universidad de Almeria, Spain

Satoru Suzuki,
Panasonic Corporation, Japan

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

Russell Kabir,
Anglia Ruskin University, UK

Nasreen Khan,
SZABIST, Dubai

Luisa Morales Maure,
University of Panama, Panama

Lipeng Xin,
Xi'an Jiaotong University, China

Harja Maria,
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

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

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

Sufi Amin,
International Islamic University, Islambad Pakistan

Sanja Milosevic Govedarovic,
University of Belgrade, Serbia

Elham Mohammadi,
Curtin University, Australia

Andrianarizaka Marc Tiana,
University of Antananarivo, Madagascar

Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,
Udayana University, Indonesia

Yue Cao,
Southeast University, China

Audrey Tolouian,
University of Texas, USA

Asli Cazorla Milla,
Centro de Estudios Universitarios Madrid, Spain

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

Tabou Talahatou,
University of Abomey-Calavi, Benin

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

Hamidreza Izadi,
Chabahar Maritime University, Iran

Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,
Ain Shams University, Egypt

Rachid Ismaili,
Hassan 1 University, Morocco

Tamar Ghutidze,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Emine Koca,
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

David Perez Jorge,
University of La Laguna, Spain

Irma Guga,
European University of Tirana, Albania

Jesus Gerardo Martínez del Castillo,
University of Almeria, Spain

Mohammed Mouradi,
Sultan Moulay Slimane University, Morocco

Marco Tulio Ceron Lopez,
Institute of University Studies, Mexico

Mangambu Mokoso Jean De Dieu,
University of Bukavu, Congo

Hadi Sutopo,
Topazart, Indonesia

Priyantha W. Mudalige,
University of Kelaniya, Sri Lanka

Emmanouil N. Choustoulakis,
University of Peloponnese, Greece

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

Pinnawala Sangasumana,
University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

Abdelali Kaaouachi,
Mohammed I University, Morocco

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

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

Amaya Epelde Larranaga,
University of Granada, Spain

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

Saly Sambou,
Cheikh Anta Diop University, Senegal

Daniela Di Berardino,
University of Chieti-Pescara, Italy

Dorjana Klosi,
University of Vlore “Ismail Qemali, Albania

Abu Hamja,
Aalborg University, Denmark

Stankovska Gordana,
University of Tetova, Republic of Macedonia

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

Maria Leticia Bautista Diaz,
National Autonomous University, Mexico

Bruno Augusto Sampaio Fuga,
North Parana University, Brazil

Anouar Alami,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Vincenzo Riso,
University of Ferrara, Italy

Janhavi Nagwekar,
St. Michael’s Hospital, Canada

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

Xi Chen,
University of Kentucky, USA

Fateh Mebarek-Oudina,
Skikda University, Algeria

Nadia Mansour,
University of Sousse, Tunisia

Jestoni Dulva Maniago,
Majmaah University, Saudi Arabia

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

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

Enriko Ceko,
Wisdom University, Albania

Laura Fischer,
National Autonomous University of Mexico, Mexico

Mauro Berumen,
Caribbean University, Mexico

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

Maria Carlota,
Autonomous University of Queretaro, Mexico

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

Bhupendra Karki,
University of Louisville, Louisville, USA

Evens Emmanuel,
University of Quisqueya, Haiti

Iresha Madhavi Lakshman,
University of Colombo, Sri Lanka

Francesco Scotognella,
Polytechnic University of Milan, Italy

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

Rawaa Qasha,
University of Mosul, Iraq

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

Hani Nasser Abdelhamid,
Assiut University, Egypt

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

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

Ilenia Farina,
University of Naples "Parthenope, Italy

Luisa Zanolla,
Azienda Ospedaliera Universitaria Verona, Italy

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

Adriana Burlea-Schiopoiu,
University of Craiova, Romania

Alejandro Palafox-Munoz,
University of Quintana Roo, Mexico

Fernando Espinoza Lopez,
Hofstra University, USA

Ammar B. Altemimi,
University of Basrah, Iraq

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

Davide Calandra,
University of Turin, Italy

Nicola Varrone,
University of Campania Luigi Vanvitelli, Italy

Luis Angel Medina Juarez,
University of Sonora, Mexico

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

Sameer Algburi,
Al-Kitab University, Iraq

Braione Pietro,
University of Milano-Bicocca, Italy

Mounia Bendari,
Mohammed VI University, Morocco

Stamatios Papadakis,
University of Crete, Greece

Aleksey Khlopytskyi,
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

Sung-Kun Kim,
Northeastern State University, USA

Nemanja Berber,
University of Novi Sad, Serbia

Krejsa Martin,
Technical University of Ostrava, Czech Republic

Magdalena Vaverkova,
Mendel University in Brno, Czech Republic

Jeewaka Kumara,
University of Peradeniya, Sri Lanka

Antonella Giacosa,
University of Torino, Italy

Paola Clara Leotta,
University of Catania, Italy

Francesco G. Patania,
University of Catania, Italy

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

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

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

Usama Konbr,
Tanta University, Egypt

Branislav Radeljic,
Necmettin Erbakan University, Turkey

Anita Mandaric Vukusic,
University of Split, Croatia

Barbara Cappuzzo,
University of Palermo, Italy

Roman Jimenez Vera,
Juarez Autonomous University of Tabasco, Mexico

Lucia P. Romero Mariscal,
University of Almeria, Spain

Pedro Antonio Martin-Cervantes,
University of Almeria, Spain

Hasan Abd Ali Khudhair,
Southern Technical University, Iraq

Qanqom Amira,
Ibn Zohr University, Morocco

Farid Samir Benavides Vanegas,
Catholic University of Colombia, Colombia

Nedret Kuran Burcoglu,
Emeritus of Bogazici University, Turkey

Julio Costa Pinto,
University of Santiago de Compostela, Spain

Satish Kumar,
Dire Dawa University, Ethiopia

Favio Farinella,
National University of Mar del Plata, Argentina

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

Salwa Alinat,
Open University, Israel

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

Rasool Bukhsh Mirjat,
Senior Civil Judge, Islamabad, Pakistan

Samantha Goncalves Mancini Ramos,
Londrina State University, Brazil

Mykola Nesprava,
Dnoproetrovsk State University of Internal Affairs, Ukraine

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

Giacomo Buoncompagni,
University of Florence, Italy

Elza Nikoleishvili,
University of Georgia, Georgia

Mohammed Mahmood Mohammed,
University of Baghdad, Iraq

Oudgou Mohamed,
University Sultan Moulay Slimane, Morocco

Arlinda Ymeraj,
European University of Tirana, Albania

Luisa Maria Arvide Cambra,
University of Almeria, Spain

Charahabil Mohamed Mahamoud,
University Assane Seck of Ziguinchor, Senegal

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

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

Harouna Issa Amadou,
Abdou Moumouni University of Niger

Achille Magloire Ngah,
Yaounde University II, Cameroun

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

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

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

Oumar Bah,
Sup' Management, Mali

Angelica Selene Sterling Zozoaga,
Universidad del Caribe, Mexico

Josephine W. Gitome,
Kenyatta University, Kenya

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

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

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

Desara Dushi,
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

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

Aziz Dieng,
University of Portsmouth, UK

Ruth Magdalena Gallegos Torres,
Universidad Autonoma de Queretaro, Mexico

Atanga Essama Michel Barnabé,
Université de Bertoua, Cameroun

Alami Hasnaa,
Universite Chouaid Doukkali, Maroc

Emmanuel Acquah-Sam,
Wisconsin International University College, Ghana

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

Hicham Chairi,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Noureddine El Aouad,
University Abdelmalek Essaady, Morocco

Samir Diouny,
Hassan II University, Casablanca, Morocco

Gibet Tani Hicham,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

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

Abderrahim Ayad,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Sara Teidj,
Moulay Ismail University Meknes, Morocco

Gbadamassi Fousséni,
Université de Parakou, Benin

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

Haounati Redouane,
Ibn Zohr Agadir, Morocco

Hicham Es-soufi,
Moulay Ismail University, Morocco

Imad Ait Lhassan,
Abdelmalek Essaâdi University, Morocco

Givi Makalatia,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Adil Brouri,
Moulay Ismail University, Morocco

Noureddine El Baraka,
Ibn Zohr University, Morocco

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Oussama Mahboub,
Queens University, Kingston, Canada

Markela Muca,
University of Tirana, Albania

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

Kledi Xhaxhiu,
University of Tirana, Albania

Saleem Iqbal,
University of Balochistan Quetta, Pakistan

Dritan Topi,
University of Tirana, Albania

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

Adil Youssef Sayeh,
Chouaib Doukkali University, Morocco

Zineb Tribak,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Ngwengeh Brendaline Beloke,
University of Biea, Cameroon

El Agy Fatima,
Sidi Mohamed Ben Abdelah University, Morocco

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

Nato Durglishvili,
University of Georgia, Georgia

Abdelkrim Salim,
Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

Omar Kchit,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Isaac Ogundu,
Ignatius Ajuru University of Education, Nigeria

Giuseppe Lanza,
University of Catania, Italy

Monssif Najim,
Ibn Zohr University, Morocco

Luan Bekteshi,
“Barleti” University, Albania

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

Oudani Hassan,
University Ibn Zohr Agadir, Morocco

Merita Rumano,
University of Tirana, Albania

Mohamed Chiban,
Ibn Zohr University, Morocco

Tal Pavel,
The Institute for Cyber Policy Studies, Israel

Jawad Laadraoui,
University Cadi Ayyad of Marrakech, Morocco

El Mourabit Youssef,
Ibn Zohr University, Morocco

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

Krzysztof Nesterowicz,
Ludovika-University of Public Service, Hungary

Laamrani El Idrissi Safae,
Ibn Tofail University, Morocco

Suphi Ural,
Cukurova University, Turkey

Emrah Eray Akca,
Istanbul Aydin University, Turkey

Selcuk Poyraz,
Adiyaman University, Turkey

Ocak Gurbuz,
University of Afyon Kocatepe, Turkey

Umut Sener,
Aksaray University, Turkey

Mateen Abbas,
Capital University of Science and Technology, Pakistan

Muhammed Bilgehan Aytac,
Aksaray University, Turkey

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

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

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

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

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

Atif Ali,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Shahzda Adnan,
Pakistan Meteorological Department, Pakistan

Waqar Ahmed,
Johns Hopkins University, USA

Faizan ur Rehman Qaiser,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Choua Ouchemi,
Université de N'Djaména, Tchad

Syed Tallataf Hussain Shah,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Saeed Ahmed,
University of Management and Technology, Pakistan

Hafiz Muhammad Arshad,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Johana Hajdini,
University “G. d’Annunzio” of Chieti-Pescara, Italy

Mujeeb Ur Rehman,
York St John University, UK

Noshaba Zulfiqar,
University of Wah, Pakistan

Muhammad Imran Shah,
Government College University Faisalabad, Pakistan

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

Titilayo Olotu,
Kent State University, Ohio, USA

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

Sajjad Ali,
Karakoram International University, Pakistan

Hiqmet Kamberaj,
International Balkan University, Macedonia

Sanna Ullah,
University of Central Punjab Lahore, Pakistan

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

Heba Mostafa Mohamed,
Beni Suef University, Egypt

Abdul Basit,
Zhejiang University, China

Karim Iddouch,
International University of Casablanca, Morocco

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

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

Dolantina Hyka,
Mediterranean University of Albania

Yaya Dosso,
Alassane Ouattara University, Ivory Coast

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

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

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

Soumaya Outellou,
ENCG-Ibn Tofail University-Kenitra, Morocco

Table of Contents:

Prevalencia de Ansiedad y Depresión por COVID-19 en el Personal de Enfermería.....1

Olvera Rodríguez Alejandro

González Ledesma Edith

Frías Benítez Joaquín Emmanuel

Fierro Muñoz Alma Argelia

Gabriela Palomé-Vega

Perceptions and Characterization of Local Knowledge on Soil Fertility Management by Maize Farmers in Central Benin.....13

Codjo Jacques Houndete

Gaudence Julien Djego

Influence Physico-Chimique des Eaux d'Irrigation sur les Terrains Maraîchers des Niayes : Cas du Gandiolais.....26

Mar Gaye

Souleymane Niang

Cheikh Ahmed Tidiane Faye

State of Knowledge on Beekeeping Practices in Côte d'Ivoire in the Face of Challenges and Opportunities in the Context of Climate Change.....46

Salimata Ouattara

Chimène Assi-Kaudjhis

Kossi Adjonou

Koffi Félix Kouamé

Comlan Mawussi Koudegnan

Kouami Kokou

Caractéristiques de la Régénération Naturelle de la Végétation Contractée des Plateaux de l'Ouest du Niger Suivant les Gradients Pluviométrique et d'Anthropisation.....74

Amadou Aboubacar

Issoufou Bagnian

Abdou Laouali

Iro Dan Guimbo

Chemical and Mineralogical Characterisation of Clayey Sands from the Ivorian Sedimentary Basin in Road Construction.....94

Kouakou Pierre Kouassi

Désiré Sosthène Ronald Atto Yapi

Athanase Konin

Abalé Martial Grehoa

**Aspects Cliniques et Indications Chirurgicales des Fractures
Diaphysaires des os de l'Avant-Bras chez l'Adulte au Centre Hospitalier
Universitaire de Kara.....109**

Towoezim Tchaah Hodabalo

Dossouvi Tamegnon

Dellanh Yaovi Yanick

Fare Gnandi-Piou

Ayouba Gamal

Bakriga Batarabadja

Abalo Anani

**Déterminants de la Satisfaction des Exploitants Agricoles à l'Egard du
Système de Riziculture Intensive (SRI) dans les Communes de Malanville
et de Karimama au Nord du Bénin.....126**

Abdel Karim Koda Djerma Adam

Alexis Hougni

Jacob Afouda Yabi

**Etude Anatomo-Hystopathologique du Tractus Digestif des Poulets
Bicyclettes Infectés par la Maladie de Newcastle dans les Fermes en Côte
d'Ivoire.....145**

Camille Mahn Yoro

Gnonsoakala Emmanuel Yoe

Komenan Daouda Kouassi

Fahadama Konate

Marie Anne d'Alameida

Joseph Allico Djaman

Comportements Préventifs de la Mère et Morbidité Palustre des Enfants de Moins de Cinq ans au Burkina Faso.....157

Coulibaly Moussa

Boly Dramane

Effet Larvicide de l'Huile Essentielle d'Eucalyptus globulus Labill. (Myrtaceae) sur Pectinophora gossypiella S. et Thaumatotibia leucotreta M. (Lepidoptera), Ravageurs Carpophages du Cotonnier au Togo.....181

Nafadjara Abouwaliou Nadio

Bigala Gmasson

Essolakina Magnim Bokobana

Pikassalé Akantetou Kantetou

Wiyao Poutaouli

Koffi Koba

Komla Sanda

Dynamique du Littoral de Vridi-Port-Bouët (Abidjan, Côte d'Ivoire) : Caractérisation Géomorphologique et Sédimentologique.....200

Mamadou Toure

Aby Atsé Mathurin Saimon

Yao Alexis N'Guessan

Effet des Prétraitements sur la Germination des Semences de *Azelia africana* Smith ex Pers. en Milieu Semi Contrôlé en Basse Casamance (Senegal).....216

Aly Diallo

Boubacar Camara

Arfang Ousmane Kémo Goudiaby

Abacar Ndiaye

Saran Diallo

Dynamique Spatio-Temporelle et Intérêt Pour la Conservation de la Forêt Classée de Goin-Débé, Une Aire Protégée Menacée de Disparition à l'Ouest de la Côte d'Ivoire.....231

Djah François Malan

Ménéké Distel Kougbo

Mathieu Dogba

Amenan Sylvie Konan

Study of the Population Variability of Two *Chrysichthys* Species in Six Aquatic Ecosystems in Côte d'Ivoire.....254

T.A.S. Coulibaly

A.B. Adepo-Gourene

**Distribution Spatio-Temporelle du Phytoplancton en Relation avec
Quelques Paramètres Physico-Chimiques dans le Système Lagunaire
Adjin-Potou (Côte d'Ivoire).....209**

Kandana Marthe Yéo

Aya Nelly Berthe Kouadio

Estelle Sévérine Konan

Koffi Komoé

Droh Lanciné Goné

**Influence du Type de Solvant et du Ratio Echantillon/Solvant sur les
Propriétés Moussantes des Poudres des Racines de Manioc Manihot
Esculenta (Crantz) cv Bonoua 2.....293**

Somala Tatiana Tanoh

Martin Luthère King N'gbo

William Kwithony Disseka

Lucien Patrice Kouamé

**Contribution of Aeromagnetic Data to the Structural Discontinuities
Identification of Black Volta Catchment Aquifer System in Côte
d'Ivoire.....307**

Armel Kouadio Kouame

Marc Youan Ta

Bertrand Houngnigbo Akokponhoue

Omer Zéphir De Lasme

Loukou Nicolas Kouamé

**Asphyxie Périnatale à la Maternité du CHU Kara : Aspects
Epidémiologique, Clinique et Pronostique.....323**

Kossi Edem Logbo-Akey

Tina Kétévi

Kignomon Bingo M'Bortché

Yendoubé Pierre Kambote

Noe Kibandou Patidi

Dédé Régina Ajavon

Abdoul-Samadou Aboubakari



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Prevalencia de Ansiedad y Depresión por COVID-19 en el Personal de Enfermería

Olvera Rodríguez Alejandro

González Ledesma Edith

Frías Benítez Joaquín Emmanuel

Fierro Muñoz Alma Argelia

Palomé-Vega Gabriela, Doctora en Tecnología Educativa

Facultad de Enfermería

Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p1](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p1)

Submitted: 07 July 2023

Accepted: 24 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Olvera R.A., González L.E., Frías Benítez J.E., Fierro Muñoz A.E., Palomé-Vega G. (2023). *Prevalencia de Ansiedad y Depresión por COVID-19 en el Personal de Enfermería*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p1>

Résumé

Introducción. El personal de enfermería que labora en el segundo nivel de atención enfrenta diariamente situaciones que pueden afectar su salud mental como la depresión y la ansiedad. Algunos de los factores que incrementan la incidencia de estos son: el aumento de casos de COVID-19 y la saturación de los servicios sanitarios. **Objetivo.** Medir la prevalencia de ansiedad y depresión por COVID-19 en el personal de enfermería, de un hospital de segundo nivel de atención. **Metodología.** Estudio con enfoque cuantitativo, con un diseño descriptivo y corte transversal. Mediante un muestreo estadístico por fórmula, se aplicó la Escala de Ansiedad y Depresión de Goldberg (EADG) a 45 integrantes del personal de enfermería; fueron considerados los principios bioéticos en los participantes que aceptaron firmar la carta de consentimiento informado. **Resultados.** La media de edad fue de 33.67 años y el 62% presenta la ansiedad y con respecto a la variable depresión, no se presentó; sin embargo, se manifestó un riesgo del 20% de los participantes de presentar síntomas de depresión, entre los que se identificaron: dificultad para concentrarse, pérdida de apetito, sentirse aletargado y despertar demasiado temprano. **Conclusiones.** Abordar la salud mental en el personal de enfermería es de sumo interés, dado que la presencia

de estos padecimientos puede afectar desde la salud del trabajador, hasta la atención y el cuidado que se les brinda a los pacientes.

Mots-clés: Ansiedad, depresión, COVID-19, enfermería, prevalencia

Prevalence of Anxiety and Depression Due to COVID-19 on the Nursing Staff

Olvera Rodríguez Alejandro

González Ledesma Edith

Frías Benítez Joaquín Emmanuel

Fierro Muñoz Alma Argelia

Palomé-Vega Gabriela, Doctora en Tecnología Educativa

Facultad de Enfermería

Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

Abstract

Introduction. Nursing staff working in the second level of hospital care face daily situations that can affect their mental health, leading to conditions such as depression and anxiety. Some of the factors that increase the incidence of these are: the increase in cases of COVID-19, little certainty in the information on the treatment and care of this disease, the saturation of health services, shortage of supplies, lack of assistance personnel, long working hours, and the mortality rate of the population. Objective. To measure the prevalence of anxiety and depression due to COVID-19 in the nursing staff of a second-level care hospital in the state of Querétaro, in order to obtain information that allows, subsequently, to create strategies for the care of nursing staff. Methodology. A study of quantitative approach, descriptive level and cross section was carried out. A statistical sampling by formula defined the sample of 45 members of the nursing staff; Data collection was used by Goldberg Anxiety and Depression Scale (EADG) with 18 items with dichotomous response. Bioethical principles were considered and participants were asked to accept the signing of the informed consent letter. Descriptive statistics were used in the analysis of information by means of averages. Results. The mean age was 33.67 years and in terms of the prevalence of anxiety, is present in 62% of the sample and with respect to the variable depression, there is no presence of this; however, there is a risk of 20% of the sample to have symptoms of depression, among which were identified: difficulty concentrating, loss of appetite, feeling elongated and waking up too early. Conclusions. Addressing mental health in nursing staff is of great

interest, as the presence of these conditions can affect from the health of the worker to the care and care provided to patients.

Keywords: Anxiety, depression, COVID-19, nursing, prevalence

Introduction

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que a nivel mundial, el 3.8% de la población padece de depresión y el 3.4% de algún trastorno de ansiedad, lo que es equivalente a más de 544 millones de personas (OMS 2021).

La depresión es una enfermedad que se caracteriza por una tristeza persistente y por la pérdida de interés en las actividades con las que normalmente se disfruta, así como por la incapacidad para llevar a cabo las actividades cotidianas por un periodo de tiempo indefinidos Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2020; mientras que la ansiedad es una reacción emocional normal que se presenta en el sujeto ante situaciones que percibe o interpreta como amenazantes o peligrosas, aunque en realidad no se pueden valorar como tal, caracterizada por una gran inquietud, una intensa excitación y una extrema inseguridad (Chacón, 2021).

De acuerdo con el Consejo Internacional de Enfermeras (CIE) (2021), el personal de enfermería y otros trabajadores sanitarios en todo el mundo se enfrentan a una enorme presión en el trabajo y la pandemia sigue teniendo un coste muy elevado para el bienestar físico y mental de los proveedores sanitarios en primera línea.

Se estima que aproximadamente el 3.4% de la población, lo que es equivalente a más de 300 millones de personas, padece algún trastorno de ansiedad, cuya principal característica es la presencia de molestias físicas relacionadas y/o similares al miedo tales como: intranquilidad, desesperación, temor, preocupaciones excesivas o una combinación entre ellos (Frías, 2019; OMS 2022).

El virus SARS-CoV-2 fue registrado por primera vez en el territorio mexicano el 14 de enero de 2020, avanzando rápidamente y ocasionando las primeras muertes el 21 de marzo del mismo año. A finales de septiembre de 2021, el número de personas fallecidas a causa de esta enfermedad había superado las 275,000. En esta misma fecha, se obtuvo como parte de la estadística más de 3,6 millones de casos acumulados de COVID-19 en México (Orús, 2020).

Desde esta perspectiva, el personal de salud se enfrenta a un reto extraordinario: cuidar de otros, exponiéndose a sí mismo al contagio. A médicos, enfermeras, terapeutas y demás personal asistencial y no asistencial en clínicas y hospitales, se les ha pedido y se les pide que estén preparados para trabajar en situaciones extraordinariamente complejas de exposición

permanente a la COVID-19 (Restrepo-Martínez et al., 2021). En contextos de pandemia, los trabajadores de la salud son especialmente vulnerables a los problemas de salud mental, incluidos el miedo, la ansiedad, la depresión y el insomnio (Torrecilla et al., 2021).

Las Asociaciones Nacionales de Enfermería (ANE) muestran que dentro de los países con más afecciones a la salud mental del personal de enfermería se encuentran China, con problemas en la mitad de su personal relacionados con el agotamiento físico y emocional, además de la despersonalización; en Estados Unidos se muestra que el 93% de su personal padece de estrés, un 76% de agotamiento y el 60% presentaba problemas para conciliar el sueño; en España, el 80% del personal de enfermería manifestó síntomas de ansiedad y agotamiento; en Australia el dominio del agotamiento fue sobre más de la mitad del personal mientras que el 28% presentaba depresión y en 13 países del continente africano el 20% del personal de enfermería desarrolló síntomas de depresión durante la pandemia (CIE 2021). Un estudio realizado en España denominado “Resiliencia y ansiedad entre profesionales de unidades de cuidados intensivos durante la pandemia de COVID-19” a 448 trabajadores sanitarios mostraba como objetivo explorar la prevalencia de síntomas asociados con el Trastorno de Ansiedad Generalizada (TAG) y mostrar la relación entre los síntomas del TAG y las habilidades resilientes, y cuáles de esas habilidades se asociaron con un TAG probable entre los profesionales de la UCI durante la pandemia de COVID-19; todo esto empleando la escala de trastorno de ansiedad generalizada (GAD-7). Dentro de los hallazgos reportados, los participantes mostraron altos niveles de resiliencia y más de la mitad de ellos presentó síntomas compatibles con un posible diagnóstico de TAG. (Peñacoba *et al.*, 2021).

Por otro lado en Latinoamérica, un estudio titulado “Estado emocional y psicológico del personal de enfermería agredido durante la pandemia de COVID-19” realizado a 310 participantes del personal de países como México, Argentina, Colombia, Honduras y Costa Rica, entre otros, aplicó una encuesta de corte transversal a sus participantes con el objetivo de conocer la incidencia de agresión hacia el personal de enfermería y evaluar las principales emociones y síntomas psicológicos experimentados durante la pandemia de COVID-19; reportó que las emociones más comunes que se presentaron fueron: miedo a enfermarse o contagiarse con 73.3% de las respuestas, alteraciones del sueño con 33.4% de casos, el 33.4% refirió tener miedo de contagiar a sus familiares, y dentro de las alteraciones de salud mental más denotadas fueron: la ansiedad, con presencia en el 29.2% de los casos; tristeza con 10.4% y el aumento del apetito con 8.8% de prevalencia (Sánchez-De la Cruz *et al.*, 2021).

Así mismo, en México, un estudio titulado “Psicodrama como tratamiento para ansiedad y depresión en personal de salud que atiende

pacientes con covid-19, en un hospital de Nuevo León, México” donde participaron 44 integrantes del personal de enfermería a quienes se les aplicó la Escala de Ansiedad y Depresión de Goldberg, identificó una prevalencia de ansiedad del 62% y depresión del 34% en los casos analizados; además de mostrar que los principales síntomas de ansiedad en el personal son: preocupación por la salud, preocupación general, dolores musculares, cefalea y nerviosismo; los principales síntomas de depresión encontrados fueron: sentirse con poca energía, despertar demasiado temprano, dificultades para concentrarse y con movimientos lentos (Nuñez-Ocman *et al.*, 2022).

En México, se observa una mayor prevalencia de depresión 40.7% y de ansiedad 70% en el personal de enfermería (Lucas-Hernández *et al.*, 2022), que afecta negativamente el desarrollo laboral. En función de lo anterior el propósito es medir la prevalencia de la ansiedad y depresión por cOVID-19 en el personal de enfermería de un hospital de segundo nivel en Querétaro, México.

Methodologia

Se utilizó un diseño de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y de corte transversal. El universo de trabajo fue el Hospital Santo Tomás y la muestra probabilística de 45 participantes se determinó mediante la fórmula estadística para grupo finito. Los criterios de inclusión fueron: ser personal de enfermería de ambos sexos de los turnos matutino, vespertino, nocturno y especial; tener grado de formación: técnico, licenciatura y/o posgrado y haber atendido pacientes con COVID-19; los criterios para exclusión que se tomaron en cuenta fueron: ser personal ajeno al área de enfermería, ser pasantes o estudiante de enfermería, personal de enfermería que se niegue a contestar el instrumento e instrumentos que no sean contestados en su totalidad; la recolección de la información se efectuó en el mes de mayo del 2023. Al personal de la institución se le realizó la invitación turno por turno y de esa misma forma se seleccionó de forma aleatoria y estratificada al personal de enfermería participante; se les dio a conocer la carta de consentimiento informado y una vez aceptada su participación se les aplicó la Escala de Ansiedad y Depresión de Goldberg (EADG) (Reivan-Ortiz *et al.*, 2019), que está constituida por 18 ítems con respuesta de tipo dicotómica y permite la detección de los dos trastornos psicopatológicos: ansiedad y depresión, esta escala fue validada por Montón, Echevarría, y Campos para la versión en castellano y obtuvo en su momento un alpha de confiabilidad de Cronbach de 0.758; además de incluir 12 ítems para la obtención de datos sociodemográficos de la población participante. Para el análisis de los datos se utilizó estadística descriptiva mediante promedios y porcentajes con ayuda del programa SPSS en su versión 25.

Resultados

El estudio fue llevado a cabo con un total de 45 integrantes del personal de enfermería pertenecientes a todos los turnos del hospital de segundo nivel Santo Tomás que, de acuerdo a la distribución, según el sexo el 68.9% (31) estuvo conformada por mujeres y el 31.1% (14) por hombres. En donde la mayoría de la muestra indican los siguientes porcentajes, de acuerdo al estado civil: solteros 44.4% (20), casados 44.4% (20), unión libre 8.9% (4) y otro 2.2% (1). La edad mínima y máxima es de 24 y 50 años más respectivamente, con una edad media de 33.67 años.

Referente a la categoría del personal de enfermería, se distribuyen de la siguiente manera: Enfermero General 62.2% (28), Auxiliar de Enfermería 22.2% (10), Especialista 13.3% (6) y Jefe de piso con el 2.2% (5), de los cuales, se encuentran en los servicios de Medicina Interna 13.3% (6), Urgencias 13.3% (6), Quirófano 13.3% (6) y otros como Terapia intensiva, Pediatría, Cirugía y Hospitalización abarcando el 60% (27). Los turnos seleccionados para la aplicación de la prueba fueron el Matutino, Vespertino y Nocturno mostrando una misma distribución en su personal 33.3% (15) por cada uno. La variable de estudio Ansiedad estuvo presente con una mayor prevalencia en el personal de enfermería representado un 62%. A diferencia de la variable de estudio Depresión en donde el identificador indica únicamente presencia de riesgo de que el personal la padezca con un 26.7%.

Al comparar quienes tienen mayor ansiedad entre mujeres y hombres, las mujeres presentan mayor prevalencia con el 61.2%. Mientras que en la depresión no fue detectado ningún caso positivo se hace mención a ambos casos obtenidos como positivo, sin embargo, siguen siendo las mujeres quienes presentan un riesgo mayor a desarrollarlo de acuerdo a los datos mostrados. (tablas 1 y 2)

Table 1 . Nivel de ansiedad y depresión en mujeres

Sexo		
	Frecuencia	Porcentaje
Femenino	31	68.8
Total	31	68.8
Nivel de ansiedad		
Presenta	19	61.29
No presenta	4	12.9
En riesgo	8	25.81
Total	31	100
Nivel de depresión		
Presenta	0	0
No presenta	20	64.52
En riesgo	11	35.48
Total	31	100

Nota: Elaboración propia

Table 2. Nivel de ansiedad y depresión en hombres

Sexo		
	Frecuencia	Porcentaje
Masculino	14	31.11
Total	14	31.11
Nivel de ansiedad		
Presenta	9	64.28
No presenta	3	21.42
En riesgo	2	14.28
Total	14	100
Nivel de depresión		
Presenta	0	0
No presenta	13	92.86
En riesgo	1	7.14
Total	14	100

Nota: Elaboración propia

Al analizar la ansiedad y depresión entre los servicios se observó que Urgencias y Quirófano tienen la mayor prevalencia en ansiedad, ambos con 66.67%; respecto a la depresión se observa que servicios como Terapia Intensiva y Hospitalización son quienes se encuentran en riesgo de padecer algún trastorno depresivo representado con el 33.33%. (tablas 3 y 4).

Table 3. Porcentajes de ansiedad presente en el personal por servicios

	Servicios							
	Medicina Interna		Urgencias		Quirófano		Otros	
	Porcentaje	Fr/n	Porcentaje	Fr/n	Porcentaje	Fr/n	Porcentaje	Fr/n
Nivel de ansiedad								
Presenta	50%	3/6	66.67%	4/6	66.67%	4/6	62.96%	17/27
No presenta	50%	3/6	16.67%	1/6	16.67%	1/6	7.41%	2/27
En riesgo	0%	0/6	16.67%	1/6	16.67%	1/6	29.63%	8/27
Total	100%	6	100%	6	100%	6	100%	27

Nota: Elaboración propia

Table 4. Porcentajes de depresión presente en el personal por servicios

	Servicios							
	Medicina Interna		Urgencias		Quirófano		Otros	
	Porcentaje	Fr/n	Porcentaje	Fr/n	Porcentaje	Fr/n	Porcentaje	Fr/n
Nivel de depresión								
Presenta	0%	0/6	0%	0/6	0%	0/6	0%	0/27
No presenta	66.67%	4/6	100%	6/6	83.33%	5/12	66.67%	18/27
En riesgo	33.33%	2/6	0%	0/6	16.67%	1/12	33.33%	9/27
Total	100%	6	100%	6	100%	6	100%	27

Nota: Elaboración propia

Discusión

La ansiedad y la depresión forman parte de los trastornos psicológicos más frecuentes dentro de la población, y en cuanto al personal que brinda atención hospitalaria se refiere, se suele observar un alto nivel de padecimiento de trastornos psicológicos que afectan negativamente el desarrollo de sus actividades dentro de su entorno laboral.

Con el objetivo de realizar el análisis de la investigación, se puede observar que los principales trastornos del estado de ánimo que se presentan en el personal de salud además del estrés por el trabajo, mencionado por el personal entrevistado, son la ansiedad y depresión; lo que se ve de una manera parecida en estudios realizados por el Consejo Internacional de Enfermera a nivel mundial (2021).

Por otra parte, la variable de estudio Ansiedad estuvo presente con una mayor prevalencia en el personal de enfermería representado un 62%, cuyo fenómeno se ve de igual manera reflejado en el estudio Estado emocional y psicológico del personal de enfermería atacado durante la pandemia de COVID-19 en América Latina (Sánchez-De la Cruz et al., 2021), donde la alteración más denotada fue la ansiedad con una prevalencia del 29.2% de los casos.

En un estudio realizado en Perú titulado Ansiedad, estrés y depresión en enfermeros de emergencia Covid-19 el personal que trabaja en servicios de emergencia (Obando et al., 2020) se presenta una prevalencia de ansiedad del 32% en el servicio de emergencias, dato que puede ser visto de manera parecida tras el análisis de los datos del estudio, debido a que la sintomatología relacionada con la ansiedad es más frecuente en aquellos servicios donde la complejidad en la atención es mayor como lo es el servicio de urgencias.

Dentro de los casos analizados para esta variable depresión donde el indicador evidencia que no existe una prevalencia sino un riesgo del 26.7% de la muestra a tener síntomas de depresión, se nota que los principales síntomas en el personal son: dificultades para concentrarse, despertar demasiado temprano, pérdida del apetito y sentirse enlentecido; lo cual se puede observar de una manera parecida en el estudio realizado por (Nuñez-Ocman et al., 2022) en un hospital de Nuevo León, México, donde sus principales síntomas del personal para la variable depresión fueron: sentirse con poca energía, despertar demasiado temprano, dificultades para concentrarse y sentirse enlentecido.

En una comparativa con el estudio realizado por Samaniego y colaboradores (2020) comparten en sus resultados que las mujeres presentaron mayor proporción de síntomas severos de depresión, situación contraria a los resultados obtenidos en el presente estudio donde se observa que la sintomatología que con mayor frecuencia se presenta es la de ansiedad.

En cuanto a estudios con mayor similitud dentro de los resultados se encontró el realizado por Paredes (2022) titulado Niveles de ansiedad y depresión del personal de enfermería del Área COVID-19 de un hospital de Huanta, en donde se muestra que, con respecto a los niveles de ansiedad se identifica que un 72 % del personal de enfermería presenta algún indicador de sintomatología ansiosa. Por otro lado, se identificó en el personal de enfermería en cuanto al nivel de depresión que un 75.4 % no presenta depresión y el 24.7 % presenta algunos indicadores de depresión. En cuanto a los resultados de este estudio se observa que existe una prevaencia de síntomas de ansiedad del 62% en cambio al observar los resultados de la prevalencia de síntomas de depresión se muestra que el 73% del personal de enfermería no los presenta en cambio se menciona que un 27% tiene riesgos de padecer síntomas depresivos.

Partiendo de los resultados recabados en esta investigación, se obtiene como resultado que tanto las hipótesis de trabajo, investigación y nula, de la variable ansiedad, se cumplieron, al mostrar un valor más alto de acuerdo con las expectativas que se tenían al comienzo de este trabajo. En cuanto a la variable depresión, tanto la hipótesis de investigación, así como la nula, no se cumplieron, ya que el porcentaje de prevalencia fue nulo debido a que solamente existe un riesgo de padecerla.

Conclusion

El personal de salud fue el encargado de hacer frente a esta pandemia provocada por el virus SARS-Cov-2 teniendo como consecuencia el deterioro de la salud mental, es por ello, que a través del estudio realizado se cumplió con los objetivos propuestos para su implementación, en donde se logró determinar el nivel de depresión y ansiedad en el personal de enfermería y, a través de las variables sociodemográficas, se toma como hallazgo significativo que las mujeres son más susceptibles que los hombres en cuanto a la sintomatología relacionada con la ansiedad, aunado a esto, el factor relacionado al virus COVID-19 desencadenó un aumento de casos, relacionados con el estrés, insomnio, nerviosismo y preocupación que causaba dicha enfermedad referente a la prestación de atención medica e incertidumbre de la elevada tasa de transmisión.

Así mismo, se encontró que en aquellos servicios donde la complejidad en el cuidado de los pacientes es mayor (Terapia Intensiva y servicios de hospitalización) la prevalencia de casos referentes a la ansiedad aumentaba. En cuanto a la variable de depresión, a pesar de haber obtenido resultados negativos, se hace resaltar el dato de que personal perteneciente a estos mismos servicios están en riesgo significativo de padecerla.

Con la idea de proporcionar alguna solución al problema planteado en la presente investigación y haciendo uso de los datos obtenidos se propone la

creación e implementación de programas que ayuden a mejorar los aspectos psicológicos del personal de enfermería que logren fomentar una adecuada resiliencia y, con ello, proporcionar una mejor calidad de vida tanto en los pacientes como en el personal sanitario. Como consecuencia de esto se espera que sea la mejora en la salud del personal de enfermería y por ende una mejor calidad en la prestación del cuidado.

Se sugiere realizar estudios cualitativos que puedan medir estas variables de una forma más descriptiva y cercana a las características de la salud mental del personal del enfermería después de haber vivido el fenómeno de la pandemia por COVID-19.

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

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

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

Declaración para participantes humanos: Este estudio ha sido aprobado por el Comité de Investigación, así como del Comité de Bioética de la Facultad de Enfermería de la Universidad Autónoma de Querétaro, de acuerdo con lo establecido por la Ley General de Salud de la Secretaría de Salud y se han seguido los principios de la Declaración de Helsinki.

References:

1. Consejo Internacional de Enfermeras. (2021). *Actualización del consejo internacional de enfermeras sobre la covid-19*. https://www.icn.ch/system/files/2021-07/ICN_COVID-19_update_report_FINAL_SP.pdf
2. Frías, L. (2019). *Más de 264 millones padecen ansiedad a nivel mundial*. Gaceta UNAM. <https://www.gaceta.unam.mx/mas-de-264-millones-padecen-ansiedad-a-nivel-mundial/>
3. Lucas-Hernández, A., González-Rodríguez, V., López-Flores, A., Kammar-García, A., Mancilla-Galindo, J., Vera-Lastra, O., Jiménez-López, J., y Peralta Amaro, A. (2022). Estrés, ansiedad y depresión en trabajadores de salud durante la pandemia por COVID-19. *Revista Medica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 60(5), 556–562. http://revistamedica.imss.gob.mx/editorial/index.php/revista_medica/article/download/4583/4429#:~:text=El desarrollo de alteraciones mentales,situaciones de presión psicológica.

4. Nuñez-Ocman, S., López-Rentería, A., Robles, B., Montalvo-Salas, L., Rodríguez-Rivera, J., Flores-Rodarte, C., y Hernández-Cantú, E. (2022). Psicodrama como tratamiento para ansiedad y depresión en personal de salud que atiende pacientes con Covid-19, En Un Hospital De Nuevo León, México. *Revista Brasileira de Psicodrama*, 30(67), 1–12. <https://doi.org/10.1590/psicodrama.v30.491>
5. Obando, R., Arévalo-Ipanaqué, M., Aliaga, R., y Obando, M. (2020). Ansiedad, estrés y depresión en enfermeros de emergencia Covid-19. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 37(2), 327–334. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-12962020000300008
6. Organización Mundial de la Salud. (2021). *Depresión*. 1. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/depression>
7. Organización Mundial de la Salud. (2022). *Trastornos mentales*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mental-disorders>
8. Orús, A. (2020). *COVID-19: número acumulado de casos en el mundo 2020-2023*. <https://es.statista.com/acercadenosotros/nuestro-compromiso-con-la-calidad>
9. Paredes, K. (2022). Niveles de ansiedad y depresión del personal de enfermería del Área COVID-19 de un hospital de Huanta. En *Universidad Continental*. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11087>
10. Peñacoba, C., Velasco, L., Catalá, P., Gil-Almagro, F., García-Hedrerá, J., y Carmona-Monge, F. (2021). Resiliencia y ansiedad entre profesionales de unidades de cuidados intensivos durante la pandemia de COVID-19. *Nursing in Critical Care*, 26(6), 501–509. <https://doi.org/10.1111/nicc.12694>
11. Reivan-Ortiz, G., Pineda, G., y León, B. (2019). *Propiedades psicométricas de la ansiedad de Goldberg y Escala de Depresión (GADS) en Población Ecuatoriana*. 12(1), 41–48. <https://doi.org/10.21500/20112084.3745>
12. Restrepo-Martínez, M., Escobar M., Marín, L., y Restrepo, D. (2021). Prevalencia y características clínicas de los síntomas depresivos y ansiosos de los trabajadores de una institución de salud en Medellín durante la pandemia por COVID-19. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, x x, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.rcp.2021.02.001>
13. Samaniego, A., Urzúa, A., Buenahora, M., y Vera-Villarroel, P. (2020). Sintomatología asociada a trastornos de Salud Mental en trabajadores sanitarios en Paraguay: efecto COVID-19. *Revista Interamericana de Psicología/Interamerican Journal of Psychology*, 54(1), e1298. <https://doi.org/10.30849/ripij.v54i1.1298>

14. Sánchez-De la Cruz, P., González-Castro, T., Pool-García, S., López-Narváez, M., y Tovilla-Zárate, C. (2021). Estado emocional y psicológico del personal de enfermería agredido durante la pandemia de COVID-19 en Latinoamérica. *Revista Colombiana de Psiquiatria*, *xx*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.rcp.2021.08.006>
15. Torrecilla, N., Victoria, M., y Richaud, M. (2021). Ansiedad, depresión y estrés en personal de enfermería que trabaja en unidades de terapia intensiva con pacientes con COVID-19. *Rev Argent Salud Publica*, *13*(Supl. Esp.), e41 1-7. <https://www.rasp.msal.gov.ar/index.php/rasp/article/view/716/728>

Perceptions and Characterization of Local Knowledge on Soil Fertility Management by Maize Farmers in Central Benin

Codjo Jacques Houndete

Gaudence Julien Djego

Laboratoire d'Ecologie Appliquée,

Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p13](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p13)

Submitted: 18 July 2023

Accepted: 24 August 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Houndete C.J. & Djego G.J. (2023). *Perceptions and Characterization of Local Knowledge on Soil Fertility Management by Maize Farmers in Central Benin*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 13. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p13>

Abstract

The problem of soil fertility leads farmers, according to their perception, to practice local and or introduced methods to manage the productivity of their farm. This study aimed to document local knowledge on soil fertility management by maize farmers in central Benin. A semi-structured survey was used to collect information from 1248 maize farmers in six communes in central Benin. The data were analyzed using descriptive statistics and multivariate analysis. Results showed that farmers consider declining soil fertility as one of the major constraints to maize production. About 45% of the farmers surveyed linked declining soil fertility to unsuitable fertilization practices. Maize farmers' soil fertility management methods are mainly based on synthetic chemical fertilizers such as urea (46%), NPK (15-15-15), NPKSB (14-23-14-5-1) and NPKSBZn (13-17-17-0.5-2.5) and Triple Superphosphate (45% P₂O₅). The application rates differed according to the type of fertilizer. Socio-demographic characteristics such as area planted, age, experience in maize production, membership in a farmer's organization, level of education, gender and income level of the farmer significantly determine the type of soil fertility management method practiced. These factors should be taken into account by extension programs.

Keywords: Fertilizer, maize farming, agroecology, soil fertility

1- Introduction

Food and nutrition security is a major concern in Africa and a fundamental challenge to human well-being and economic growth (Bationo *et al.*, 2007). Low agricultural production results in low incomes, poor nutrition, vulnerability to risks and lack of self-reliance. This is the result of a combination of factors including declining soil fertility due to poor agricultural practices and climate change (Houndété *et al.*, 2020). Indeed, strategic crops for food security such as maize are the most impacted (Akplo, 2020).

In Benin, the strong anthropization of natural environments, overexploitation of land and unsustainable agricultural practices have contributed to profound changes in agricultural production. These changes have led to accentuated soil degradation (Azontondé *et al.*, 2016). The level of degradation varies across agro-ecological zones but is more pronounced in the South and North where agro-demographic pressure on land is high to meet the needs of growing populations. Farming systems in Benin are based on family farms (Houinsou, 2013) and are characterized by a reduction in the length of fallow periods without other measures to restore nutrients used by previous crops (Saïdou *et al.*, 2018). The soil is exploited without any input of organic and or mineral fertilizers (Houinsou, 2013). Saïdou *et al.* (2003) revealed negative balances of 28 and 11 kg.ha⁻¹ for nitrogen and potassium, respectively, on the plateaus of southern Benin.

Farmers' understanding of these constraints varies from one individual to another, but also from one environment to another (Doumde *et al.*, 2003). The study conducted by Gnangle *et al.* (2011) on climate change indicates a variation in local perceptions depending on the socio-cultural categories of the farmers. However, farmers are putting in place different coping systems to deal with these problems (Vodounou and Doubogan, 2016). These include, for example, the agroforestry system, minimum tillage, crop association, the practice of mulching, the use of plants that improve soil fertility, and the use of organic matter such as compost, manure, and crop residues (Igué *et al.*, 2013). The study conducted by Agossou *et al.* (2012) revealed that the measures adopted by producers in southern and central Benin in the face of constraints are the change of the cropping calendar and technical itineraries, a modification of associations/rotations, the introduction of new crops and varieties, the intensification of the use of mineral fertilizers, etc. These practices developed by the latter are the result of their experiences and realities.

Endogenous knowledge is not abstract like scientific knowledge, it is concrete, strongly linked to intuition, historical experiences and directly perceivable and evident (Farrington and Martin, 1987). The perception of maize farmers with respect to declining soil fertility and the capitalization of

farmer' practices in the face of these constraints become necessary. This study focused on maize farmers' perception of declining soil fertility and on capitalizing on farmers' knowledge of soil fertility management practices used in central Benin.

2- Methodology

2-1- Survey methodology

To better appreciate the perception of maize farmers on the decline in soil fertility, an exploratory survey was conducted to determine the sample size. This exploratory survey was conducted in the Collines and Zou departments (Figure 1). The choice of these departments is justified by the fact that the level of land degradation in these areas is around 60 to 70% (Azontondé *et al.*, 2016). In the Collines department, the survey was conducted in the Communes of Savalou, Glazoué, Bantè, and Ouessè, while in Zou, this exploratory survey was conducted in the Communes of Djidja and Zogbodomey.

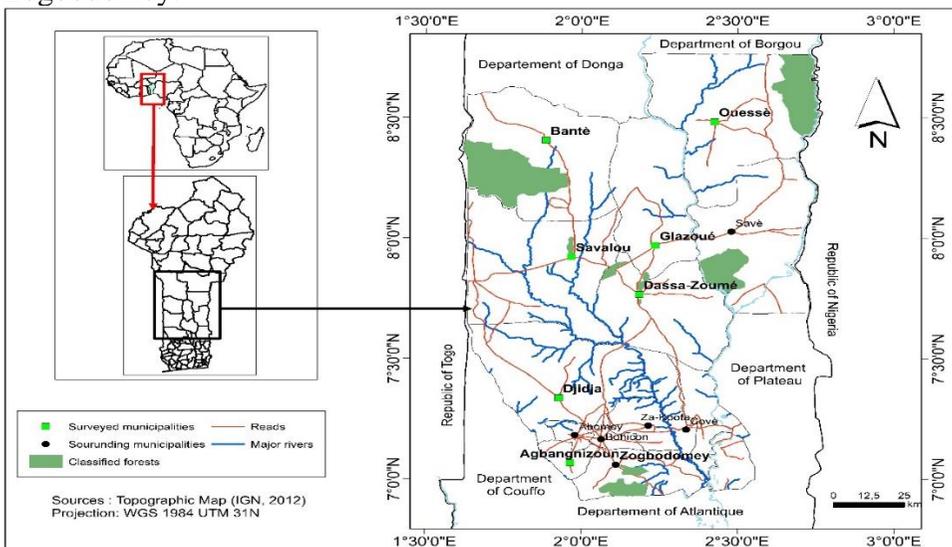


Figure 1. Location of surveyed communes in the different Agroecological Zones (AEZ)

In each commune, 40 maize farmers were interviewed using a semi-structured questionnaire. The number of farmers surveyed was determined by the formula of Dagnelie (1998):

$$n = \frac{U_{1-\alpha/2}^2 \times P(1 - P)}{d^2}$$

Where n is the size of the sample considered, P is the proportion of people who mentioned the decline in soil fertility as a constraint to maize

production ($P= 0.94$), $U1-\alpha/2$ is the 95% confidence level (typical value of 1.96); d is the 5% margin of error (typical value of 0.05)

At the end of the exploratory survey, the determination of the sample size made it possible to survey a total of 1248 farmers, i.e., 127, 236, 193, 218, 231 and 243 farmers in the Communes of Bantè, Djidja, Glazoué, Ouessè, Savalou and Zogbodomey, respectively. These farmers were selected randomly throughout each of the Communes.

Based on the questionnaire and focus group, data were collected from a representative sample of farmers and resource people (extension agents and NGOs). In addition to socioeconomic characteristics, the questionnaire collected data on maize production constraints in the study area and soil fertility management methods used by maize farmers.

2-2- Data analysis

In order to assess the relationship between farmers' perceptions of the causes of soil fertility decline and their socioeconomic characteristics, the collected data were subjected to a Chi-square test of dependence. The relationship between the socioeconomic characteristics of the respondents and the different soil fertility management methods was analyzed through a Factorial Component Analysis (FCA). The FCA was performed with the FactoMineR package of R software version 4.2.1.

3- Results

3-1- Characteristics of the respondents

Descriptive statistics on the socio-economic characteristics of the selected farmers are presented in Table 1. It was found that the sample is predominantly male (89.8%) and married (99.41%). The most represented age group is the adult class (30-60 years). The majority of respondents were selected from the Collines department. The number of years of experience of respondents in maize cultivation varied from 1 to 30 years, and those who were very experienced (> 10 years of experience) were the most represented. Only 6% of respondents do not belong to any farmer organization. In terms of educational level, a large proportion of farmers do not have access to formal schooling. Most of the farmers surveyed have a low level of income.

Table 1. Characteristics of respondents

Characteristics	Modalities	N	Frequency (%)
Sex	Male	1696	89.80
	Female	193	10.20
Matrimonial status	Single	11	1,00
	Maried	1880	99,00
Age	Young (<30 years)	151	8.00
	Adult (30-60 years)	1648	87.20

	Old (> 60 years)	90	4.80
Departments	COLLINES	1164	61.60
	ZOU	725	38.40
Experience in maize cultivation	Very experienced (> 10 years)	1303	69.00
	Experienced (5-10 years)	372	19.70
	Little experienced (2-5 years)	190	10.10
	Very inexperienced (1-2 years)	24	1.30
Membership in OP	Yes	1776	94.00
	No	113	6.00
Level of education	Uninstructed	1588	84.10
	Primary	165	8.70
	Secondary	60	3.20
	University	76	4.00
Income level	High	130	7
	Medium	525	28
	Low	1234	65

3-2- Constraints in maize production

Maize producers face several problems during production. The decline in soil fertility remains one of the major problems recorded in all the Communes surveyed (Figure 2). More than 96% of producers mentioned this constraint in all the Communes surveyed.

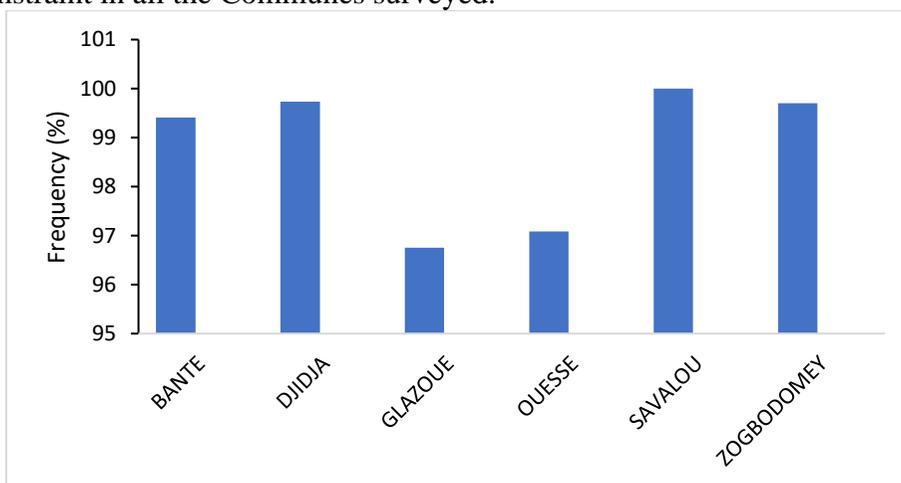


Figure 2. Producers facing declining soil fertility by Commune surveyed

Soil fertility management methods

3-3- Farmers' perception of the causes of the decline in soil fertility.

The causes of the decline in soil fertility are assessed in different ways by the farmers (Figure 3). In fact, 45% of respondents linked the decline in soil fertility to poor fertilization practices. Monoculture, export of residues, or

burning of residues in agricultural plots had citation frequencies above 10%. Causes such as poor tillage practices and water erosion were cited less frequently than others.

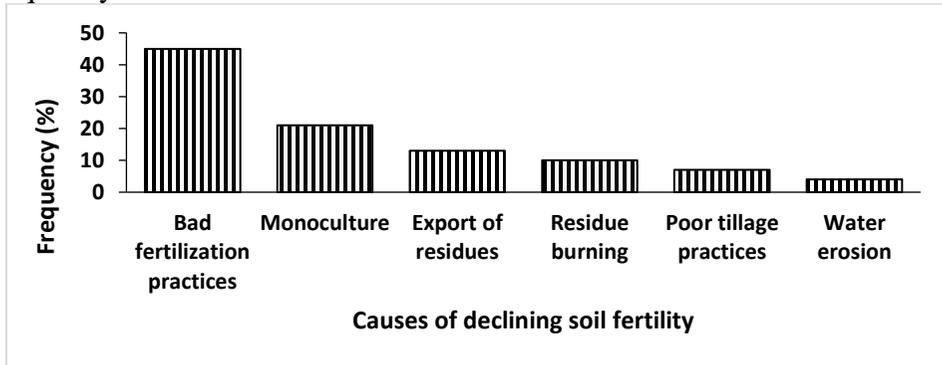


Figure 3. Cultivation practices causing the decline in soil fertility

Farmers' perceptions of the causes of declining soil fertility vary significantly according to the socio-demographic characteristics of the respondents (Table 2). Age, experience in maize production, membership in a farmer organization and level of education significantly determine farmers' perceptions.

Table 2. Determinants of maize farmers' perceptions of declining soil fertility

Determinants	Chi-square	Probability ($\alpha=0.05$)
Gender of respondents	3,543	0,234ns
Marital status	2,345	0,453ns
Age of respondents	8,546	0,0064*
Experience in maize cultivation	18,545	<0,0001***
Membership in a farmer organization	42,456	<0,0001***
Level of education	22,456	<0,0001***
Income level	2,236	0,345ns

ns: no significant; *: Significant at 5% level ($\alpha = 5\%$); ***: Significant at 0.1% level ($\alpha = 0.1\%$)

3-4- Practices used for soil fertility management by maize farmers

A total of ten (10) soil fertility management practices were cited by the maize producers surveyed (Figure 4). The use of simple or complete chemical fertilizers was the most cited practice and was adopted by almost all the respondents. Crop rotation or association with leguminous seeds such as cowpea (*Vigna unguiculata*), soybean (*Glycine max*) or groundnut (*Arachis hypogea*) are used quite a bit for soil fertility management in maize production in the study area. The use of organic fertilizers (biochar, compost and manure), the practice of fallowing, rotation with leguminous cover crops (*Mucuna*, *Aschynomene*), the burial of crop residues and the use of biofertilizers are uncommon practices in maize production in the study area.

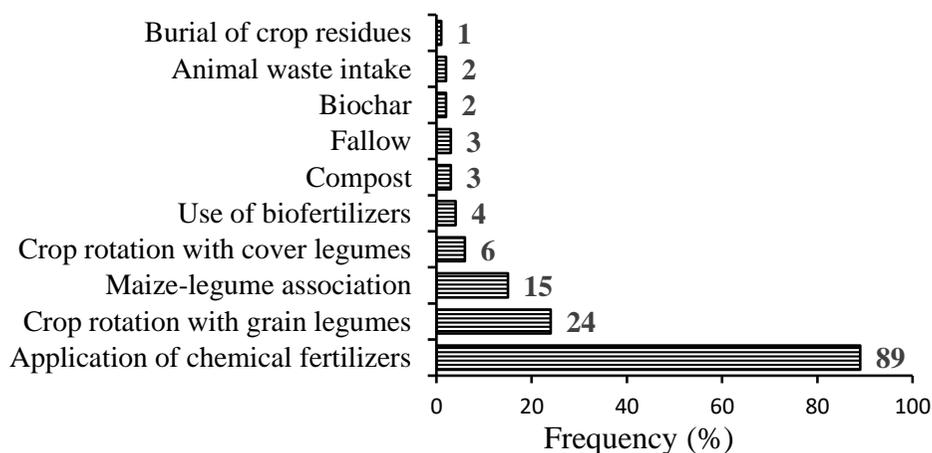


Figure 4. Soil fertility management practices used by maize farmers

The fertilizers used by maize farmers are summarized in Table 3. The fertilizers used can be grouped into two categories: synthetic chemical fertilizers and biofertilizers. Chemical fertilizers are represented by urea (46% N), Triple Superphosphate (45% P₂O₅), Katrium chloride (60% K₂O), and NPK complete fertilizers. Synthetic chemical fertilizers, particularly urea, are used by almost all respondents. The doses, timing and method of application differ from one fertilizer to another. Application rates vary from 50 to 100 kg/ha for urea and Katrium chloride, and from 100 to 200 kg/ha for NPK (15-15-15), NPKSB (14-23-14-5-1) and NPKSBZn (13-17-17-0.5-2.5). The reported application rates for Triple Superphosphate (45% P₂O₅) range from 50 to 200 kg/ha. With the exception of urea, which is applied in split doses (15th and 45th day after sowing), the other synthetic chemical fertilizers are applied in single doses between 15 and 30 days after sowing in closed stacks. The biofertilizer is represented by the liquid fertilizer "Super Gro" which is applied by foliar application at the dose of 10 l/ha (half at 15 days after sowing and the second half at 45 days after sowing).

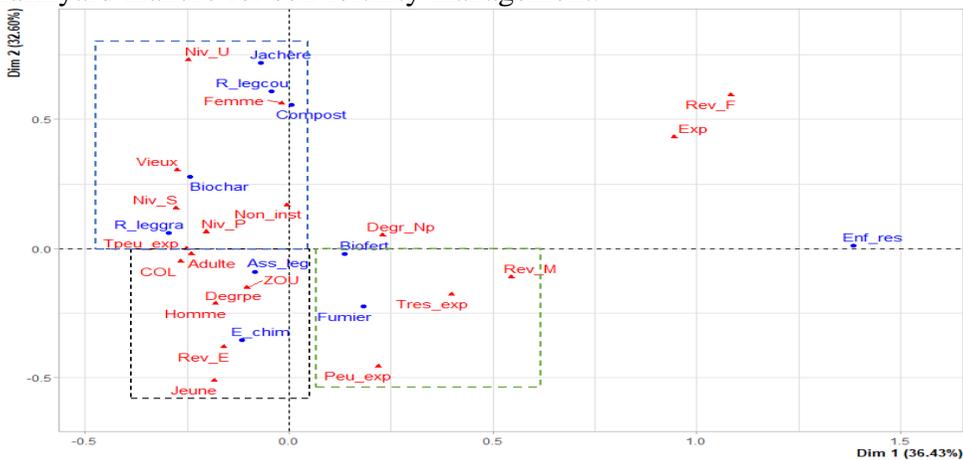
Table 3. Types, doses, periods and modes of application of fertilizers for maize production in the study area

Fertilizers	Frequen cy (%)	Application rates (kg,ha ⁻¹)	Application periods (DAS*)	Application methods
Urea (46%N)	95	50 à 100	15 & 45	Closed poquet
Superphosphate Triple (45% P ₂ O ₅)	70	50 à 200	15-30	Closed poquet
NPK (15-15-15)	60	100 à 200	15-30	Closed poquet
Katrium chloride (60% K ₂ O)	40	50 à 100	15-30	Closed poquet

NPKSB (14-23-14-5-1)	32	100 à 200	15-30	Closed poquet
NPKSBZn (13-17-17-0,5-2,5)	20	100 à 200	15-30	Closed poquet
Super Gro (liquid biofertilizer)	12	10 l/ha	15 & 45	Foliar application

*DAS : Days After Sowing

Figure 5 illustrates the component factor analysis performed to understand the relationship between the characteristics of the farmers surveyed and soil fertility management practices. The first two axes capture 69.03% of the information in the original matrix. Older farmers; farmers with secondary, primary or no education and farmers with very little experience in maize production preferentially use biochar and maize rotation with seed legumes. Farmers with a university education and women preferentially adopt compost, fallow, and rotation with cover legumes. Adults and youth, men, farmers with high income levels, and those who already perceive declining soil fertility use the combination of maize with seed legumes and synthetic chemical fertilizers. Farmers with a medium income level, those with little experience, and those with a lot of experience prefer to use biofertilizers and farmyard manure for soil fertility management.



Non_inst : not educated *Niv_P* : primary level ; *Niv_Sec* : secondary level *Niv_U* : university level ; *Niv_S* : higher level *R_legcou* : rotation with cover legumes ; *R_leggra* : rotation with seed legumes ; *Ass_leg* : association with legumes ; *E_chim* : chemical fertilizers ; *Biofert* : biofertilizers; *Enf_res*: residue burial; *Rev_E*: high income; *Rev_M*: medium income; *Rev_F*: low income; *Tpeu_exp*: very little experienced; *Tres_exp*: very experienced; *Peu_exp*: little experienced; *Exp* experienced; *Degrpe*: perceived soil degradation; *Zou*: Department of Zou *COL*: Department of the Hills. *Biochar*: by-product of biomass pyrolysis

Figure 5. Projection of soil fertility management practices and socio-demographic characteristics on the factorial components

4- Discussion

The results showed that maize farmers consider declining soil fertility as one of the major constraints to maize production and use a variety of soil fertility management approaches. These include the use of synthetic chemical fertilizers, the use of biofertilizers, maize-cover legume or seed legume rotation, maize-cover legume or seed legume combination. Although some of these practices are environmentally friendly, the majority of farmers surveyed use chemical fertilizers. These results confirm those of Kouelo (2016) who observed that farmers rely heavily on chemical fertilizers such as NPK and urea to control declining soil fertility in southern Benin. This abandonment of sustainable soil fertility maintenance practices is certainly due to increasing food demand (Mukendi *et al.*, 2017). Traditional crop rotation systems have evolved into a monoculture system where maize is grown all year or several years on the same plots. According to Abebe (1998) cited by Bahilu *et al.*, (2016), other challenges of soil fertility decline in Ethiopia are related to cultural cropping practices such as traditional cultivation, removal of vegetative cover (such as straw or stubble), burning plant residues as practiced under the traditional system of crop production or the annual burning of vegetation on grazing lands. This change in production system is certainly one of the main causes of the advanced state of land degradation in Sub-Saharan Africa (Bationo *et al.*, 2006) and in Benin (Azontondé *et al.*, 2016). The results of the present study showed that some socio-economic characteristics such as the area planted, age, experience in maize production, membership in a farmer organization, level of education and income level of the farmer significantly influence the type of soil fertility management method. Significant relationships which existed between some selected socio-economic characteristics and farmers' perception point to the fact that, the main solution to the problem of soil fertility decline lies in the behaviour of the farmer who is subject to economic and social pressures of immediate environment (Adeola, 2010). The positive influence of age was demonstrated by Mango *et al.* (2017) and Fikru (2009). However, Ngondjeb *et al.* (2011) found that household age is negatively correlated with the adoption of new technologies in agriculture. Our results demonstrate that literacy and education are key pillars that increase farmers' predisposition to accept and adopt agricultural technologies such as soil fertility management methods. Such conclusions were made by Brett (2004). Furthermore, the preferential adoption of soil regeneration by the literate and those with advanced education is indicative of the fact that these practices require an appreciation of the technology that access to education has enabled them to have. We found a significant positive correlation between membership in a farmer organization and adoption of at least one soil fertility management method. This observation justifies the fact that within farmers' organizations, farmers

exchange their own experiences with each other and are well informed about different technological innovations (Nyangena & Juma, 2014). Membership of social organization had positive relationship with farmers' perception suggesting that membership of such groups could enable members to be exposed to information on soil management practices. Similar findings have been reported. Kouelo *et al.*, 2015 reported that membership of a farmer organization is a significant determining factor of the causes of soil fertility in the southern villages of Benin. Access to extension contact which had positive relationship with farmers' perception, also indicate the importance of extension to rural farmers (Mwakubo *et al.*, 2006 cited by Adeola, 2012).

Conclusion

The objective of this study was to inventory local knowledge on soil fertility management by maize farmers in central Benin. The results showed that maize farmers consider the decline in soil fertility as one of the major constraints to maize production. They mostly use synthetic chemical fertilizers to manage their soil fertility to the detriment of organic or biological methods that are sustainable. Also, it was found that socio-economic characteristics can influence the choice of a soil fertility management method. Therefore, the results of this research suggest that: (a) extension of agricultural technologies including fertility management methods should take these factors into account and (b) policy makers should encourage technical supervision, literacy and training of farmers.

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

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

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

References:

1. Abebe M (1998). Nature and management of Ethiopian soils. Alemaya University of Agriculture, Ethiopia. 272 p.
2. Adeola, R. G. (2010). Influence of Socio-Economic Factors on the Adoption of Soil Conservation Measures in Ibadan/Ibarapa Agricultural Zone of Oyo State. Report 2 (7): 42 – 47.
3. Adeola, R. G. (2012). Farmers' perception of soil fertility decline under yam production in Oyo state, Nigeria. *Continental J. Agricultural Science* 6 (2): 38 – 47, doi:10.5707/cjagricsci.2012.6.2.38.47
4. Agossou D. S. M., Tossou C. R., Vissoh V. P., Agbossou K.E. (2012). Perception des perturbations climatiques, savoirs locaux et stratégies

- d'adaptation des producteurs agricoles béninois. *African Crop Science Journal*, 20 (2): 565-588
5. Akplo T.M. (2020). Evaluation de l'efficacité des pratiques de lutte contre l'érosion hydrique du sol et leur influence sur la productivité du maïs dans le bassin versant du Zou, Bénin. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 231 pages.
 6. Azontondé H.A., Igué A.M., Dagbénonbakin G. (2016). La carte de fertilité des sols du Bénin par zone agroécologique du Bénin. Rapport final. 139p.
 7. Bahilu B., Mulugeta I. and Alemayehu R. (2016). Farmers perception on soil fertility status of smallscale farming system in southwestern Ethiopia. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, Vol. 7(9), pp. 143-153, DOI: 10.5897/JSSEM2016.0577.
 8. Bationo A, Hartemink A, Lungu O, Naimi M, Okoth P, Smaling E, Thiombiano L. (2006). African soils: their productivity and profitability of fertilizer use, In: *Proceedings of the African Fertilizer Summit*. June 9–13, 2006, Abuja, Nigeria, 29.
 9. Bationo A., Waswa B., Kihara J., Kimetu J. (Eds) (2007). *Advances in Integrated Soil Fertility Management in sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities*. 1051p. Springer, The Netherlands.
 10. Brett C. (2004). Farm level adoption decisions of soil water management technologies in semi-arid Eastern Kenya. 48th Annu. Conf. Australian Agricultural and Resource Economics Society, 11-13 February, 2004, Melbourne, Australian.
 11. Dagnelie P. (1998). *Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : Inférences statistiques à une et deux dimensions*. De Boeck et Larcier, Paris-Bruxelles, France Belgique. 659p.
 12. Doumde M. (2003). Evolution des conditions paysannes de production du coton au sud du Tchad et ses conséquences sur les stratégies des paysans.
 13. Farrington J., Martin N. (1987). *Farmer participatory research: A review of concepts and practices*. ODI Discussion Paper No. 19. London: Overseas Development Institute.
 14. Gnanglè, C. P., Kakai, R. G., Assogbadjo, A. E., Vodounnon, S., Yabi, J. A., Sokpon, N. (2011). Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin. *Climatologie*, 8, 27-40.
 15. Houinsou B.M. (2013). Etude des huit zones agroécologiques du Bénin : Caractéristiques de la zone des terres de barre, ALDPIDE 53-57.

16. Houndété C. J., Assongba Y. F., Yoka J., Djego J. Importance de l'association de cultures face aux variabilités climatiques dans les collines au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 150, 15419-15433.
17. Igué A. M., Saïdou A., Adjanohoun A., Ezui G., Attiogbe P., Kpagbin G., Gotoechan-Hodonou H., Youl S., Pare T., Balogoun I., Ouedraogo J., Dossa E., Mando A., Sogbedji J. M. (2013). Evaluation de la fertilité des sols au sud et centre du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, Numéro spécial, 23p.
18. Kouelo A.F. (2016). Effets des pratiques culturales sur la dégradation du sol au niveau des trois bassins versants du sud Bénin. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Universités d'Abomey-Calavi, Bénin, 239p.
19. Kouelo F.A., Hounngandan P., Azontondé H.A., Dedehouanou H., Gangnon S.O.A. (2015). Farmers' Perception on Soil Degradation and Their Socioeconomic Determinants in Three Watersheds of Southern Benin. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 5 (22): 29-39.
20. Mango N., Makate C., Tamene L., Mponela P., Ndengu G. (2017). Awareness and adoption of land, soil and water conservation practices in the Chinyanja Triangle, Southern Africa. *International Soil and Water Conservation Research*, 5, 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.04.003>
21. Mukendi R. T., Mutamba B. T., Kabongo D. M., Longanza L. B., Munyuli T. M. (2017). Amélioration du sol dégradé par l'apport d'engrais inorganique, organiques et évaluation de rendement du maïs (*Zea mays* L.) dans la province de Lomami, République Démocratique du Congo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(2): 816-827. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.23>.
22. Nyangena, W., Juma, O.M. (2014). *Impact of improved farm technologies on yields: the case of improved maize varieties and inorganic fertilizer in Kenya*. Environment for development. Discussion paper series. Nairobi, Kenya.
23. Saïdou A., Balogoun I., Koné B., Gnganglè C.P., Aho N. (2012). Effet d'un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* c.f. gaertn) sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea mays* L.) en zone Soudanienne du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6 (5): 2066-2082.
24. Saïdou A., Mando A., Balogoun I., Ahoton E. L., Igué A. M., Youl S., Ezui G. (2018). Fertilizer recommendations for maize production in the South Sudan and Sudano-Guinean zones of Benin. *Nutr Cycl Agro ecosyst.* 110 :361–373. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9902-6>
25. Saïdou A., Janssen B. H., Temminghoff E. J. M. (2003). Effects of soils properties, mulch and NPK fertilizer on maize yields and nutrient

budgets on ferralitic soil in Southern Benin. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 100, 265–273.

26. Vodounou K. B. J., Doubogan O. Y. (2016). Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin. *Cybergeog: European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 794, mis en ligne le 15 novembre 2016, consulté le 19 août 2022. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeog/27836> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeog.27836>.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Influence Physico-Chimique des Eaux d'Irrigation sur les Terrains Maraîchers des Niayes : Cas du Gandiolais

Mar Gaye

Doctorant, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Ecole Doctorale Eau
Qualité et Usage de l'Eau, Laboratoire LEIDI
(Dynamique des Territoires et Développement)

Souleymane Niang

Enseignant chercheur, Environnementaliste,
Université Amadou Mokhtar Mbow de Diamniadio, Senegal

Cheikh Ahmed Tidiane Faye

Enseignant chercheur, Géomorphologie,
Université Cheikh Anta de Dakar, Senegal

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p26](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p26)

Submitted: 03 August 2023

Accepted: 18 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Gaye M., Niang S. & Tidiane Faye C.A. (2023). *Influence Physico-Chimique des Eaux d'Irrigation sur les Terrains Maraîchers des Niayes : Cas du Gandiolais*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 26. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p26>

Résumé

Situé au sud de Saint-Louis, le Gandiolais accueille la limite nord de la zone humide des Niayes. Actuellement, les eaux d'irrigation et les formations morpho-pédologiques du Gandiolais sont soumises en un processus de dégradation accrue de leurs propriétés physico-chimiques. Le phénomène a été en partie accéléré par les actions anthropiques à travers l'ouverture de la brèche sur la Langue de Barbarie 2003. L'objectif de cette contribution est d'analyser les processus de dégradation de la qualité des eaux d'irrigation et des terres réservées au maraîchage dans le Gandiolais. La démarche méthodologique adoptée consiste d'abord, à prélever des échantillons de sols sur les dunes et les dépressions sur les trois générations de dunes existantes (dunes blanches littorales, dunes jaunes semi-fixées et dunes rouges continentales, les Niayes et les Ndioukis) afin de déterminer les variations spatiales et saisonnières (saison sèche et hivernage) de la Ce, du pH et des bases échangeables ; ensuite, à faire des mesures in situ des eaux de puits et de forages sur les mêmes générations de dunes à l'aide du pH-mètre

et d'un conductimètre. Les mesures directes des eaux d'irrigation permettent d'apprécier la variation saisonnière du niveau acido-basique et de salinité en saison sèche comme en hivernage. L'analyse des résultats montrent que les eaux souterraines et les sols développent une salinité à caractère acido-basique plus élevés du littoral vers le continent. La conductivité électrique se distribue de 3999 à 256 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ avec aussi un pH dégradant de 9,19 à 5,86 des dunes blanches littorales vers les dunes continentales. La nature du pH des unités morphopédologiques montre qu'elles adoptent un caractère alcalin à légèrement acide du littoral vers le continent et de la surface vers la profondeur. Leur capacité d'échange cationique reste généralement faible.

Mots-clés: Variabilité, physico-chimiques, eaux d'irrigation, Niayes, dunes, Gandiolais

Monitoring the Spatio-Temporal Variability of the Physico-Chemical Properties of Irrigation Water and Farmland in the Niayes of Gandiolais between May and October 2021

Mar Gaye

Doctorant, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Ecole Doctorale Eau
Qualité et Usage de l'Eau, Laboratoire LEIDI
(Dynamique des Territoires et Développement)

Souleymane Niang

Enseignant chercheur, Environnementaliste,
Université Amadou Mokhtar Mbow de Diamniadio, Senegal

Cheikh Ahmed Tidiane Faye

Enseignant chercheur, Géomorphologie,
Université Cheikh Anta de Dakar, Senegal

Abstract

Located to the south of Saint-Louis, Gandiolais forms the northern boundary of the Niayes wetlands. Currently, the irrigation water and morphopedological formations of the Gandiolais are undergoing a process of increased degradation of their physico-chemical properties. The phenomenon has been partly accelerated by anthropic actions through the opening of the Langue de Barbarie breach in 2003. The aim of this contribution is to analyze the degradation processes affecting the quality of irrigation water and land used for market gardening in the Gandiolais region. The methodological approach adopted consists firstly in taking soil samples from dunes and depressions on the three existing generations of dunes (coastal white dunes,

semi-fixed yellow dunes and continental red dunes, the Niayes and the Ndioukis) in order to determine spatial and seasonal variations (dry season and wintering) in Ce, pH and exchangeable bases; secondly, to carry out in situ measurements of well and borehole water on the same generations of dunes, using a pH meter and a conductivity meter. Direct measurements of irrigation water allow us to assess seasonal variations in acid-base and salinity levels in both dry and wet seasons. The results show that groundwater and soils develop a higher acid-base salinity from the coast to the mainland. Electrical conductivity ranges from 3999 to 256 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, with a pH gradient from 9.19 to 5.86 from coastal to continental white dunes. The pH of morphopedological units shows that they adopt an alkaline to slightly acidic character from coastal to continental and from surface to depth. Their cation exchange capacity remains generally low.

Keywords: Variability, physico-chemical, irrigation water, Niayes, Gandiolais

1. Introduction :

La dégradation des terres est un fléau de portée mondiale. Elle constitue l'un des défis écologiques de la planète et menace gravement la production agricole. En 1990, 10,3 millions de km^2 soit 20% des terres étaient dégradées au niveau mondial, Roose, (2015). Selon le rapport d'ELD (Economie of Land Degradation), (2016), chaque année 12 millions d'ha de terre sont perdus dans le monde. En Afrique, le problème de la dégradation des terres demeure une préoccupation majeure pour le développement économique. Jimbira et Hathie, (2020), 75% à 80% de la superficie cultivée dans le continent serait dégradée avec une perte de 30 à 60 kg de nutriment par ha par an. L'UNCCD, (2013) estime ces pertes de 494 millions d'ha sur 2966 millions d'ha que constitue la superficie totale de l'Afrique. A l'échelle du Sénégal, la dégradation des terres amplifiées par les changements climatiques concerne près de 2/3 des terres arables, soit 2,5 millions d'ha sur 38050000 ha, BM, (2009), Centre Foret, (2016) dont 1510000 ha par érosion hydrique, 645000 ha par salinité et 287000 ha par érosion éolienne. La zone des Niayes plus particulièrement au niveau du Gandiolais subit des phénomènes de dégradation en qualité comme en quantité des eaux douces et des sols.

La commune de Ndiébène Gandiol s'étend entre la latitude 15°47' et 15°57' et la longitude 16°33' et 16°23'. Elle appartient sur le plan administratif à la région de Saint-Louis et du département du même nom. Reposant sur trois générations de dune à savoir les dunes rouges ogoliennes, les dunes jaunes semi-fixées et les dunes blanches ou dunes vives, elle abrite aussi la section terminale de la région naturelle des *Niayes*. A l'arrière des

dunes littorales semi-fixées, s'égrène le chapelet des dépressions marécageuses appelées *Niayes*, Sy, (2013). Présentes tout au long de la Côte nord, elles occupent une superficie de 2000 km² environ, correspondant à une bande longue de 135 km et large au maximum de 35 km. Ce sont des dépressions interdunaires dont le fond est occupé par la nappe phréatique, subaffleurante (Blouin, 1990) in Sy, *et al.* (2013). Actuellement le potentiel hydroagricole des Niayes du Gandiolais est affecté par la remontée vers l'hinterland du biseau salé. Occasionné par les actions anthropiques dont les aménagements agricoles du bas -delta, la dynamique migratrice de la brèche ouverte sur la Langue de Barbarie en 2003, le phénomène de dégradation en qualité et en quantité des réserves d'eau douce et des terres agricoles impacte progressivement les rendements du maraîchage du littoral vers le continent. Ainsi aux abords du littoral, Kane, (2010) a enregistré des taux de salinité très élevés en 2006 et 2007, soit plus de 36 et 46g/l. Or plus de 96% des exploitations familiales irriguent leurs parcelles à partir de cette réserve souterraine. Niang, (2017) la tendance alcaline des sols depuis 2003 est particulièrement liée à l'irrigation avec une eau basique. D'ailleurs, la contamination progressive du littoral vers le continent de la lentille d'eau douce et à la fois des formations morpho-pédologiques entraîne des phénomènes d'abandon de parcelles agricoles et puits d'irrigation.

Dans cette logique, cette contribution vise à caractériser la variation saisonnière des propriétés physico-chimiques des eaux d'irrigation et des sols. Le travail consiste d'abord, à prélever des échantillons de sols sur les trois générations de dunes existantes et sur leurs couloirs afin d'analyser les teneurs de la CE, du pH et des bases échangeables au laboratoire. Ensuite, il s'agit de faire des mesures directes des taux de salinité et du potentiel hydrogène des eaux d'irrigation du Gandiolais.

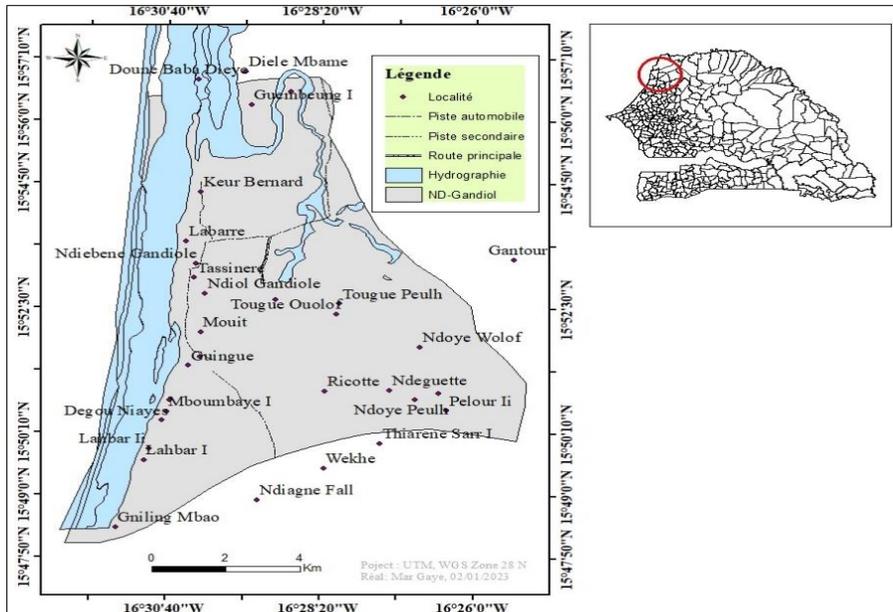


Figure 1. Localisation de la commune de Ndiébène Gandiolais

2. Méthodologie :

L'approche méthodologique consiste à déterminer les variabilités spatio-temporelles des propriétés physico-chimiques des sols et des eaux d'irrigation du Gandiolais en saison sèche et en hivernage.

2.1. Suivi des paramètres physico-chimiques des sols du Gandiolais

L'étude de l'évolution de la qualité des sols du Gandiolais passe par la détermination des taux de salinité à travers le suivi de la CE (conductivité électrique), du potentiel acido-basique (pH), de la MO (matière organique), du C (carbone) et de la CEC (capacité d'échange cationique) avec la détermination des propriétés comme (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na) des sols. L'analyse de ces paramètres physico-chimique suivis permet de caractériser leur variation spatio-temporelle. Le protocole consiste à collecter des échantillons de sols sur trois transects dans le Gandiolais:

- transect 1 (villages côtiers): correspond aux villages situés dans le système des dunes blanches et les villages situés à l'entrée de la commune: Bountou Ndour, Mboumbaye, Gadga Lahrar ;
- transect 2 (zone centre): concerne les villages situés sur les dunes semi-fixées: Toug Peulh, Rimbakh Gandiol et Gouye Reine ;
- transect 3: correspond aux villages de la zone continentale gandiolaïse (dans les dunes rouges): Gantour, Ndoye Diagne, Pelour.

De ce fait, un total de 40 échantillons a été récolté en surface de 0 à 15 cm et en profondeur de 15 et 30 cm en saison sèche (mai 2021) et en hivernage (octobre 2021), fig.2.

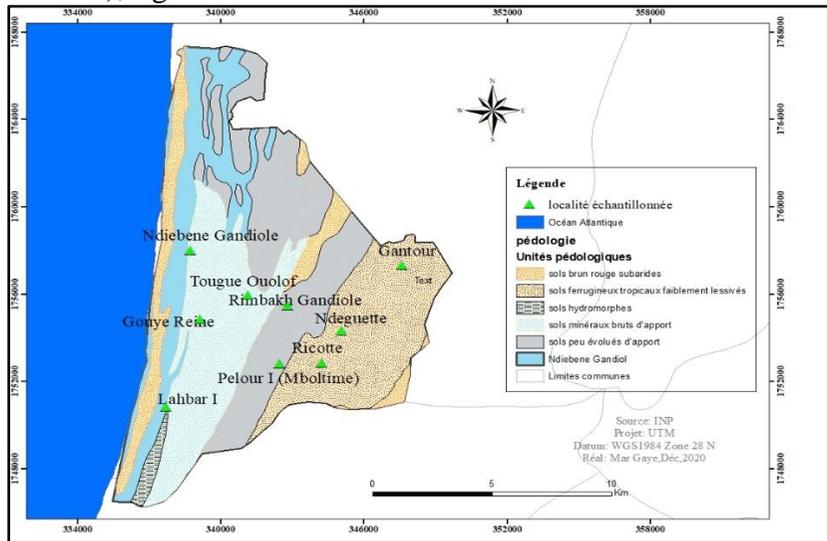


Figure 2. Localités échantillonnées

Les propriétés physico-chimiques de ces échantillons de sols ainsi récoltés ont déterminé au laboratoire de l'ISRA (Institut de Recherches Agricoles) de Saint-Louis dont les marges d'erreurs n'ont pas été fournies.

2.1.1. Méthode de détermination des paramètres étudiés au laboratoire

- **Dosage du pH**

La mesure du pH est réalisée à partir de suspension de sol avec un rapport sol-eau de 2/5. Le protocole consiste à mettre 20 g de terre non broyée et 50 ml d'eau distillée et une solution de pH neutre pour stabiliser la mesure. Puis, on agite à l'aide d'un agitateur électrique pendant 1 minute. Après agitation, on laisse le mélange se refroidir. Pour étalonner le pH-mètre, on plonge l'électrode dans le liquide surnageant et on effectue la mesure. Les normes suivantes (Tabl.1) permettent l'interprétation des valeurs de pH de sols obtenues.

Tableau 1. Les normes d'interprétation du statut acido-basique des sols

Degré	Extrêmement acide	Très acide	Acide	Modérément acide	Légèrement acide	Neutre	Légèrement alcalin	Alcalin	Très alcalin
pH	<4,5	4,6 - 5,2	5,3 - 5,5	5,6 - 6,0	6,1 - 6,6	6,7-7,2	7,3 - 7,9	8,0 - 8,5	>8,5

Source : bureau pédologique du Sénégal (1992)

- **Mesure de la conductivité électrique (CE)**

La conductivité électrique (CE) est un indice des teneurs en sels solubles dans la solution du sol, elle exprime la concentration des solutés ionisables. La détermination de la salinité se fait sur l'extrait sol/eau (rapport = 1/10). On met 30 g de terre sur 150 ml d'eau distillée. Puis on agite pendant 20mn à l'agitateur électrique. Après agitation, on laisse la solution reposer, on verse le liquide du mélange dans un bécher. Enfin pour l'étalonnage du conductimètre, on plonge l'électrode dans le liquide surnageant et on effectue la mesure.

Tableau 2. Normes d'estimation de la CE

Degré de salinité	Non salin	Légèrement salin	Salin	Très salin	Extrêmement salin
CE 1/10 (en $\mu\text{S.cm}^{-1}$)	250	250 – 500	500 – 1000	1000 – 2000	>2000

Source : bureau pédologique du Sénégal (1992)

- **Dosage du CARBONE (C) et de la MATIÈRE ORGANIQUE (MO)**

Dosage du carbone total ou le dosage de la matière organique (M.O) est réalisé à partir du dosage de l'un de ces constituants : le Carbone organique. Le Carbone organique (C.O ou $C_{org.}$) est estimé à 58 % de la matière organique d'où : $\% C. O \times 1.724 = \% M.O$. La méthode utilisée est celle de Walkley et Black modifiée. En d'autre terme, le carbone dans le sol est oxydé par un mélange de dichromate de potassium et d'acide sulfurique. Le pourcentage de matière organique dans le sol peut être calculé sur la base du taux de carbone dans le sol. La détermination du pourcentage de matière organique sur les sédiments collectés dans les unités pédologiques du Gandiolais, est réalisée avec la collaboration du laboratoire de l'ISRA de Saint-Louis. L'estimation générale de la matière organique pour les sols présentant les teneurs en argile + limon = 15 à 50 % est représentée dans le (tabl.3).

Tableau 3. Interprétation du carbone total et/ou de la MO

Estimations	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche	Excellent
Teneur en MO en Carbone total (en %)	0,17–0,43	0,43–0,76	0,76–1,35	1,35–2,55	2,55–5,10	5,10–10,10

Source : CIRAD et GRET (2002) in Goudiaby et al. (2002)

- **BASES ÉCHANGEABLES (NA, K, Ca, MG, CL,)**

Sur ce travail, les bases échangeables s'agissent de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} et Na^{+} . On utilise la méthode d'acétate de sodium à pH 8,2 pour déterminer les bases échangeables des sols ayant des carbonates libres (pH > 7). Le principe consiste à extraire les cations avec de l'Acétate d'Ammonium 1M (Peser 154,2 g d'Acétate d'Ammonium dans 1,800 L d'eau distillée et agiter) à pH 7, sinon le ramener à 7 avec quelques gouttes d'acide acétique ou d'hydroxyde

d'ammonium. La gamme d'étalonnage est préparée à partir des solutions mères de Ca (1000 ppm), Mg (1000 ppm), K (1000 ppm) et Na (1000 ppm). La méthode consiste à peser 20 g de terre fine dans un bécher de 250 ml ; ajouter 50 ml d'acétate d'ammonium si le pH est inférieur à 7,5 ou 50 ml d'acétate de sodium si le pH est supérieur à 7,5. Pour déterminer les $Ca^{++} + Mg^{++}$, on prélève 20 ml de la solution filtrée puis on ajoute 5 ml de solution tampon (soude) 5 N et 6 gouttes d'indicateur coloré. On dose la solution obtenue à l'aide d'une burette contenant le complexon jusqu'au point de virage (coloration violette). Le reste de la solution filtrée va servir à déterminer les valeurs de K^+ et Na^+ . Le niveau de la CEC (tabl.4) permet de préciser les doses et fréquences d'apports pour une fertilisation potassique et magnésienne, Goudiaby *et al.* (2002).

Tableau 4. Normes d'interprétation de la CEC

Estimation de la CEC	Très haut	Haut	Moyen	Bas	Très bas
CEC (meq/100g)	>40	25-40	15-25	5-15	<5
Estimation du Mg^{++}	Bas	Moyen	Haut		
Teneur en meq/100g	< 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
Meq/100g PPM	< 30	30 – 60	> 60		

Source : Landon, 1984

2.2. Les mesures *in situ* des paramètres chimiques des eaux d'irrigation

Les mesures directes des eaux d'irrigation cibles deux paramètres physico-chimiques à s'avoir la CE et le pH.

Pour la CE, elle permet de déterminer les taux de salinité des eaux d'irrigation. De ce fait, le protocole de collecte de données consiste à plonger un conductimètre dans une eau puisée directement dans un puits ou un forage et de relever directement les valeurs instantanées de salinité.

En ce qui concerne le pH, il renseigne sur la nature acido-basique des eaux d'irrigation. Ainsi à l'aide d'un pH-mètre plongé directement dans un échantillon d'eau d'irrigation, la valeur du pH est recueillie de façon instantanée.

D'ailleurs, pour caractériser la variation spatio-temporelle de la CE et du pH, les mesures ont été effectuées en fin saison sèche (mai 2021) et en fin hivernage (octobre 2021) sur trois transect (fig.2):

- transect 1 (villages côtiers): correspond aux villages situés dans le système des dunes blanches -littorales à savoir Bountou Ndour, Mboumbaye, Gadga Lahrar ;
- transect 2 (zone centre): concerne les villages situés sur les dunes semi-fixées : Toug Peulh, Rimbakh Gandiol et Gouye Reine.

- **transect 3** : correspond aux villages de la zone continentale Gandiolaise (dans les dunes rouges): Gantour, Ndoye Diagne, Pelour.

3. Résultats et analyses

3.1. Le pH des formations pédologiques du Gandiolais

Le caractère acido-basique des formations pédologiques du Gandiolais s'observe à travers des sols extrêmement alcalins, très alcalin et légèrement alcalin sur les générations des dunes littorales blanches et dunes jaunes semi-fixées et des sols légèrement alcalins, neutres, légèrement acides et acides sur les dunes rouges continentales. Ainsi, l'analyse des résultats du suivi du pH des sols montre que les propriétés acido-basiques diminuent du littoral vers le continent et de la saison sèche vers l'hivernage (fig. 2). En effet, le sol extrêmement alcalin en mai à Bountou Ndour au nord avec un pH estimé 9,33, devient légèrement acide avec un pH de 7,61 en octobre. En ce qui concerne le caractère des échantillons prélevés sur les dunes semi-fixées, le pH y reste pratiquement invariable aussi bien en fin saison sèche qu'en hivernage. Ainsi, le pH de l'échantillon de Gouye Reine passe de 8,7 en mai à 7,91 en octobre. Par contre, le comportement acido-basique des sols couvrant les dunes rouges continental décrit un caractère neutre et légèrement acide observé en mai à 6,55 (à Gantour). Mais, il devient légèrement alcalin après hivernage avec un pH estimé à 7,25.

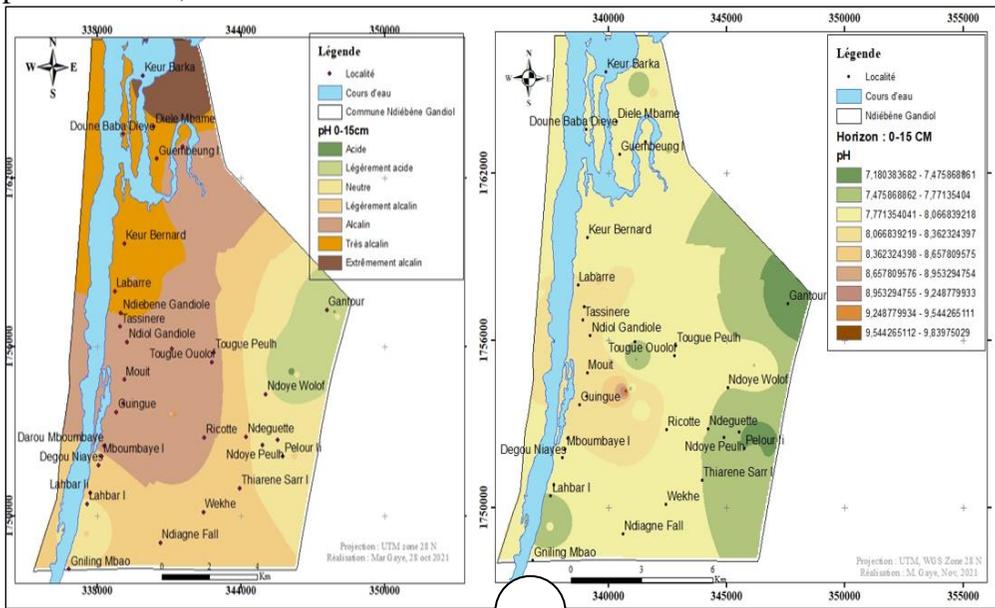


Figure 3. Distribution du pH dans en saison sèche et post-hivernage, a) en mai 2021, b) en octobre 2021

Table 5. CE des terrains agricoles du Gandiolais en saison sèche

Codes	Villages	Horizons			
		CE (en $\mu\text{S.cm}^{-1}$)0-15cm		CE (en $\mu\text{S.cm}^{-1}$)15-30cm	
		point 1	point 2	point 1	point 2
NG GAN	Ndiébène Gandiol	105	97	73	110
GR	Gouye Reine	56	96	139	83
GL	Gadga Lahrar	82	949	81	383
RG	Rimbakh Gandiol	71	144	93	96
PL	Pelour	16	22	15	15
TP	Tougue Peulh	56	45	68	68
NP	Ngaina	85	556	42	353
ND NDOYE	Ndoye Diagne	21	80	17	86
GT	Gantour	178	52	168	45
BN	Bountou Ndour	2994	298	1595	253

Source : résultats de l'analyse de la CE des échantillons de sol au laboratoire en mai 2021

3.3. Analyse des teneurs en matière organique et en Carbone des formations morpho-pédologiques du Gandiolais

Les formations morpho-pédologiques du Gandiolais développent des teneurs différentes en MO et C. Ces deux propriétés constituent des éléments révélateurs de la qualité du sol. De ce fait, la MO et le C, deux propriétés étroitement liées, développent des proportions différentes du littoral vers le continent.

3.3.1. Proportion des échantillons de sols en MO et en Carbone

Les proportions de %MO et %C demeurent plus importantes sur certaines séquences des types de sols reposant sur les dunes blanches littorales que sur les dunes jaunes semi-fixées et les dunes rouges. Sur la fig.4, les teneurs en Mo et en C sont aussi plus importantes sur l'horizon 0-15 cm que sur l'horizon 15-30 cm de profondeur.

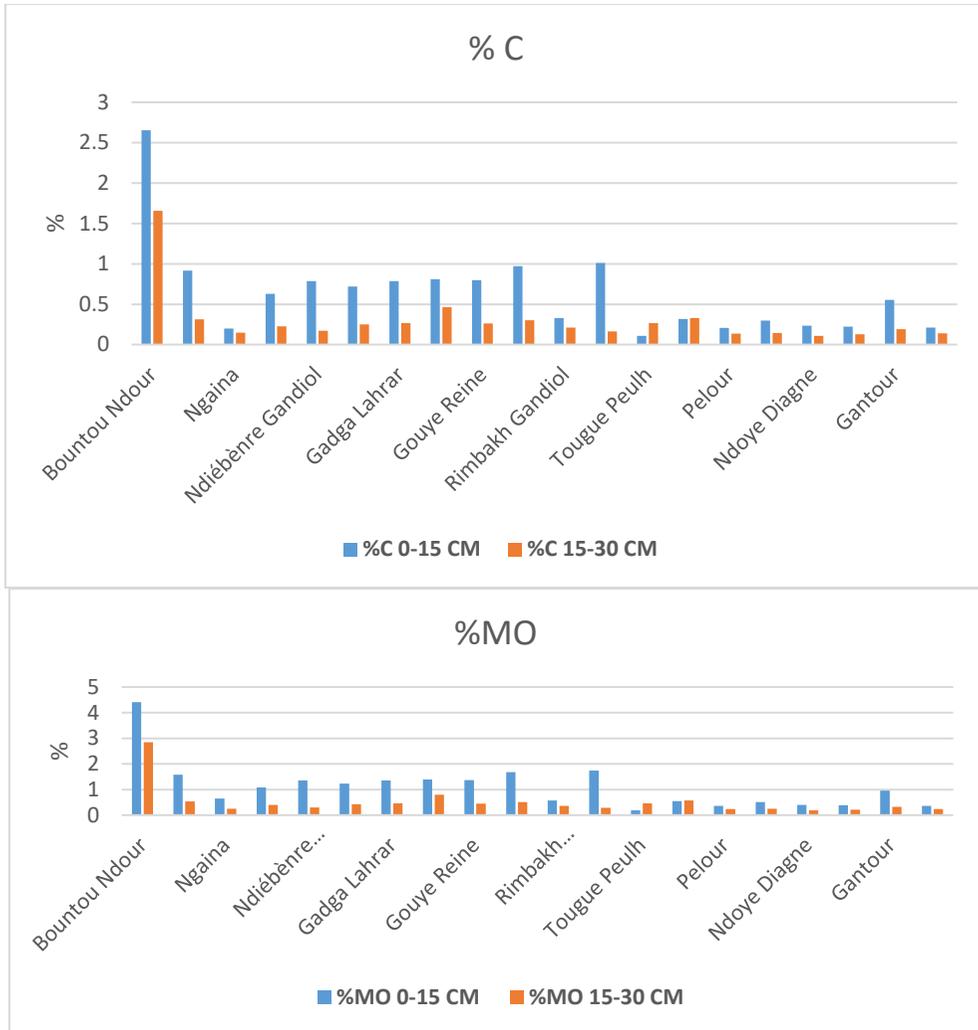


Figure 4. Teneurs MO et en C et entre les horizons 0-15 et 15-30 cm

Les proportions de MO et de C caractérisées très riches et riches sont observées à hauteur de Bountou Ndour dont celles des échantillons 1 de la surface vers la profondeur s'estiment respectivement de 4,4 et 2,84 pour la MO et de 2,654 et 1,655 % pour le C (P1 BN). Hormis cette localité, les échantillons récoltés sur toute l'étendue du Gandiolais montrent que les proportions de Mo et de C diminuant du littoral vers le continent et de la surface vers la profondeur se révèlent parfois riches, pauvres à très pauvres. Par exemple, sur les dunes jaunes semi-fixées les échantillons de Gouye Reine (P1 et P2 GR) montrent une MO riche et moyenne en surface avec des proportions respectives de 1,374 et 1,673 % et 0,799 et 0,972 % pour le C et très pauvres en profondeur dont la MO s'estime à 0,327 et 0.24 et le C à 0,262 et 0,3. Pareillement sur les dunes rouges, la MO et le C de Ndoye Diagne (P1)

sont très pauvre avec des proportions de 0,233 et 0,4 en surface et 0,11 et 0,189 en profondeur. Les proportions de MO obtenues dérivent en général des restes des récoltes ou des fumiers employer pour fertiliser le sol.

3.4. Les propriétés physico-chimiques des sols du Gandiolais: les bases échangeables

La distribution dégradée du littoral vers le continent du Mg^{2+} s'observe aussi de façon identique avec les autres paramètres des bases échangeables comme le sodium (Na^+), le potassium (K^+) et le calcium (Ca^+) (tabl. 6). Ainsi, les teneurs de Mg obtenues se retrouvent très hautes sur les dunes bordières dont les échantillons 1 et 2 de Bountou dour et de Gadga Lahrar ont des teneurs respectives exprimées à 8,4, 4,1, 3,4 et 7,1 (meq/100g). Le Mg reste haut aussi bien sur dunes jaunes semi-fixées dont les échantillons de Tougue Peulh supportent un Mg estimé 1,4 et 1,6 (meq/100g) et sur les dunes rouges continentales avec un Mg estimé à 0,8 et 06 sur les deux échantillons récoltés à Ndoye Diagne. En ce qui concerne la CEC des formations morpho-pédologiques sur toutes les générations de dunes, hormis l'échantillon 1 de Bountou Ndour avec Na haut estimé à 12, 148 meq/100g, se révèle très base avec un Na ne dépassant pas les 2,6 meq/100g. En ce qui est du K, il reste très bas sur toutes les formations morpho-pédologiques échantillonnées avec une valeur maximales 3,4 meq/100g notée sur l'échantillon 1 de Bountou Ndour. Par contre le Ca^+ y est haut et moyen sur les dunes bordières littorales avec une de 28,308 et 11,085 meq/100g à Bountou Ndour ; de 19,509 et 22,773 meq/100g à Ndiébène Gandiol. Mais, le Ca^+ est à la fois bas et très bas sur les dunes jaunes semi-fixées avec des teneurs respectives obtenues à Tougue Peulh (P1 et P2 TP) de 2,762 et 6, 738 meq/100g. Sur les dunes rouges, le Ca est très bas mesuré à 2,059 et 1,977 meq/100g à Gantour, à 0,954 et 0,969 meq/100g à Ndoye Ndiagne.

Tableau 6. Les bases échangeables des sols du Gandiolais

Nom échantillon	Na^+ (meq/100g)	K^+ (meq/100g)	Ca^{2+} (meq/100g)	Mg^{2+} (meq/100g)
P1 BN	12,148	3,490	28,308	8,493
P2 BN	2,593	0,739	11,085	4,122
P1 GL	0,245	0,145	18,797	3,459
P2 GL	4,782	0,523	19,292	7,161
P1 GT	0,763	0,170	2,059	1,695
P2 GT	0,274	0,141	1,977	1,329
P1 ND GAN	0,255	0,127	19,509	1,849
P2 ND GAN	0,255	0,207	22,773	1,294
P1 ND Ndoye	0,056	0,074	0,954	0,890
P2 ND Ndoye	0,012	0,081	0,969	0,661

P1 RG	0,081	0,059	11,952	0,811
P2 RG	0,125	0,055	20,511	2,903
P1 TP	0,040	0,285	2,762	1,464
P2 TP	0,039	0,112	6,738	1,630

Na⁺: Sodium K⁺: potassium Ca²⁺: Calcium Mg²⁺: magnésium

La représentation des résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons prélevés sur les espaces maraichers du Gandiolais avec le diagramme de PIPER montre une prédominance des faciès de calcium, de sodium de magnésium et de potassium. Cette prédominance est plus remarquée sur les sédiments récoltés sur les dunes blanches littorales et sur ceux prélevés aux bords des marais salants. De ce fait, la fig.5 et le tableau 6 renseignent sur les capacités d'échange cationique (bases échangeable) de chaque échantillon avec une interprétation basée sur la méthode de Landon (1984).

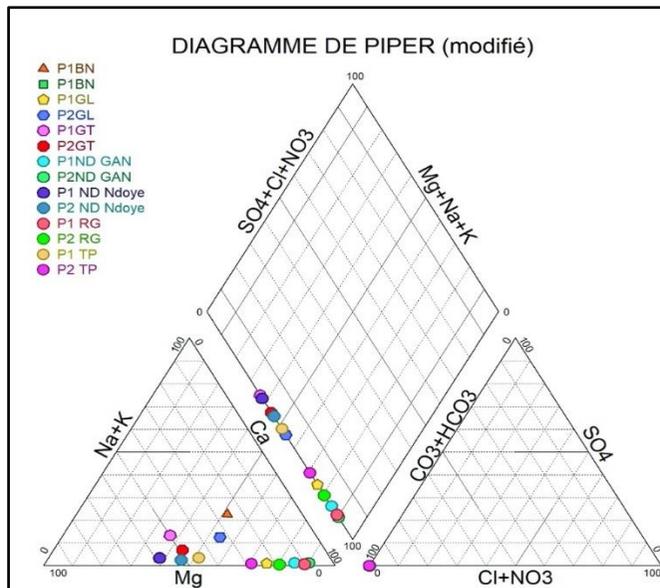


Figure 5. Résultats de l'analyse des bases échangeable sous le diagramme de PIPER

Sur une topo-séquence Ouest-est (dunes blanche littorales-dunes jaunes semi-fixées-dunes rouges continentales), chaque paramètre chimique influence différemment selon le secteur et le point de collecte.

4. Analyse des mesures *in-situ* de la qualité des eaux d'irrigation

Le suivi de la qualité des eaux d'irrigation à travers la détermination des valeurs de la conductivité électrique (CE) et du potentiel hydrogène (pH) en fin saison sèche et après hivernage, montre les résultats ci-après.

4.1. Résultats du suivi *in situ* de la CE des eaux d'irrigation du Gandiolais

Le suivi du comportement de la salinité des eaux d'irrigation du Gandiolais montre que les teneurs en sel diminuent du littoral vers le continent. De ce fait, les mesures directes en mai 2021 montrent que les eaux sont très salines voire extrêmement salines sous les dunes blanches littorales et les dunes jaunes semi-fixées. En effet, la CE s'évalue à $3999 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ sur le puits 1 (P1) de Bountou Ndour, à $3255 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ sur le p3 de Gouye Reine et à $2253 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ sur le p3 de Gadga Lahrar. Elles se révèlent très salines voire légèrement salines sous les dunes rouges continentales. Sur ce, la CE s'estime à $402 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ sur le p1 de Pelour, à $256 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ sur le p2 de Gantour et à 672 et $661 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ sur les p1 et p2 de Ndoye Diagne. Mais, ce caractère extrêmement salin, très salin, légèrement salin des eaux d'irrigation a très peu évolué après l'hivernage (octobre 2021). Par ailleurs, le p1 de Bountou Ndour montre une CE stable estimé à $3999 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, le p2 Gouye reine connaît une légère augmentation avec une CE mesurée à $3999 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et le P2 de GL supporte une CE de $3462 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Sur les latitudes de Pelour, le p1 montre une CE de $466 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, de Ndoye Diagne, la CE s'estime à $1282 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et à Gantour les eaux du p salines développent une CE de $573 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

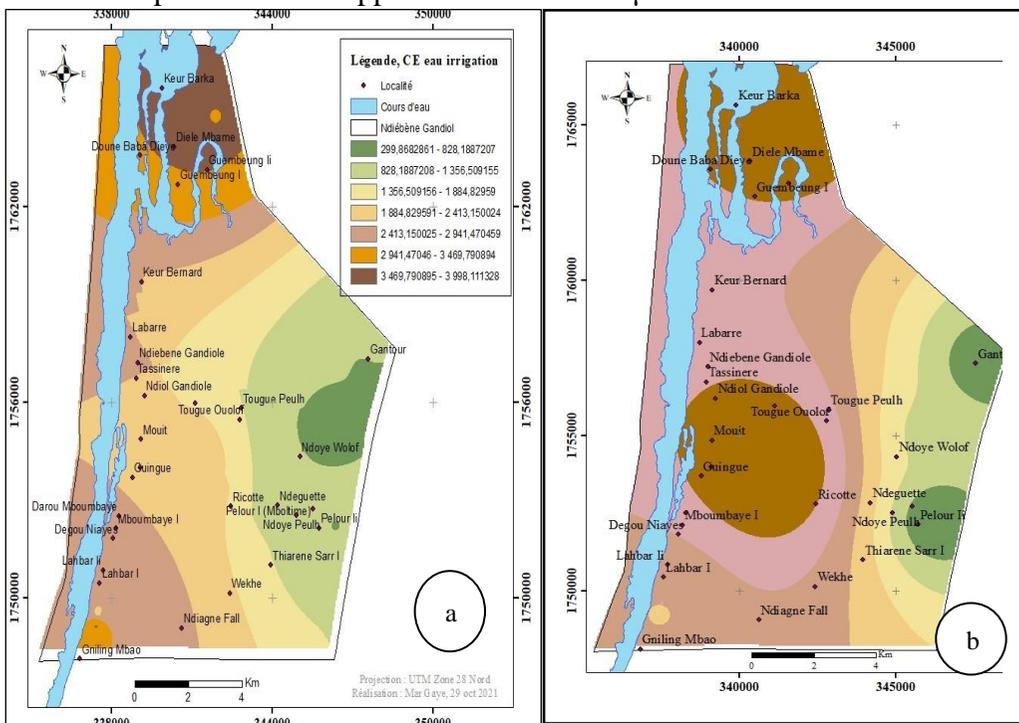


Figure 6. Résultats des mesures *in situ* de la CE des eaux d'irrigation, a) en saison sèche (mai) et b) post-hivernage (octobre)

4.1.1. Résultats des mesures *in situ* du pH des eaux d'irrigation du Gandiolais en fin saison sèche

La figure 7 illustre en détail, les variations spatio-temporelles du potentiel hydrogène des eaux d'irrigation du Gandiolais. Ainsi de façon dégradée du littoral vers le continent et sud vers le nord, elle caractérise des eaux à pH alcalin, légèrement alcalin, neutre, légèrement acide et acide en mai 2021.

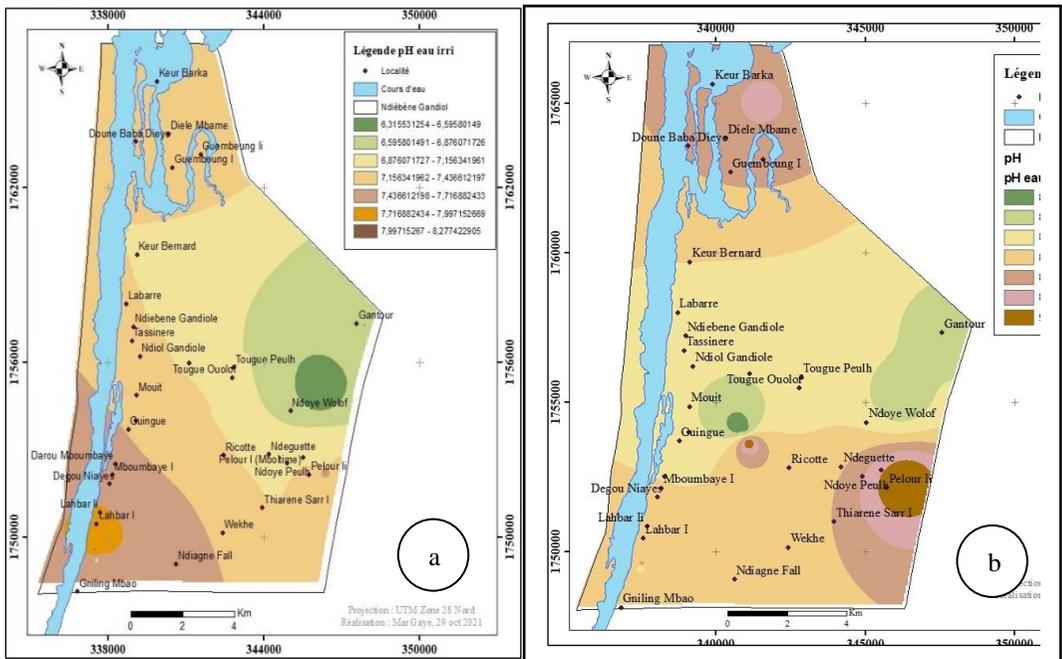


Figure 7. Résultats des mesures *in situ* du pH des eaux d'irrigation du Gandiolais, a) en fin de saison sèche et b) en post-hivernage

De ce fait, sous les dunes littorales, le pH des eaux d'irrigation décrit un caractère légèrement alcalin en saison sèche avec des valeurs comprises entre 8,24 et 7,19. Sous les dunes jaunes, les eaux se retrouvent aussi légèrement alcalines avec un pH de 7,9 sur le p3 et le forage. A la hauteur des dunes rouges continentales, les eaux adoptent un caractère acido-basique neutre voir légèrement acide et/ou acide avec des valeurs mesurées entre 7,53 et 5,85. Mais après l'hivernage avec les phénomènes de recharge des eaux souterraines par la pluie et la crue fluviale couplés avec leur rare pompage ; plus avec l'infiltration des particules de sel, certains intrants chimiques dissouts, le non renouvellement des eaux à la circonférence des puits et des rares forages en marche, les eaux se retrouvent alcalines à très alcalines en octobre 2021 sur toute la zone. En effet, le pH s'estime à 8,93 sur le P1 de Bountou Ndour, à 8,91 sur le p2 de Gadga Lahrar, à 8,43 sur le p1 de Ndoye Diagne, à 9,19 sur le forage de Pelour, etc.

5. Discussions

L'analyse des résultats du suivi du comportement des propriétés physico-chimiques d'eaux d'irrigations et des formations morpho-pédologiques du Gandilolais a montré que les paramètres étudiés développent des valeurs plus élevées du littoral vers le continent. La manifestation du phénomène de la salinisation des terres du Gandiolais est très hétérogène. Vu les résultats de l'étude, on ne peut pas généraliser sur une évolution globale de la salinité de la nappe aquifère affectant les sols. D'une zone à l'autre, d'un champ à l'autre, d'un puits à l'autre, les variations de salinité sont considérables et aléatoires, Jacoutot, (2006). Cette situation est révélée par les résultats obtenus à Gadga Lahrar dont la CE varie de 3462 à 1660 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ du puits 2 au puits 3 en saison sèche. Les résultats du suivi du pH des eaux d'irrigation révélant un caractère acide, légèrement acide, neutre voire légèrement basique et/ou légèrement salines, non salines au mois de mai devenant alcalin à très alcalin sur les dunes rouges avec une légèrement variation de la CE infirment les résultats de Jacoutot, (2006). Ce dernier affirme que le pH est le seul paramètre relativement stable. Légèrement basique, il varie de 7,56 à 8,68 sur l'ensemble des eaux analysées. Alors que le pH du même puits à Ndoye Diagne varie de 6,52 à 8,43 entre mai et octobre 2021. Mais, ils confirment les résultats de Niang.S, (2017) qui montrent que la représentation cartographique des matières dissoutes et du pH met en évidence une variabilité spatiale distincte des teneurs avec des valeurs décroissantes du littoral au continent. Ce qui est en cohérence avec la direction du biseau salé et d'une dichotomie de la qualité de l'eau entre le secteur littoral et le secteur continental.

D'ailleurs la dégradation de la qualité des sols des Niayes du Gandiolais en partie sur les phénomènes d'ensablement engendrés par la dynamique éolienne et les eaux de ruissellement accumulant sur les dépressions inter-dunaires plus de particules grossières au détriment des argiles et limons. Les analyses granulométriques montrent que ces dernières font moins de 2% de la taille des échantillons contre une proportion de 20 à 24 % obtenue par Niang, (2014). En ce qui concerne les teneurs en matière organique et en carbone, elles restent plus élevées sur l'horizon 0-15 cm que sur l'horizon 15-30 cm. Hormis les proportions exceptionnellement élevées obtenues sur les échantillons de Bontou Ndour prélevés aux abords de l'usine de traitement des eaux usées de Saint-Louis dont le carbone et la matière organique s'estiment respectivement à 4,4 % et 2,84%, les teneurs y sont très faibles sur l'ensemble des terrains maraîchers du Gandiolais. Comparées avec les résultats de Niang, (2017), les teneurs en carbone et en matière organique tendent à diminuer tout en restant plus élevée en surface qu'en profondeur. En effet, Niang, (2017) estiment les proportions de carbone à 0,404 % contre 0,233 % et de matière organique à 0,686 % contre 0,4% à Ndoye Diagne. Globalement, la matière organique et le carbone sont très faibles dans les

niayes littorales et continentales. Mais la capacité d'échange cationique des sols est plus faible sur les dunes rouges continentales que sur les dunes jaunes semi-fixées et les dunes blanches littorales.

Conclusion

Ce travail apparaît comme la compréhension des polluants physico-chimiques de la lentille d'eau douce souterraine et des sols du Gandiolais. La méthodologie a consisté à l'étude du comportement spatio-temporel de la CE, du pH et des bases échangeables sur les pratiques maraîchères entre mai et octobre 2021. Les résultats ont révélé que dans la zone les formations morphopédologiques du Gandiolais du littoral vers le continent ou de la génération des dunes bordières en passant par les dunes jaunes semi-fixées jusqu'aux dunes rouges continentales, les propriétés physico-chimiques des sols passent par des sols à caractère extrêmement alcalin et salin à des sols acides et non salin. La détermination de la CE et du pH a permis d'individualiser que les formations pédologiques des *Niayes* Gandiolais de façon dégradée, sont plus alcalines et salines du littoral vers l'hinterland; du nord vers le sud et parfois de la surface vers la profondeur. Les proportions de matière organique et de Carbone total conjuguées avec la détermination des bases échangeables à travers les teneurs en Calcium, en Magnésium, en potassium et en sodium, plus ou moins faibles épousent aussi la même répartition spatiale. Les processus de contamination progressive des eaux d'irrigation du Gandiolais révèlent que les taux de salinité augmentent du sud vers le nord côté littoral ou sur les dunes blanches bordières. Ils ont tendance cependant à diminuer sur un transect Ouest-est (littoral vers le continent ou dunes bordières-dunes jaunes semi-fixées-dunes rouges continentales). Cette diminution de la salinité des eaux souterraines du Gandiolais du littoral vers le continent, est occasionnée par l'influence directe de la proximité de la mer ou de la brèche et des échanges entre réserves d'eaux souterraines et pénétration du biseau salé. La dégradation chimique étudiée dans les cuvettes agricoles est principalement liée à la minéralisation de la réserve souterraine, aux modifications des conditions hydrodynamiques engendrées par la dynamique migratoire de brèche couplée avec la dynamique d'allongement de la bande sable aux droits de Tassinère qui prive la section sud de la lagune de Mboumbaye des apports d'eaux douces du fleuve.

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. BM, (2009). Dégénération des terres au Sénégal, *1p*.
2. ELD, (2016). Initiative « Économie de la dégradation des terres », *Rapport pour le secteur privé*, 60p.
3. Goudiaby, A. O. K., Dhiediyou, S., & Diouf, P., (2002). Effets de la distance de prélèvement par rapport au pied de Eucalyptus camaldulensisdehn sur les paramètres physico-chimiques du sol en zone sud-soudanienne côtière (Sénégal –Base Casamance), *European Scientific Journal February 2019 edition Vol.15, No.6 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, p119-135* <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n6p119>
4. Jimbira, S.S., & Hathie, I, (2020). L'avenir de l'agriculture en Afrique subsaharienne, Policy brief No . 2, p20.
5. Jacoutot, A., (2006). Modification environnementale et ses conséquences dans le bas delta du fleuve Sénégal. Cas du Gadiolais et Parc National dU Diawling, *Rapport de stage, Université Joseph Fourier, 174p*.
6. Kane, C., (2010). Vulnérabilité du Système socio-environnemental en domaine sahélien : l'exemple de l'estuaire du fleuve Sénégal : De la perception à la gestion des risques naturels, *Doctorat de Géographie, Université Cheikh Anta Diop, 318p*.
7. Niang, S., Sy, A. A., & Sy, B. A., (2014). « Dynamique d'ensablement des Niayes du Gandiol: approche par la quantification des débits solides éoliens et conséquences sur les cuvettes agricoles », *Revue de géographie du laboratoire Leïdi-SSN 0851– 2515 – N°12, décembre 2014 p66-83*.
8. Niang, S., (2017). Dégénération chimique et mécanique des terres agricoles du Gandiolais (littoral Nord du Sénégal) et analyse des dynamiques actuelles d'adaptation, *Doctorat de Géographie, Université Gaston Berger, 357p*.
9. *Roose, E.*, (2015). Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens:
10. -Contribution à l'agro-écologie, *547p*.
11. Sy, A. A., (2013). Dynamique sédimentaire et risque actuel dans l'axe Saint-Louis Gandiol, littoral nord du Sénégal, *Doctorat de Géographie, Université Gaston Berger, 328p*.
12. Sy, B. A., (2010). L'histoire morphodynamique de Doun Baba DIEYE du Sénégal, *Revue Perspectives & Sociétés, N°1, janvier 2010, ISSN 1840-6130, p17*.

13. Sy B. A., & Sy A. A., (2010). Dynamique actuelle du cordon littoral de la Grande Côte sénégalaise à Niayame et ses conséquences, *RGLL*, N°08 déc. 2010 p197-212
14. SY, B. A., Bilbao, A. I., Sy, A. A., Perez, S. I., & Valido, R. S., (2013). Résultats du suivi 2010-2012 de l'évolution de la brèche ouverte sur La Langue de Barbarie au Sénégal et de ses conséquences, *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 2013, volume VII, p223-242, <https://doi.org/10.4000/physio-geo.3569>



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

State of Knowledge on Beekeeping Practices in Côte d'Ivoire in the Face of Challenges and Opportunities in the Context of Climate Change

Salimata Ouattara

West African Scientific Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use (WASCAL), Graduate Research Program on Climate Change and Disaster Risk Management, Kwame Nkrumah University of Lomé, Lomé, Togo

Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, U.F.R. Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Chimène Assi-Kaudjhis

Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, U.F.R. Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Kossi Adjonou

Laboratoire de Recherche Forestière, Université de Lomé, Lomé, Togo

Koffi Félix Kouamé

Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, U.F.R. Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Comlan Mawussi Koudegnan

Kouami Kokou

Laboratoire de Recherche Forestière, Université de Lomé, Lomé, Togo

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p46](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p46)

Submitted: 19 July 2023

Accepted: 24 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Ouattara S., Assi-Kaudjhis C., Adjonou K., Kouamé K.F., Koudegnan C.M. & Kokou K. (2023). *State of Knowledge on Beekeeping Practices in Côte d'Ivoire in the Face of Challenges and Opportunities in the Context of Climate Change*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p46>

Abstract

Beekeeping plays an important role in socio-economic development and environmental conservation. This sector is developing in Côte d'Ivoire even if it is an ancient practice. Based on available scientific data, this study aims to take stock of the Ivorian beekeeping sector and its melliferous potential. The aim is to gain a better understanding of the difficulties faced by

this sector and to contribute to its sustainable development in the current context of climate change. Côte d'Ivoire's honey is of good quality and very rich in nutrients: pollen grains, minerals, etc. A part *Apis mellifera*, other species of bees are present and could be used in keeping. Despite favorable climatic and floristic conditions, beekeeping in Côte d'Ivoire is still in its infancy caused by several challenges: Environmental conditions, lack of training of beekeepers, and weak commitment of stakeholders. To modernize the sector, we need to combine the efforts of the authorities, take into account the recommendations of scientific publications, and encourage the population to understand the importance of preserving plants and bees by practicing modern beekeeping.

Keywords: Beekeeping, Production, honey potential, sustainable development, challenges, Côte d'Ivoire

Introduction

Beekeeping is an agricultural sector that raises bees to produce honey and other products of the hive. It is a very old activity, with honey gathering being recognized in Africa. It plays an important role in socio-economic development and environmental conservation. It appears to be one of the activities that increase the monetary income of stakeholders, limit the destruction of forests, and generate a large population of pollinating agents for the plant environment (Ahouandjinou *et al.*, 2017).

Bees are of interest to beekeeping and are also an essential part of the world's environmental balance as pollinators of many plant species (Adjlane *et al.*, 2012). As such, it contributes to food security and pollinators act as bio-indicators of environmental change (Bogdanov, 2006; Chauzat *et al.*, 2006; Le Conte & Navajas, 2008).

Honey is the most highly prized beekeeping product, thanks to its nutritional and therapeutic properties. It is used in food and the treatment of several illnesses and diseases (Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020a; 2022).

In Côte d'Ivoire, modern beekeeping is practiced alongside traditional harvesting. It enables people living in rural areas to increase their income and cure certain common illnesses. The country's diverse climate and vegetation are ideal for beekeeping. Traditional practices and honey gathering are the most widespread (Kouassi *et al.*, 2018; Savadogo *et al.*, 2018; Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020d). However, the research carried out in Côte d'Ivoire in recent years has not taken sufficient account of information on bees, their nutrients and honey analyses, as well as endogenous knowledge and beekeeping practices. Scientific publications in this area are few and far between (Coulibaly *et al.*, 2019) and are mainly carried out in the central and northern parts of the country. These studies focus on topics such as the importance of

beekeeping (Kouassi *et al.*, 2018; Savadogo *et al.*, 2018; Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020a, b), the list of melliferous plants (Iritié *et al.*, 2014a; Coulibaly *et al.*, 2019; Kouassi *et al.*, 2019; Kouamé *et al.*, 2020; Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020c; Assi-Kaudjhis *et al.*, 2023), the typology of honey bees (Brou *et al.*, 2019; Kouonon *et al.*, 2020; Kouamé *et al.*, 2021), the quality of honey based on physico-chemical analyses (Iritié *et al.*, 2014b; Djonwan, 2018; Diomandé *et al.*, 2018; Assi-Kaudjhis *et al.*, 2021; Kabran *et al.*, 2021; Kouamé *et al.*, 2021; Yeboué *et al.*, 2021; Guédé *et al.*, 2022), melissopalynological analyses (Diomandé *et al.*, 2018; Assi-Kaudjhis *et al.*, 2021), toxicological analyses (Ohoueu *et al.*, 2017a; Gnonsoro *et al.*, 2018) and microbiological and sensory analyses (Coulibaly *et al.*, 2019; Ahui *et al.*, 2023).

This study aims to take stock of the various scientific studies on the Ivorian beekeeping sector and its potential to better identify the main difficulties encountered by this sector and guide research toward sustainable development in the current context of climate change.

Methodological approaches

The work is based on a search for recently published scientific articles on beekeeping practices in Côte d'Ivoire and the rest of the world. Searches were carried out using the keywords "Beekeeping", "melliferous plants", "Honey bees" and "Honey analysis", each time adding the name of the country preceded by the command "AND". Google Scholar was used as the search engine, and the majority of these articles were also found on Science Direct. The searches were carried out from March to May 2022 and the beginning of 2023. The publication sources of the articles were diverse and included research articles, methods articles, review articles, and books. A total of 103 articles were obtained and analyzed, of which 43 relevant pieces of information from Ivorian articles and the rest from the rest of the world were used to support this research work.

The interests are divided as follows: the first studies focused on characterizing the plants visited by bees, finding their preferences, and identifying areas suitable for beekeeping practices. As the vegetation is varied, the analysis of bee typologies must be studied to master these species for better protection. These results encouraged the authors to take an interest in the quality of the honey sold by analyzing them to promote them on the local and international markets. The types of beekeeping practices and the players in the sector are taken into account for an overview of the sector's activities. All these articles aim to develop and promote sustainable beekeeping in Côte d'Ivoire.

Results and discussion

Melliferous resources

Melliferous resources include all the plants of interest to beekeeping that provide the nutrients (pollen, nectar, and resin) that bees need to feed themselves and manufacture the various products of the hive. The bees also collect honeydew from insect excrement and fruit juices in the event of a shortage or lack of nutrients. Given the importance of these melliferous resources, better knowledge and evaluation of them would enable beekeepers to know which types of species to plant and in which plant environments to place their hives to increase their production in quantity and quality. Indeed, the quantity and quality of hive products reflect the nature of the honey plants foraging (Dongock *et al.*, 2008; Peter, 2008; Balagueman *et al.*, 2017). According to Nombé (2003), the first criterion for assessing the melliferous potential of an area is the presence of melliferous plants. This is the foundation of beekeeping (Coulibaly *et al.*, 2013), and therefore the main source of supply for bees.

To date, studies carried out in Côte d'Ivoire on the identification of these plants began in 2014 (Coulibaly, 2014; Iritié *et al.*, 2014a) in the transition zone between forest and savannah, in the center of the country. Given the importance of the floristic diversity that abounds in the country, research continues to this day.

Although studies on melliferous plants are recent in Côte d'Ivoire, the few studies that have been carried out have enabled several melliferous species to be inventoried: in the center of the country, 160 species (Iritié *et al.*, 2014a), 128 species (Coulibaly *et al.*, 2019) and 157 species (Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020c); in the center-north, 126 species (Kouassi *et al.*, 2019) and 72 species (Assi-Kaudjhis *et al.*, 2023); and in the south-east in the forest zone, 48 species (Kouamé *et al.*, 2020). These figures differ from those obtained in Burkina Faso by Nombé *et al.*, in 2009 (97 species) and in Benin by Yedomonhan *et al.* in 2009 (87 species).

These differences are due to the methodologies used, as well as to the environmental and climatic conditions of the environments concerned and the floristic composition of the study areas (Coulibaly *et al.*, 2019). The common methodology between the studies is the inventory of melliferous plants over a radius of 1 km around the apiary through direct observations in the field. This distance would cover the average foraging flight distance of worker bees. In addition to the inventory, Iritié *et al.*, (2014) and Kouamé *et al.*, (2020) conducted interviews with local people to establish a more or less exhaustive list of melliferous plants. A plant may be attracted by bees in one area but not in another (De Layens and Bonnier, 1997). The predominance of species from certain families (see Table 1) in the families most frequently foraged in the study areas is characteristic of their high nutrient content and, above all, their

pollen content (Keller *et al.*, 2005). The common families that dominate the areas studied are Fabaceae, Asteraceae, Rubiaceae, and Euphorbiaceae. The majority are cultivated plants, which shows the importance of bees in providing ecosystem services. The genera Cassia, Albizia, Acacia, Centrosema, Lonchocarpus, Parkia, Jatropha, Croton, Aspilia, Keetia, Spermaceoce, Euphorbia, Manihot, Ficus, Ceiba, Terminalia, Mangifera as well as the species *Albizia lebeck*, *Albizia zygia*, *Cassia siamea*, *Delonix regia*, *Aspilia Africana*, *Spermaceoce verticillata*, *Croton hirtus*, *Euphorbia heterophylla*, *Manihot esculenta*, *Ceiba pentadra*, *Carica papaya*, *Mangifera indica* are the genera and species most sought after by bees in the study areas.

Table 1. List of melliferous plant identified in the different studied zone in Côte d'Ivoire

Authors	The most families visited	Géographical location
Iritié <i>et al.</i> (2014)	Leguminoseae (15%) EupHorbiaceae (7%) Meliaceae (5%) Sterculiaceae (5%)	Centre (Forest-Savannah transition)
Kouassi <i>et al.</i> (2019)	Fabaceae (18%), Malvaceae (7%), Lamiaceae (5%), Asteraceae (5%), Rubiaceae (5%)	Centre-North
Coulibaly <i>et al.</i> (2019)	Euphorbiaceae (7,81%) Mimosaceae (7,03 %), Asteraceae (6,25%), Rubiaceae (6,25%), Fabaceae (5,46%)	Centre-East
Kouamé <i>et al.</i> (2020)	Malvaceae (18,75%) Fabaceae (12,5%) Combretaceae (8,33%) Moraceae (8,33%)	South
Assi-Kaudjhis <i>et al.</i> (2020c)	Fabaceae (24.74%)	Centre (Forest-Savannah transition)
Assi-Kaudjhis <i>et al.</i> (2023)	Fabaceae (26.38%) Verbenaceae (9.72%) Asteraceae (6.94%)	Centre-North

Because of the diversity and richness of the country's plant species, over 3,853 species according to Aké-Assi (2002), beekeeping can be practiced in all regions of the country. Côte d'Ivoire has a great diversity of plant species offering bees a wide range of nutrients in sufficient quantities. This is why Coulibaly *et al.*, (2013), Koné *et al.*, (2019), and Koné *et al.*, (2020) confirm that there is a diversity and abundance of plant species around apiaries that can provide bees with important nutrients for good honey production, which is essential for promoting beekeeping. Studies by Coulibaly *et al.*, (2021) have shown that to improve the productivity of the beekeeping sector, it is necessary to know the bees' foraging schedules. According to these authors, bees are

intensely active throughout the day and all year round, but their activity is most intense in the morning and during periods when plants are flowering. This activity confirms the abundance and diversity of plant species, and foraging potential varies in time and space (Yédomonhan, 2009).

The studies of melliferous plants are not exhaustive and it would be interesting to extend them to other regions of Côte d'Ivoire. As the studies were carried out on a radius of 1 km around the apiary by most of the researchers, the radius can be extended to see if the bees go beyond this radius in search of nutrients. For example, a radius of 2 km and 3 km was used by Janssens *et al.*, (2006) and Piroux (2014), as the distance bees search for nutrients varies according to the month and depends significantly on the type of forage available (Couvillon *et al.*, 2015).

Bees studied

The Apini bee tribe, whose species is *Apis mellifera*, is the best known and responsible for honey production (Tuo *et al.*, 2019) in Côte d'Ivoire, as well as by-products. In addition, honey from species of the *Hypotrigona/Liotrigona* genus (small bees) is consumed by local populations (Soro *et al.*, 2020). Furthermore, beekeepers and many consumers have no knowledge of honey from stingless bees of the Meliponini tribe. This type of beekeeping is known as meliponiculture. It is highly developed in South America (Brazil, Mexico) (Cortopassi-Laurino *et al.*, 2006) and is being tested in Africa (Angola, Tanzania, Ghana, Kenya, Botswana, and South Africa) (Soro *et al.*, 2020). According to honey collectors, the bitter taste of this honey hinders its marketing (Soro *et al.*, 2020). In Côte d'Ivoire, there is a morphological diversity of honeybees of the species *Apis mellifera*. Three types of bees were identified according to coloration: black, yellow, and yellow-black. Figure 1 shows the two types of bees that have been studied in Côte d'Ivoire. However, studies on honeybees present and the importance of their morphometric characteristics in the search for nutrients are limited. For the sustainability of the sector and protection of the species, studies have been undertaken by (Brou *et al.*, 2019) in the center, (Kouonon *et al.*, 2020) in the south-west and (Kouamé *et al.*, 2021) in the south-east (see Table 2).



Figure 1. Black and yellow-black bees
 (Image taken from the article by Kouamé et al., 2021)

They were identified based on the following morphometric characteristics: length, color, hairiness, and many others. Ivorian bees vary morphologically. These bees belong to different ecotypes (Brou *et al.*, 2019) and depend on ecological zones and the availability of nutrients (Kouamé *et al.*, 2021). They were identified based on the following morphometric characteristics: length, color, hairiness, and many others. Ivorian bees vary morphologically. These bees belong to different ecotypes (Brou *et al.*, 2019) and depend on ecological zones and the availability of nutrients (Kouamé *et al.*, 2021). Honey production is positively correlated with the length of the hind legs of honey bees, particularly the length of the tibia, which carries the pollen basket and would define its size (Szabo & Lefkovitch, 1988; Brou *et al.*, 2019) and adapts to the different climates of Côte d'Ivoire.

Table 2. Types of *Apis mellifera* in Côte d'Ivoire

Type of bee	Geographical distribution	Main anatomical characteristics for the extraction of nutrients from flora
Black (Borneck, 1976 ; Brou <i>et al.</i> , 2019 ; Kouonon <i>et al.</i> , 2020 ; Kouamé <i>et al.</i> , 2021)	All of Côte d'Ivoire (recent studies have been carried out in the south-west, south-east, and center)	-Pilosity (Pollen collection) -Size (Depends on the environment and availability of nutrients (Large in the south and small in the north)
Yellow (Borneck, 1976 ; Brou <i>et al.</i> , 2019 ; Kouonon <i>et al.</i> , 2020 ; Kouamé <i>et al.</i> , 2021)	All of Côte d'Ivoire (recent studies have been carried out in the south-west, south-east, and center)	- Leg length (Pollen collection) -Wing size (Ability to fly long distances) -Proboscis (Ability to collect nutrients at the bottom of the corolla and on the stamens)
Yellow-black (Kouamé <i>et al.</i> , 2021)	South-East	

Types of beekeeping

A beehive is a compartment in which bees collect and produce honey for nutrition and which protects them from the elements. To avoid damage caused by wild animals and natural disasters, beekeepers use natural barriers to protect the hives (Cheng *et al.*, 2020). Three types of beekeeping exist and are practiced in Côte d'Ivoire: honey gathering, traditional beekeeping, and modern beekeeping.

Honey gathering

Honey hunting" or honey gathering is practiced by rural populations. Honey hunting" is an activity that requires virtually no investment (Kouassi *et al.*, 2018). It allows honey to be harvested from trees, and dead tree trunks using smoke to drive away bee colonies, which are severely disturbed and damaged (Crane, 1999) and also degrading to the environment. The quality of honey from these practices is inferior and very dark in color. Beekeepers do not need any special skills (Gratzer *et al.*, 2021). Apart from the disadvantages, one advantage is that beekeepers harvest the honey from the trees, so no equipment or land is needed for the practices. Honey is already available in nature.

Traditional beekeeping

Traditional beekeeping is an age-old activity that uses hives made from natural materials (Sahle *et al.*, 2018) and made by the beekeepers themselves. These hives are cylindrical with a single chamber, made from accessible materials such as wood, clay, straw, bamboo, or mud (Gratzer *et al.*, 2021). Honey is harvested from these hives using fire, machetes, and axes (Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020d). Harvesting generally takes place at night because of the aggressiveness of the bees. According to Kastberger *et al.*, (2009), African bees are more aggressive than those from other continents. Most beekeepers in Côte d'Ivoire practice traditional beekeeping (Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020a; Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020d). One of the advantages of traditional beekeeping is that it does not require a great deal of resources, as the materials can be found in nature or are cheap. Beekeepers do not need any special skills (Gratzer *et al.*, 2021).

Modern beekeeping

Modern hives are characterized by mobile frames and high management potential, including honey stored in supers (Gratzer *et al.*, 2021). The Langstroth, Kenyan, and Iritié hives are the modern hives used in Côte d'Ivoire. The Kenyan hive is the most widely used (Ohoueu *et al.*, 2017b; Coulibaly *et al.*, 2019), followed by the langstroth hive (Iritié *et al.*, 2014). The iritié hive is a horizontally elongating hive that provides a living

environment similar to the langstroth hive (Iritié *et al.*, 2015). The Kenyan hive is the most widely used, because it is easy to handle (Nombre, 2003), easy to make, and low in cost (Ohoueu *et al.*, 2017) b; whereas the langstroth hive has a higher capacity in terms of honey storage capacity (Goût *et al.*, 2008). Beekeepers consider a shady environment to be favorable (Kouassi *et al.*, 2018), especially as beekeepers' main activity is farming. However, extraction and storage equipment is only available to modern beekeepers. In 2008, beekeepers owned 12,000 hives (MEF, 2008). The central zone concentrates the maximum number of modern hives, while in the northern zone, traditional gathering and beekeeping persist, even though we note the presence of modern beekeepers (Ohoueu *et al.*, 2017) b. These hives are found in fields, forests, and mango and cashew orchards. The use of modern beehives has several advantages. Installed in orchards, they enable bees to increase crop productivity through pollination, and thus perpetuate biodiversity. The honey obtained is of good quality. Traditional beekeepers and honey gatherers need to be made more aware of the benefits of modern hives for both beekeepers and bees.

Socio-economic impact of beekeeping

Beekeeping has a long history in Côte d'Ivoire. Honey gathering and traditional practices using traditional hives such as clay pots, wood, and tree bark are the best known. This was followed by the first modern practices from 1980 in the department of Katiola (Centre-North), (Kouassi *et al.*, 2018). Thus, for many years, the northern and central areas have been recognized as honey-producing zones (Douhet, 1980) due to their large production quantities. Today, beekeeping is almost widespread in all regions of the country.

Beekeeping contributes to the socio-economic development of populations (Djonwangwe *et al.*, 2011). It helps to increase incomes through trade between beekeepers, manufacturers of beekeeping equipment, consumers, and various intermediaries. Beekeepers range in age from under 30 to over 50, with an average age of 35 and a predominance of men (Ohoueu *et al.*, 2017b; Kouassi *et al.*, 2018; Savadogo *et al.*, 2018; Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020a; Soro *et al.*, 2020). There are not many women beekeepers, as the honey is harvested at night and they fear insect bites. Most of them are honey traders. Beekeeping is practiced incidentally by people in most regions (Savadogo *et al.*, 2018). It is either a source of income, inherited from parents or an activity carried out of passion. Beekeeping experience varies from one region to another, with some beekeepers having more than 10 or 20 years of experience, while others have less than 10 years. Some beekeepers are organized into cooperatives recognized by the authorities (Kouassi *et al.*, 2018), while others are not members of any beekeeping association. This is confirmed by Ohoueu *et al.*, (2017) b, where most beekeepers who are farmers belong to a

cooperative and very few do not belong to any cooperative, and in 2008 there were around 250 beekeepers (MEF, 2008). To date, FENAPCI (National Federation of Beekeepers of Côte d'Ivoire) and UNASCACI (National Union of Beekeepers' Cooperative Societies of Côte d'Ivoire) are recognized by the ministries as the major associations that bring together all the beekeeping cooperatives.

Characterization of honey production and regulations to ensure its quality

Annual honey production

China is the world's largest producer (457,203 tonnes/year) and exporter (322,762 tonnes/year) of honey, followed by Turkey (114,113 tonnes/year), Argentina (79,468 tonnes/year), Iran (77,567 tonnes/year), Ukraine (71,279 tonnes/year), the United States (69,104 tonnes/year) and India (67,442 tonnes/year), giving a global production rate of 26% (FAO, 2020). Following the example of Western countries, beekeeping is being developed in certain African countries such as Uganda, Ethiopia, South Africa, Kenya, and Cameroon (Dietemann *et al.*, 2009), as well as in the Maghreb countries. Ethiopia is in the lead, with production of 50,000 tonnes in 2018 (FAO, 2020), followed by Zambia and several North African countries. In West Africa, Benin, Burkina Faso, Togo, and Nigeria are more advanced in research with studies by Nombre (2003) and Yédomonhan *et al.*, (2009). Beekeeping in Côte d'Ivoire involves the production of honey, beeswax, bee bread, and royal jelly. According to MEF figures (2008), beekeepers produced 645 tonnes of natural honey. Current official figures are not known, and data from the Food and Agriculture Organization (FAO) contain unofficial figures. Despite the country's great honey-growing potential and favorable climatic conditions, production is insufficient to cover the local population's needs and generate exports.

Regulations for preserving honey quality

Due to the different beekeeping practices used (harvesting, traditional, modern) which can impact the nutrients contained in honey, it is necessary to analyze them to check their quality. According to the Codex Alimentarius (2001), for honey to be consumed and exported, it must be of good quality, and this requires it to be analyzed. Analyses enable the quality of honey to be verified and its geographical origin to be identified to promote it. These analyses require the use of cutting-edge equipment and a large sample. A good quality honey that is competitive on the market is one whose physicochemical, pollen, microbiological, and organoleptic characteristics are known and comply with international standards. In Côte d'Ivoire, the honey analyses carried out by researchers in the laboratories used the same methodology for

studying the parameters. The common objective of all the analyses is to assess the quality of the honey to promote it on national and international markets.

Physico-chemical analyses

pH, water content, sugar content, electrical conductivity, and acidity are the parameters that are generally taken into account when studying the physico-chemical quality of honey. For each parameter, a specific methodology was used with the application of SPSS software, ANOVA-ONE WAY, and Bartlett tests for statistical analysis. In general, the results obtained by the authors were presented differently, with significant differences ($p < 0.05$) between the parameters for the majority. They were presented in the form of averages with standard deviations and compared with the international standards of the Codex Alimentarius (see Table 3).

pH and acidity

pH values are measured using a pH meter. The study of this parameter is important because it determines the shelf life of the honey and is an important element in determining the origin of the honey. An acidic honey confirms that the bees have gathered plant pollen and nectar. According to Bogdanov (1995), flower honeys most often have low pH values (3.3-4.6) and honeydew honeys have higher pH values (4.2-5.5). A low pH can inhibit several bacterial pathogens (Naman *et al.*, 2005; Haniyeh *et al.*, 2010). The average pH values reported by authors are 4.02 ± 0.2 and 4.12 ± 0.1 by Iritié *et al.*, 2014b comparing fresh and aged honeys; Diomandé *et al.*, (2018) and Coulibaly *et al.*, (2019) found between 3.7 ± 0.1 and 4.77 ± 0.06 pH values for honeys from the center-west; in the forest-savannah transition, Assi-Kaudjhis *et al.*, (2021) found a pH value of 3.77 ± 0.10 ; in the south, the pH is 3.55 ± 0.46 (Kouamé *et al.*, 2021); Between 2.92 and 3.19 for honey from the north-west and west (Ahui *et al.*, 2022); From 3.93 ± 0.37 for honey from the north (Guédé *et al.*, 2022); Between 3.11 and 4.20 for honey from all regions of Côte d'Ivoire (Yeboué *et al.*, 2021).

The studies carried out by the researchers showed that the acidity (free and total) of the honey complied with the Codex Alimentarius standard (2000; 2001), which is a maximum of ≤ 50 meq/kg, except one honey with 61.15 meq/kg. Iritié *et al.*, (2014) b ($43.54 \pm 0.7 - 42.60 \pm 0.4$); Diomandé *et al.*, (2018) ($16.67 \pm 2.89 - 33.33 \pm 2.89$); Coulibaly *et al.*, (2019) ($16.67 \pm 2.89 - 33.33 \pm 2.89$); Assi-Kaudjhis *et al.*, (2021) (49.00 ± 0.00); (Kouamé *et al.*, 2021) (19.50 ± 4.47); Ahui *et al.*, (2022) ($7.50 - 24.20$); (Guédé *et al.*, 2022) (49.9 and 61.15); (Yeboué *et al.*, 2021) (20.41 ± 5.20). Acidity is a good criterion for evaluating honey. Indeed, it provides information on the level of fermentation of honey.

Variations in pH and acidity are conditioned by extraction and storage techniques as well as processing techniques (Terrab *et al.*, 2002; Nanda *et al.*, 2003). Variations in acidity values may be due to floral origin, location, harvesting season, and honey production management (Gebeyehu and Jalata., 2023).

Water content

The water content is the quantity of water contained in the honey used by the bees for their various transformations. It is one of the most important properties for determining honey quality. It determines maturity, stability against fermentation, and crystallization (Mezhoud, 2013). The higher the water content, the greater the chance of fermentation. Temperature and storage have a significant effect on honey. The higher the temperature, the less moisture the honey contains, and packaging in plastic jars and polypropylene bags can reduce the moisture in honey (Singh and Singh., 2018). The results of the analyses show that the Ivorian honey complies with the Codex standards (2001) because the quantity of water contained in the honey must not exceed 21%: Iritié *et al.*, (2014) b (17.24 ± 0.6 and 17.12 ± 0.6); Assi-Kaudjhis *et al.*, (2021) (17.02 ± 0.02); (Kouamé *et al.*, 2021) (20.2 ± 3.11); Ahui *et al.*, (2022) (20.81 ± 0.75 and 21.79 ± 0.98); (Guédé *et al.*, 2022) (16.72 ± 1.49). These different values are caused by the origin of the flowers and storage.

Sugar content

Analyses show that the majority of Ivorian honeys are sweet and exceed the Codex Alimentarius standard, which must be less than or equal to 65% ($\leq 65\%$). Iritié *et al.* (2014) ($75.4 \pm 1.1 - 80.0 \pm 1.6$) ; Diomandé *et al.*, (2018) ($41.71 \pm 6.54 - 45.5 \pm 0$) ; Coulibaly *et al.*, (2019) (41.71 ± 6.54 to 45.50 ± 0.0) ; Assi-Kaudjhis *et al.*, (2021) (75.23 ± 0.38) ; Kouamé *et al.*, (2021) (78.31 ± 0.19) ; Yeboué *et al.*, (2021) ($78.60 - 83.80\%$) Ahui *et al.*, (2022) ($77.28 \pm 0.71\%$) ; Guédé *et al.*, (2022) ($81.75 \pm 1.56\%$). These differences are linked to the types of flowers foraged by the bees (Louveaux, 1968). Most Ivorian honey comes directly from the hives for analysis. We can say that Ivorian honey is naturally very sweet which confirms that they are nectar's honey.

Table 3. Average values (Mean ± Std) of pH, water content, sugar content, electrical conductivity and acidity of honeys from the Ivory Coast compared with the international standards of the Codex Alimentarius

Authors	pH	Moisture content (%)	Sugar content (%)	Acidity (meq /kg)	Location and the number of samples
	Mean	Mean± Std	Mean± Std	Mean± Std	
Iritié <i>et al.</i> , 2014	4.02±0.2 - 4.12±0.1	17.24 ±0.6 and 17.12 ±0.6	75.4±1.1 - 80.0±1.6	43.54±0.7 - 42.60 ±0.4 (free)	Centre (Samples not specified)
Diomandé <i>et al.</i> , 2018	3,7 ± 0,1 à 4,77 ± 0,06		41,71±6,54- 45,5%±00	16,67±2,89- 33,33±2,89 (Total acidity)	Centre-West (4 samples)
Coulibaly <i>et al.</i> , 2019	3,7 à 4,77		41,71 ± 6,54 à 45,50 ± 0.0	Between 16.67 ± 2.89 - 33.33 ± 2.89 (Total acidity)	Centre-West (50 samples)
Assi-Kaudjhis <i>et al.</i> , 2021	3,77± 0,10	17,02± 0,02	75,23± 0,38	49,00± 0,00 (Total acidity)	Centre (Samples not specified)
Kouamé <i>et al.</i> , 2021	3.55±0.46	20,2±3,11	78,31±0,19	19,50±4,47 (libre)	South-East (5 samples)
Yeboué <i>et al.</i> , 2021	3.11 - 4.20		78,60 - 83.80 %	7,50 - 24,20 (Total)	South, Centre, West, North, Centre-East, Centre-West, North-West, North-East
Ahui <i>et al.</i> , 2022	2.92 et 3.19	20.81 ±0.75 et 21.79 ± 0.98	77.28 ± 0.71%	49.9 et 61.15	North-West, West (18 samples)
Guédé <i>et al.</i> , 2022	3.93 ± 0.37	16.72 ± 1.49	81.75 ± 1.56%	20.41 ± 5.20 (free acidity)	North (From markets) 60 samples
Norme Codex Alimentarius, 2000, 2001	[3.5– 4.5] Nectar [5 – 5.5] Honeydew	≤ 21 % With some exceptions	≤ 65 %Nectar honey; ≤ 45% miellat honey; ≤ 53% Mixed honey	≤50 meq /kg All types of honey	

Electrical conductivity

The electrical conductivity values vary between 98.01 ± 31 (Kouamé *et al.*, (2021) and $705.72 \pm 0.9 - 597.80 \pm 1.5$ (Iritié *et al.*, 2014) b which comply with Codex Alimentarius standards. According to Fechner *et al.*, (2016), the types of plants foraged by bees and the phytogeographical situation influence this conductivity. It can be used to detect the botanical origin of honey.

Pollen analysis

Pollen analysis or melissopalynological analysis is used to check the geographical and floral origin of honey (Von Der Ohe *et al.*, 2004). The contents of the honey are analyzed and the pellets obtained are mounted between slides under an optical microscope to check for the presence of pollens, which are the floral male elements collected by the bees. This is an excellent technique for detecting adulterated honey. The adulteration of honey is one of the problems facing consumers. Given the meteorological and climatic phenomena that affect bees and honey production, the scarcity of honey has led to adulteration (Záborská & Vorlová, 2015). Several methods exist for pollen analysis of honey. In Côte d'Ivoire, the Erdtman method (1960) is the most widely used, involving the acetolysis of honey. The results of the studies found pollen-rich honey (Diomandé *et al.*, 2018; Assi-Kaudjhis *et al.*, 2021). These are multifloral honeys resulting from the foraging of several plant species. They reflect the diversity and specific richness of Ivorian vegetation. (See figure 3).

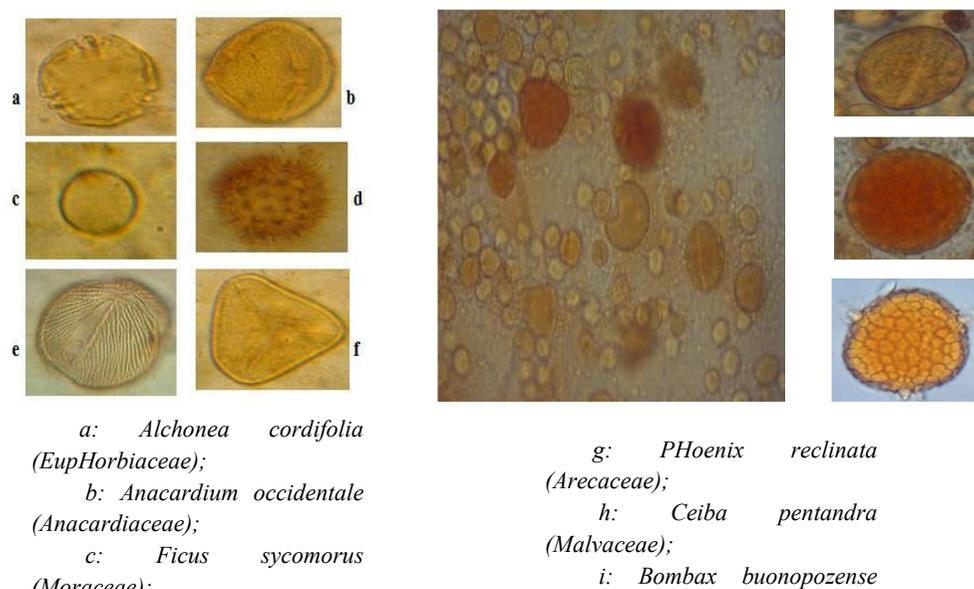


Figure 3. Samples of honeys from the forest-savannah transition overview of pollen content

Other analyses

Urbanization, environmental pollution (Goretti *et al.*, 2020), and the use of pesticides (Forfert *et al.*, 2017) are major problems facing bees in the 21st century. The consequences of these phenomena can lead to the contamination of honey, and its consumption can pose a risk to the population. This requires verification by toxicological and biological analyses.

The northern and central regions of Côte d'Ivoire are major agricultural areas where cocoa, cotton, cashew nuts, mangoes, and food crops are grown. The use of pesticides is more common. These areas are also major beekeeping zones (Douhet, 1980). Ohoueu *et al.*, (2017) stated that the results in these areas only represent a snapshot of pesticide residues present in bee products and contribute very little to toxicological risks. In addition, the honey samples studied are free from any real contamination by PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) and total aflatoxins (0,067 to 0,813 $\mu\text{g.kg}^{-1}$) (Gnonsoro *et al.*, 2018). Honey from Côte d'Ivoire is recommended because of its content, which has an appreciable antioxidant profile due to the presence of numerous total flavonoids (0.028 ± 0.001 mg QE /g honey to 0.278 ± 0.004 mg QE /g honey), Total Phenol (0.747 ± 0.005 to 4.349 ± 0.001 mg GAE /g honey) and it is a prophylactic product (Kabran *et al.*, 2021). The honey from these different regions is all of good quality and meets the standards of the International Standard for the Quality of Honey. Ivorian honey has a sweet taste, with colors that vary from yellow (orange-yellow, dark yellow) to brown (light brown, dark brown, or caramelized) and texture (semi-crystallized or fluid) (Coulibaly *et al.*, 2019; Yéboué *et al.*, 2021).

In conclusion, all Ivorian honeys are of floral origin and fresh. The majority of honey quality analyses were carried out by combining two analyses, such as physico-chemical and biological analyses, physico-chemical and sensory analyses, and physico-chemical and pollen analyses. Except for Iritié *et al.* (2014b) and Kouamé *et al.* (2021), who tested only physicochemical constituents, Ohoueu *et al.* (2017a) and Gnonsoro *et al.*, (2018) focused on pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbons, and aflatoxins, which can contaminate honey. The studies confirm that Ivorian honeys meet international standards because they are of good quality and present no danger for consumption.

These are Opportunities

Côte d'Ivoire is divided into four main climatic zones. These are the Guinean zone in the south, the Sudano-Guinean zone in the center, the Sudanian zone in the north, and the mountainous zone in the west. The Guinean zone is characterized by a sub-equatorial climate with two rainy seasons and two dry seasons. The Sudano-Guinean zone has an equatorial climate. transition between the Guinean and Sudanian climates. It also has two

rainy seasons and two dry seasons. The Sudanian zone is characterized by one rainy season and one dry season and has a subhumid tropical climate (Siéné *et al.*, 2020). Côte d'Ivoire's climate offers better conditions for bee activity. Climatic conditions are important at every stage in the development of bees, for the smooth running of their activity and the availability of their nutritional resources. For beekeepers, they favor the honey harvest, which takes place twice a year, with a short season in October and November and a long season from March to May.

The vegetation in the north consists mainly of tree and shrub savannahs, wooded savannahs, open forests, and forest galleries along watercourses, while the Guinean domain is dominated by dense evergreen, deciduous, and semi-deciduous moist forests (Guillaumet and Adjanohoun, 1971). The Sudanese domain includes orchards. The Guinean domain alone accounts for 90% of the plant species recorded in Côte d'Ivoire (Aké-Assi, 2002; Kouamé *et al.*, 2010). The majority of hives are located near cultivated areas such as mango, cashew, cotton, cocoa, and market gardening. The diversity of flora and the flowering of plants throughout the year, especially melliferous plants, provide bees with a better source of nutrients. They don't need to be fed sugars. They will produce unique and different qualities of honey depending on the plants they visit.

Côte d'Ivoire's diverse flora and climate offer bees a high potential for producing honey. These assets are essential for good honey productivity. Beekeeping helps to increase the income of the local population and reduce poverty. In addition, Côte d'Ivoire has a young and dynamic population, which promises to boost the beekeeping sector and reduce unemployment.

Challenges

Socio-economic

Insufficient funding

Modern beekeeping is developing in Côte d'Ivoire. The government's lack of involvement in decision-making to improve the sector and the shortage of beekeeping production equipment are holding back its development. The focus is more on cash crops Initiatives have been taken by NGOs, the UNDP, and FIRCA, but these are insufficient to ensure the sustainability of beekeeping.

Supervision difficulties

Failure to master beekeeping practices can hinder the development of the beekeeping sector. The first cause is the level of education of beekeepers, especially older beekeepers, some of whom have no formal education while others have a low level. The second cause is the lack of training for beekeepers in the use of equipment and the protection of endangered bees. They are keen

to improve, but there is a lack of funding and no marketing circuit (Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020b).

Difficulties in promoting products

Beekeepers have no support, the marketing circuit is not regulated and it is difficult for beekeepers to promote their products. In addition, product prices are not fixed and vary from one beekeeper to another, and from one region to another. According to Kouassi *et al.*, (2018), in Katiola in the years 2016 and 2017 honey was sold between 1610 and 1955 F CFA by beekeepers and from 2010 FCFA by consumers. (Ohoueu *et al.*, 2017) state that honey is sold on average at 2000 F per kilogram in the central and northern zones. These prices are higher than the price of honey in Benin, which is 1600 CFA francs (Ahouandjinou *et al.*, 2016). Price variations are justified by its scarcity and low production (Khenfer and Zitouni., 2014). In addition, prices are higher in large cities where consumers' purchasing power is higher (Kouassi *et al.*, 2018).

Environmental

Bees worldwide have had to contend with numerous environmental stressors for several decades. These threats cause bee desertions (Ouhoueu *et al.*, 2017; Savadogo *et al.*, 2018; Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020a).

Deforestation

Deforestation is one of the major problems in Côte d'Ivoire (Kouassi *et al.*, 2021). From 7.9 million hectares in 1990 to 3.4 million hectares in 2015 (BNETD,2016; FAO. SEP-REDD+,2017). Its origins are diverse, namely the transformation of forests into agriculture, transport, and urbanization. Also, honey hunting, which results in the felling of trees (Kouassi *et al.*, 2018), even if it is minimal, contributes to deforestation. The transformation of forests into monocultures, urbanization, and road building are all sources of bee desertion and mortality.

Bush fires

The center of the country is very susceptible to bushfires (Dahan *et al.*, 2021), as is the north. Savannah regions are more regularly confronted with bushfires more than forest regions (Soro *et al.*, 2020). Also, the activities of honey gatherers lead to the destruction of bee colonies (Kouassi *et al.*, 2018), as do bushfires that burn hives (Assi-Kaudjhis *et al.*, 2020c), causing losses to beekeepers and killing honey bees.

Climate change

Climate change is one of the major problems affecting all sectors of activity. Especially in beekeeping, the temperature affects honey production through the reduction of plants' nectar and influences honey bees' behavior.

Pesticides

Particularly in Côte d'Ivoire, bee colony desertions and collapses are due to the use of pesticides (Ohoueu *et al.*, 2017b). Insecticides, fungicides, and herbicides are used in fields to control pests. According to (Ohoueu *et al.*, 2017a) they contain five molecules (atrazine, cypermethrin, chlorpyrifos, metalaxyl, and profenofos) detected in honey samples that are used by farmers in cotton, cocoa, and food crops. In addition to environmental degradation in favor of urbanization, transport, and intensive agriculture significantly affect bees' exposure to pesticides (Xiao *et al.*, 2022), whose physical and chemical properties influence the extent and duration of exposure and, ultimately, toxicity (Rortais *et al.*, 2017). This can lead to a deterioration in the health of the bees and weaken the colony (Migdał *et al.*, 2018)

Perspectives

The state of the art of beekeeping in Côte d'Ivoire and the difficulties it faces lead us to take measures to reframe the sector:

Train beekeepers in good beekeeping practice and support projects along these lines.

Training centers need to be set up to teach beekeeping skills, and schools and colleges need to be introduced to the concept of beekeeping. Draw up a list of beekeepers in every region of Côte d'Ivoire and convert bee-gatherers into modern beekeepers by making them aware of the impact their activities have on the environment. Regulate marketing and apply a typical standard for Ivorian honey.

Scientific research

Encourage scientific research into bees, honey plants, and analyses, and extend it to all regions. To date, no laboratory specializes solely in the study of honeys and their constituents. The creation of this laboratory will make it possible to analyze a large number of samples of all the honey in Côte d'Ivoire over a short period.

Protecting bees and plant species

People need to be made aware of the need to protect bees, plants, and their ecosystem services. This also involves reforestation activities and sanctions to preserve species.

Conclusion

The *Apis mellifera* type of bee is the best known for honey production, although other types of bees also exist and produce honey. Species from the Fabaceae, Asteraceae, Rubiaceae, and Euphorbiaceae families are the most foraged by bees and the majority are cultivated plants. Analysis of Ivorian honey shows that they are of good quality, rich in pollen, and pose no risk to consumption. Côte d'Ivoire, with its abundant plant potential and varied climatic conditions, is in a position to develop beekeeping healthily.

However, the lack of mastery of beekeeping practices due to the lack of training, the level of education, and the weak commitment of the State to the beekeeping sector are obstacles to its development and sustainability for the years to come. To modernize the sector, we need to combine the efforts of the authorities, take into account the recommendations of scientific publications, and encourage the population to understand the importance of preserving plants and bees by practicing modern beekeeping.

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

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

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

References:

1. Adjlane, N., Doumandji, S.-E., & Haddad, N. (2012). Situation de l'apiculture en Algérie : facteurs menaçant la survie des colonies d'abeilles locales *Apis mellifera intermissa*. *Cah Agric*, 21, 235–241.
2. Ahouandjinou TB, Yédomonhan H, Adomou AC, Tossou MG, Akoegninou A. 2016. <http://www.m.elewa.org/JABS/2010/33/9.pdf>
3. Ahouandjinou, S. T. B. A., Yédomonhan, H., Tossou, G. M., Adomou, A. C. A., & Akoègninou, A. (2017). Diversité des plantes mellifères de la zone soudanienne : cas de la forêt classée des collines de Kouandé, Nord-Ouest du Bénin Résumé Abstract Melliferous plants diversity in Sudanese zone : case of the classified forest of. *Afrique Science*, 13(April), 149–163.
4. Ahui, B. L. M., Assanvo, J. B., Bitty, A. E., Foua, A. B., & Coxam, V. (2023). Nutritional qualities and biochemical parameters of two honeys from Côte d'Ivoire. *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4(5), 128–137. <https://doi.org/10.36349/easjnfs.2022.v04i05.002>
5. Aké-Assi L., 2002, Flore de la Côte d'Ivoire : catalogue systématique biogéographique et écologique. *Mémoire de Botanique*. Boissiera 58 tome II, 401p.

6. Assi-Kaudjhis, C. K., Coulibaly, K., Kouadio, B. K. N'guessan, K. (2020) a. Place of beekeeping in the senoufo society Côte d'Ivoire: case of the department of korhogo (Côte d'Ivoire). *Journal of Global Biosciences*, 9(10), 8035-8048.
7. Assi-Kaudjhis, C., Ebah, E., & Savadogo, S. (2020) b. Uses of Beehive products by the Baoule population, central Côte d'Ivoire. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 9(11), 639–644. <https://doi.org/10.21275/SR201105113355>
8. Assi Kaudjhis, C., Kouadio, K., Aké Assi, E., & N'guessan, K. (2020) c. Issn: 2230-9926 Research article open access melliferous plant diversity in The forest-savanna transition zone in Côte d'Ivoire: Case of Toumodi department. *International Journal of Development Research*, 10(11), 41819–41827.
9. Assi- kaudjhis, C. Bolou, G. E-K., Savadogo S. & Koffi N. (2020) d; Traditional and modern beekeeping practices in the center of Côte d'Ivoire: the case of the western part of Yamoussoukro; *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)* 10(11) (ISSN: 2250-3153), DOI: <http://dx.doi.org/10.29322/IJSRP.10.11.2020.p10743>.
10. Assi-Kaudjhis, C. K., Bolou, G. E., Ouattara, S., & Biosciences, U. F. R. (2021). Melissopalynological and physico-chemical analysis of honey from the beekeeping cooperative of Toumodi (Côte d'Ivoire). *International Journal of Scientific and Research Publications*, 11(2), 399–408. <https://doi.org/10.29322/Ijsrp.11.02.2021.P11048>
11. Assi Kaudjhis, C., Kaboré, H. C., & Yao, K. (2023). Diversity of honey plants in the sudanian zone: case of the ferme des trois lacs in the department of dabakala (Center-North, Côte d'Ivoire). *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 22(1), 1–10.
12. Balagueman, O. R., Detchi B. Y., Biau S. S. H., Kanlindogbe, C. et Natta, A. K. 2017.) ‘‘Diversité de la flore mellifère le long du gradient pluviométrique au Bénin,’’ *Annales de l'Université Parakou, Série « Sciences Naturelles et Agronomie »*, vol. 7, no. 1, pp. 64-72.
13. BNETD. *Réalisation d'une Étude Sur : Identification, Analyse et Cartographie des Causes de la Déforestation et de la Dégradation des Forêts en Côte d'Ivoire* ; Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement (BNETD) : Abidjan, Côte d'Ivoire, 2016.
14. Bogdanov, S., Bieri, K., Figar, M., Figueiredo, V., Iff, D., Känzig, A., Stöckli, H. et Zü rche K. 1995. Miel : définition et directives pour l'analyse et l'appréciation. Centre Suisse de Recherches Apicoles.1-26.

15. Bogdanov, S. (2006). Contaminants of Bee Products Review article Contaminants of Bee Products 1. *Apidologie*, November 2005. <https://doi.org/10.1051/apido>.
16. Borneck R., L'apiculture en Côte d'Ivoire, *Revue Française d'Apiculture*, 344 (1976) 334 - 339
17. Brou, A. A., Eboua, N. W., Kouabenan, A., & Iritie, B. M. (2019). Caractérisation morphométrique des abeilles mellifères élevées dans le centre de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 15(1857–7881). <https://doi.org/10.19044/Esj.2019.V15n6p155>
18. Chauzat, M., Faucon, J., Martel, A., Lachaize, J., Cougoule, N., & Aubert, M. (2006). A survey of pesticide residues in pollen loads collected by honey bees in France survey of pesticide residues in pollen loads collected by honey bees in France. *BioOne*, 99(2), 253–262.
19. Cheng, Z., Luo, B., Fang, Q., & Long, C. (2020). Ethnobotanical study on plants used for traditional beekeeping by dulong people in Yunnan, China. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 16(1), 1-13.
20. Codex, 2001. Programme mixte FAO /OMS sur les normes alimentaires. Commission du Codex Alimentarius. ALINORM 01/25, p1-31.
21. Cortopassi-Laurino, M., Imperatriz-Fonseca, V. L., Roubik, D. W., Dollin, A., Heard, T., Aguilar, I., ... & Nogueira-Neto, P. (2006). Global meliponiculture: challenges and opportunities. *Apidologie*, 37(2), 275-292.
22. Coulibaly S., Ouattara D., Edoh, T. T., Koudegnan, C. M. M., & Kamanzi, K. (2013). Diversité et configuration de la flore ligneuse autour d'un rucher en zone de transition forêt-savane de la Côte d'Ivoire. *European scientific journal*, 9(6), 1857-7881.
23. Coulibaly S. *Potentialités de production mellifère de la flore de transition forêt-savane, en zone Guinéenne et caractérisations pollinique et physico-chimique de quelques miels de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest)*. 2014. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire.
24. Coulibaly S, Ouattara D, Koulibaly A, Kamanzi K. 2019. Potentiel mellifère de la flore du Centre-Est de la Côte d'Ivoire : Intérêt pour l'apiculture moderne. *Agronomie Africaine* N° spécial 8.
25. Coulibaly., Diomandé, M., Konaté, I., & Bohoua, G. L. (2019). Qualité microbiologique, propriétés physicochimiques et profil sensoriel de miels de la région du Worodougou, Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 15(30). <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n30p72>

26. Coulibaly, S., Koudegnan, C. M., & Dro, B. (2021). Caractérisation de l'activité de butinage du pollen par l'abeille mellifère au centre-est de la côte d'Ivoire : Intérêt pour l'apiculture. 50(1), 9014–9021.
27. Couvillon, M. J., Riddell Pearce, F. C., Acclerton, C., Fensome, K. A., Quah, S. K., Taylor, E. L., & Ratnieks, F. L. (2015). Honey bee foraging distance depends on month and forage type. *Apidologie*, 46, 61-70.
28. Crane, E. (1999). *The world history of beekeeping and honey hunting*. Routledge.
29. Dahan Kueshi Sémanou (2020) Feux, Dynamique du couvert végétal et changement climatique en zone de contact forêt-savane : Cas du département de Toumodi au centre de la Côte d'Ivoire. Mémoire de Master, Université Félix Houphouët Boigny, 71p.
30. De Layens G, et Bonnier G. 1997. Cours complet d'apiculture et conduite d'un rucher isolé. Éditions Belin, Paris, France 458 p.
31. Dietemann, V., Pirk, C. W. W., & Crewe, R. (2009). Is there a need for the conservation of honeybees in Africa? *Apidologie*, 40(3), 285-295.
32. Diomandé M, Coulibaly S, Koko A C et Bahoua L G., 2018, Identification des plantes mellifères et propriétés physicochimiques de miels de la région du Worodougou, Côte d'Ivoire. *International Journal of Current Research* vol 10, issue, 04, pp 67583-67590 April 2018.
33. Djonwangwe D., Fohouo F.-N. T., Messi J. et Bruckner D. (2011). "Impact de l'activité de butinage de *Apis mellifera* adansonii Latreille (Hymenoptera : Apidae) sur la pollinisation et la chute des jeunes fruits du karité *Vitellaria paradoxa* (Sapotaceae) a Ngaoundere (Cameroun)," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 5, no. 4, pp. 1538-1551.
34. Djonwan F D., 2018, Etude comparative de la qualité des miels locaux et importés en Côte d'Ivoire. Thèse de diplôme d'Etat de docteur en pharmacie de Université Felix Houphouët Boigny 82 p.
35. Dongock, D. N. Tchoumboue J., Pinta J. Y. et Zango P., "Caractéristiques polliniques des plantes mellifères de la zone soudano-guinéenne d'altitude de l'ouest Cameroun," *Tropicultura*, vol. 26, no. 3, pp. 150-154, 2008.
36. Douhet, M. (1980). L'apiculture en Côte d'Ivoire. Régions Nord et Centre.
37. Erdtman G., 1969: Pollen and spores' preparations: the acetolysis method. In *Handbook of palynology*, Munksgaard, Copenhagen, 213-216. [2]

38. FAO. SEP-REDD+. *Données Forestières de Base Pour la REDD+ en Côte d'Ivoire : Cartographie de la Dynamique Forestière de 1986 à 2015* ; FAO : Abidjan, Côte d'Ivoire, 2017.
39. FAO, F. Y. (2020). United Nations (1990); United Nations, United Nations Statistical Yearbook, International Economic and Social Affairs Department (1992). Environmental Protection Agency (EPA), Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Ecosystems (Intergovernmental Panel on Climate Change Report, Washington, DC, 1990).
40. Fechner D C, Mores A L, Riuz Diaz J D, Pellerano R G et Vazquez F. A., 2016, Multivariate classification of honeys from Carrientes (Argentina) according to geographical origin based on physicochemical properties. *Food Biosci.* 15: 49-54.
41. Forfert, N., Troxler, A., Retschnig, G., Gauthier, L., Straub, L., Moritz, R.F.A., Neumann, P., Williams, G.R., 2017. Neonicotinoid pesticides can reduce honeybee colony genetic diversity. *PLoS One* 12, e0186109.
42. Gebeyehu, H. R., & Jalata, D. D. (2023). Physicochemical and mineral contents of honey from Fitcha and Addis Ababa districts in Ethiopia. *Food Chemistry Advances*, 2, 100177.
43. Gnonsoro, U. P., Kouassi, N. L. B., Kouakou, K. J.-M., Dembele, A., & Trokourey, A. (2018). Polycyclic aromatic hydrocarbons and aflatoxins (b1, b2, g1 & g2) contamination in honey from Korhogo, Côte D'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 31, 55–65. <http://www.revist.ci>
44. Goretti, E., Pallottini, M., Rossi, R., La Porta, G., Gardi, T., Cenci Goga, B.T., Elia, A.C., Galletti, M., Moroni, B., Petroselli, C., Selvaggi, R., Cappelletti, D., 2020. Heavy metal bioaccumulation in honey bee matrix, an indicator to assess the contamination level in terrestrial environments. *Environ. Pollut.* 256, 113388.
45. Goût J., 2008. 250 réponses aux questions d'un ami des abeilles, éd. Le gerfaut, France. p. 143.
46. Gratzner, K., Wakjira, K., Fiedler, S., & Brodschneider, R. (2021). Challenges and perspectives for beekeeping in Ethiopia. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(4), 1-15.
47. Guédé, S. S., Yeo, D. M., Soro, Y. R., & Toure, A. (2022). Physicochemical characterization of local honeys marketed in Korhogo town. *GSC Biological and pharmaceutiques sciences* 21(02), 135–145.
48. Guillaumet, J.-L. et Adjanohoun, E., La végétation de la Côte d'Ivoire, In : J. M. Avenard, E.

49. Eldin, G. Girard, J. Sircoulon, P. Touchebeuf, J.-L. Guillaumet, E. Adjanohoun et A. Perraud, (Eds.), *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, ORSTOM, Paris, France, pp. 157-266, 1971.
50. Haniyeh K, Seyyed MS, Hussein M. Preliminary study on the antibacterial activity of some medicinal plants of Khuzestan (Iran). 2010. *Asian Pac J Trop Med* ; 3(3): 180-184.
51. Iritié, B. M., Agr, I., Paraiso, A. A., Fantodji, A., Gbomene, L. L., & Agr, I. (2014) a. Identification des plantes mellifères de la zone agroforestière de l'école supérieure agronomique de Yamoussoukro (Côte D'Ivoire). 10(30), 444–458.
52. Iritié, B. M., Wandan, E. N., Yapi, Y. M., Bodji, N. C., Mensah, G. A., & Togbe Fantodji, A. (2014) b. Comparaison des caractéristiques physicochimiques des miels frais et âgés récoltés dans le rucher de l'arboretum de l'Ecole Supérieure Agronomique de Yamoussoukro en Côte d'Ivoire. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 76, 23-29.
53. Iritié, B. M., Magloire, Y., Wandan Eboua, N., & Bodji Nguessan, C. (2015). Ruche Iritié à élongation horizontale, une innovation pour l'optimisation apicole et culturale. *Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, June 4-6, 2013*, 371.
54. Janssens, X., Bruneau, É., & Lebrun, P. (2006). Préviation des potentialités de production de miel à l'échelle d'un rucher au moyen d'un système d'information géographique. *Apidologie*, 37(3), 351-365.
55. Kabran, G. M. R., Yeboue, A. K., Adopo, S. F. S., & Janat, M. A. (2021). Chemical characterization and in vitro antioxidant activity of honey from different localities of Côte D'Ivoire. *Chemical Science International Journal*, 30(6), 22–34. <https://doi.org/10.9734/CSJI/2021/v30i6302366>
56. Kastberger G, Thenius R, Stabentheiner A, Hepburn R (2009) Aggressive and docile colony defense patterns in *Apis mellifera*. A retreater-releaser concept. *J Insect Behav* 22:65–85. <https://doi.org/10.1007/s10905-008-9155-y>
57. Keller, I., Fluri, P., & Imdorf, A. (2005). Pollen nutrition and colony development in honey bees: part 1. *Bee World*, 86(1), 3-10.
58. Khenfer A. et Zitouni G. (2014). Miel et commercialisation, Ed Institut technique des élevages ITELV, Birtouta, Alger, Algérie, 46 P.
59. Kouamé N.F, Koualibaly A, Porembski S, Traoré D et Aké-Assi L., 2010, la biodiversité : Etat des lieux et facteurs de menace. Article de journal pp. 162-273.
60. Kouamé, K., Kaudjhis Chimène, A., Kiyinlma, C., & N'dja Justin, K. (2020). Inventaire et identification des plantes mellifères de la zone

- Guinéenne : cas de la forêt Yapi Daniel et extension (sud de la Côte D'ivoire). *European Scientific Journal*, ESJ, 16(33), 315. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p315>.
61. Kouamé, K. F., Gbouhoury, E.-K. B., Fofié, N. B. Y., & Kassi, N. J. (2021). Caractéristiques physicochimiques récoltés des miels de la sous-préfecture de Cecchi (dans le département d'Agboville, Côte D'ivoire). *European Scientific Journal Esj*, 17(34), 286–300. <https://doi.org/10.19044/Esj.2021.V17n34p286>
 62. Kouassi, D. F., Ouattara, D., Coulibaly, S., & N'guessan, K. E. (2018). La cueillette, la production et la commercialisation du miel dans le Département de Katiola (Centre-Nord, Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(5), 2212-2225.
 63. Kouassi, J. L., Gyau, A., Diby, L., Bene, Y., & Kouamé, C. (2021). Assessing land use and land cover change and farmers' perceptions of deforestation and land degradation in South-West Côte d'Ivoire, West Africa. *Land*, 10(4), 429.
 64. Koné, D., Ouattara, N. D., Iritie, B. M., & Wandan, E. N. (2019). Caractéristiques structurales et importance relative de la flore ligneuse autour de deux ruchers installés dans la forêt classée de Badenou (Nord de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 26(4), 1052-1065.
 65. Kouonon, L. C., Yao, Y. E. P., Goba, K. A. E., Koffi, K. A., Koffi, K. G., & Adepo-Gourene, A. B. (2020). Évaluation de la diversité morphologique d'*Apis Mellifera* L. *Adansonii* (Latreille, 1804) dans le district du Bas-Sassandra, Sud-Ouest de la Côte D'ivoire. *Afrique Science*, 17(4), 139–152.
 66. Le Conte, Y., & Navajas, M. (2008). Changements climatiques : Impact sur les populations d'abeilles et leurs maladies. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.*, 27(2).
 67. Louveaux, J. 1968. Composition, propriétés et technologie du miel. In: Chauvin R. *Traité de biologie de l'abeille*. Editions Masson et Cie, Paris, Tome 3, pp 277-324.
 68. MEF (Ministère de l'Economie et des Finances), 2008. Rapport National d'Investissement de la Côte d'Ivoire. Conférence de haut niveau sur : L'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique : les défis du changement climatique. Syrte, Jamhiriya Arabe Libyenne, 15-17. 12p.
 69. Mezhoud I., 2013. Analyse physico-chimique et étude de l'adultération de miels de la région de Béjaïa. Mémoire de fin d'étude de master académique en chimie, faculté des sciences exactes, département de Chimie. Université A. MIRA - Béjaïa. p. 41.

70. Migdał, P., Roman, A., Popiela-Pleban, E., Kowalska-Górska, M., & Opaliński, S. (2018). The impact of selected pesticides on honey bees. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(2).
71. Naman M., Faid M., El Adlouni C. (2005). Microbiological and physico-chemical properties of Moroccan honey. *International Journal of Agriculture & Biology*, 7: 773–776.
72. Nanda, V., Sarkar, B., Sharma, H., & Bawa, A. (2003). Physicochemical properties and estimation of mineral content in honey produced from different plants in Northern India. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16(5), 613–619. doi :10.1016/S0889-1575(03)00062-0.
73. Nombre I. (2003) Etude des potentialités mellifères de deux zones du Burkina Faso Garango (Province du Boulgou) et Nazinga (Province du Nahouri). Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou.
74. Nombré, I., Schweitzer, P., Sawadogo, M., Boussim, J. I., & Millogo-Rasolodimby, J. (2009). Assessment of melliferous plant potentialities in Burkina Faso. *African Journal of Ecology*, 47(4), 622-629.
75. Ohoueu, E., Iritie, B., Eboua, W., Elleingand, E., & Dembele, A. (2017) a. Contamination of bee products by pesticides in Cote d'Ivoire. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*, 5(11), 99–110.
76. Ohoueu, E. J. B., Wandan, E. N., Conférences, M. De, Kone, D., Doctorant, I., Assielou, B. A., Doctorant, D. E. A., Ardjouma, D., & Recherche, M. De. (2017) b. Impact de l' utilisation des produits phytosanitaires en production cotonnière et cacaoyère sur la production apicole en Côte D'Ivoire. 13(9), 42–55. <https://doi.org/10.19044/Esj.2017.V13n9p42>
77. Paraíso, A., Viniwanou, N., Akossou, A., Mensah, G., & Abiola, W. (2011). Caractérisation morphométrique de l'abeille *Apis Mellifera adansonii* Au Nord-Est du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(1), 331–344. <https://doi.org/10.4314/Ijbc.V5i1.68109>
78. Peter, D. P. L'apiculture. (2008). Editions Qua, CTA, Presses agronomiques de Gembloux. Versailles, France ; Wageningen, Pays-Bas ; Gembloux, Belgique, 158 p.
79. Piroux, M. (2014). Ressources pollinifères et mellifères de l'Abeille domestique, *Apis Mellifera*, en paysage rural du nord-ouest de la France (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).
80. Rortais, A., Arnold, G., Dorne, J. L., More, S. J., Sperandio, G., Streissl, F., ... & Verdonck, F. (2017). Risk assessment of pesticides and other stressors in bees: principles, data gaps and perspectives from

- the European Food Safety Authority. *Science of the total environment*, 587, 524-537.
81. Sahle H., Enbiyale G., Negash A., Neges T. (2018). Assessment of Honey Production System, Constraints and Opportunities in Ethiopia. *Pharmacol Int J* 6(1):42–47. <https://doi.org/10.15406/Ppij.2018.06.00153>
 82. Savadogo, S., Assi Kaudjhis, C., & N Guessan, K. (2018). Note sur la place de l'apiculture dans la société baoulé en Côte d'Ivoire : cas de deux villages du district de Yamoussoukro. Short paper about the place of beekeeping in Baoulé Society in Ivory Coast: Case of two villages of Yamoussoukro district. *Une. Geo-Eco-Trop*, 42(1), 199–206.
 83. Siéné, L. A. C., Condé, M., Bayala, R., N'guettia, T. V. F., & Kouadio, A. F. B. (2020). Réponse de deux variétés locales de maïs (*Zea mays* L.) à deux types de fertilisation en conditions de déficit hydrique post-floral en zone soudanienne en Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 29(3), 443-455.
 84. Singh, I., & Singh, S. (2018). Honey moisture reduction and its quality. *Journal of food science and technology*, 55, 3861-3871.
 85. Soro, N. A., Kouakou, L. M. M., Ouattara, N'golo, K., Koné, A., Silué, D., & Yeo, K. (2020). Connaissances traditionnelles des populations locales à la périphérie du parc national de la Comoé sur les abeilles sociales dans le Nord-Est de la Côte D'Ivoire. *Afrique Science*, 17(2), 1–10. <http://www.afriquescience.net>
 86. Soro TD, Koné M, N'Dri AB, N'Datchoh ET. Identified main fire hotspots and seasons in Côte d'Ivoire (West Africa) using MODIS fire data. *S Afr J Sci*. 2021;117(1/2), Art. #7659. <https://doi.org/10.17159/sajs.2021/7659>
 87. Szabo, T. I., & Lefkovitch, L. P. (1988). Fourth generation of closed population honeybee breeding. 2. Relationship between morphological and colony traits. *Apidologie*, 19(3), 259–274. <https://doi.org/10.1051/apido:198803066>
 88. Terrab, A., Vega-Perez, J. M., Díez, M. J., & Heredia, F. J. (2002). Characterization of North-west Moroccan honeys by gas chromatographic-mass spectrometric analysis of their sugar components. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(2), 179–185. doi:10.1002/jsfa.1011.
 98. Tuo, Y., Coulibaly, D., Coulibaly, T., Bakayoko, S., & Koua, K. H. (2019). Role of two agrosystems (mango and cashew trees orchards) in bees' activity increasing within beehives in Korhogo, Northern Ivory Coast (West Africa). *Entomology and Applied Science Letters*, 6(3), 48-54.

99. Von Der Ohe, W., Oddo, L. P., Piana, M. L., Morlot, M., & Martin, P. (2004). Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie*, 35(Suppl. 1), S18-S25.
100. Xiao, J., He, Q., Liu, Q., Wang, Z., Yin, F., Chai, Y., Yang, Q., Jiang, X., Liao, M., Yu, L., Jiang, W., & Cao, H. (2022). Science of the total environment analysis of honey bee exposure to multiple pesticide residues in the hive environment. *Science of the Total Environment*, 805, 150292. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150292>.
101. Yeboué, A. K., Roger, M., Kabran, G., Sorokina, A. E., Adou, A. D., & Kouassi, C. K. (2021). Physical, physicochemical, and nutritional profile of honey produced in nine localities in Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(April), 846–859.
102. Yédomonhan H., 2009. Plantes mellifères et potentialités de production de miel en zones guinéenne et soudano-guinéenne au Bénin. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi (Bénin). 273 pp.
103. Záborská, B., & Vorlová, L. (2015). Adulteration of honey and available detection methods—a review. *Acta Veterinaria Brno*, 83(10), 85-102.

Caractéristiques de la Régénération Naturelle de la Végétation Contractée des Plateaux de l'Ouest du Niger Suivant les Gradients Pluviométrique et d'Anthropisation

Amadou Aboubacar

Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Issoufou Bagnian

Faculté des Sciences Agronomiques,
Université Djibo Hamani, de Tahoua, Niger

Abdou Laouvali

Faculté des Sciences Agronomiques,
Université de Diffa, Diffa, Niger

Iro Dan Guimbo

Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p74](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p74)

Submitted: 15 August 2023

Accepted: 06 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Aboubacar A., Bagnian 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.v19n30p74>

Résumé

La végétation contractée de l'ouest du Niger est affectée par les effets des changements climatiques, l'expansion des champs et l'exploitation anarchique du bois qui ont fortement impacté son potentiel de production et de régénération. La connaissance des paramètres de régénération est nécessaire à l'aménagement et la sauvegarde de ce milieu perturbé. L'objectif est d'étudier la régénération de la végétation contractée sur trois sites, le long d'un gradient pluviométrique et d'anthropisation. Sur chaque site, l'inventaire des ligneux adultes a été réalisé dans des placettes de 2500 m² (100 m x 25 m) disposées le long de cinq (5) transects, à raison de huit (8) placettes par transect. Chaque placette a été subdivisée en 100 placeaux de 25 m² (5 m x 5 m) pour l'inventaire et la mesure des individus de diamètre inférieur à 4 cm, diamètre minimum d'exploitation, considéré comme appartenant à la

régénération. Les résultats ont montré une augmentation de la densité de régénération suivant le gradient pluviométrique et d'anthropisation. La famille des Combretaceae a révélé les meilleures capacités de régénération sur l'ensemble des sites investigués. Les autres espèces ont une importance spécifique de régénération très faible ou nulle selon le site. Malgré la péjoration des conditions climatiques et les pressions anthropiques, le taux de régénération sont supérieurs à 50 %. Ceci traduit une certaine résilience des formations végétales contractées.

Mots-clés: Végétation contractée, régénération, gradient pluviométrique, Niger

Regeneration Characteristics of Contracted Vegetation in Western Niger Following the Rainfall and Anthropisation Gradient

Amadou Aboubacar

Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Issoufou Bagnian

Faculté des Sciences Agronomiques,
Université Djibo Hamani, de Tahoua, Niger

Abdou Laouvali

Faculté des Sciences Agronomiques,
Université de Diffa, Diffa, Niger

Iro Dan Guimbo

Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Abstract

The contracted vegetation of western Niger is affected by the effects of climate change, the expansion of fields and the anarchic exploitation of timber, which have had a major impact on its production and regeneration potential. Knowledge of regeneration parameters is necessary for the management and protection of this disturbed environment. The aim is to study the regeneration of contracted vegetation at three sites, along a rainfall and anthropisation gradient. On each site, the inventory of adult woody plants was carried out in 2500 m² plots (100 m x 25 m) arranged along five (5) transects, with eight (8) plots per transect. Each plot was subdivided into 100 plots of 25 m² (5 m x 5 m) for the inventory and measurement of individuals with a diameter of less than 4 cm, the minimum logging diameter considered to belong to the regeneration. The results showed an increase in regeneration

density along the rainfall and human settlement gradient. The Combretaceae family showed the best regeneration capacity on all the sites investigated. The other species had little or no specific regeneration potential, depending on the site. Despite worsening climatic conditions and human pressures, regeneration rates are above 50%. This indicates a certain resilience of the contracted plant formations.

Keywords: Contracted vegetation, regeneration, rainfall gradient, Niger

Introduction

Au Sahel, les formations végétales, majoritairement anthropisées sont caractérisées par un climat relativement sec. Cette zone a connu les graves sécheresses des années 1973 et 1984 qui ont provoqué un déséquilibre écologique (Lebel et Ali., 2009; Nicholson, 2013). La forte pression exercée sur les ressources ligneuses, accentuée par la péjoration du climat, peuvent conduire à la réduction voire à la disparition de certaines espèces végétales (Grouzis, 1995). Elles peuvent favoriser le développement des espèces résistantes ou l'émergence d'espèces mieux adaptées aux nouvelles conditions du milieu (Arbonnier, 2000).

Au Niger, la péjoration des conditions climatiques et la pression humaine constituent les principaux facteurs qui influencent la végétation contrastée tant dans sa dynamique, sa diversité que dans sa structure (Amadou et al., 2023). L'accélération de la croissance globale de la population (3,9%) va de pair avec celle des centres urbains, 3,5 % pour la ville de Niamey (INS, 2012). Cette population urbaine en forte croissance doit évidemment satisfaire ses besoins énergétiques couverts à hauteur de 85% par les seuls combustibles d'origine végétale provenant surtout de massifs forestiers contractés de l'ouest du pays (Sidiku, 1997). En effet, les facteurs climatiques et anthropiques pourraient fortement compromettre la régénération naturelle de ces formations végétales dont dépendent en partie les populations riveraines qui tirent l'essentiel de leur subsistance. La maîtrise de la régénération des formations végétales est indispensable et d'une importance capitale pour les prochaines décennies (Ronald et al., 2018). Or, la plupart des études menées sur la végétation contractée au Niger ont été descriptives (structure, densité, hauteur, diamètre,) (Ichaou, 2000), quantitatives (dynamique.) (Amadou et al., 2023) et qualitatives (pédologie et fonctionnement) (Ambouta, 1997 et Ichaou, 2000). En revanche ces études n'ont pas abordés de façon approfondie la régénération. La présente étude a été menée sur la base de l'hypothèse selon laquelle le potentiel de régénération de la végétation contractée de l'ouest du Niger varie suivant le gradient d'aridité et d'anthropisation et vise à combler cette insuffisance. L'objectif général de cette étude est d'évaluer les effets des facteurs climatique (pluviométrie) et anthropique (exploitation anarchique)

sur la régénération de la végétation contractée des plateaux de l'ouest du Niger. De façon spécifique, il s'agit (i) de déterminer les caractéristiques de la densité de la régénération et (ii) d'analyser l'effet du gradient pluviométrique et celui d'anthropisation sur la densité, le taux, l'importance spécifique et le potentiel de régénération. Les résultats de cette étude pourront contribuer à l'adoption des politiques appropriées d'aménagement et de conservation, pour une meilleure préservation de ces ressources.

I. Matériels et Méthode

1.1 Zone d'étude

La zone d'étude correspond au bassin d'Iullemenden situé à l'Est du fleuve Niger qui englobe les régions de Tillabéry, de Dosso, et la communauté urbaine de Niamey (Ichaou, 2000). Elles comptent environ 5 787 043 habitants (INS, 2012). Dans cette partie du Niger, les plateaux constituent l'essentiel du paysage, caractérisés par des formations végétales contractées. On trouve par endroits des savanes arbustives et arborées, des steppes arbustives. La pluviosité annuelle moyenne varie de 350 mm à l'extrême nord à 750 mm à l'extrême sud (Ambouta, 1997).

L'étude a été conduite sur trois (3) sites situés le long d'un gradient pluviométrique et d'anthropisation (Figure 1). Le choix de ces sites était motivé par l'existence d'une végétation contractée sur les plateaux, et leur disposition le long d'un gradient pluviométrique et d'anthropisation. Le plateau de Kouré, fortement anthropisé située dans la commune rurale de Kouré (Tillabéry) avec pour coordonnées 13°19'35" N et 12°37'15" E. Le plateau de Guittodo, moins anthropisé que Kouré se trouve dans la commune rurale de Farey (Dosso) et a pour coordonnées 12°31'45''N et 13°15'07''E. La forêt classée de Gourou Bassounga moins anthropisée que les deux premiers sites, se situe à l'extrême sud-ouest du Niger, vers la frontière Niger-Bénin. Elle a pour coordonnées 11°58'04"N et 13°22'48" E. Une partie de cette forêt se trouve dans la commune de Gaya et l'autre dans celle de Tanda.

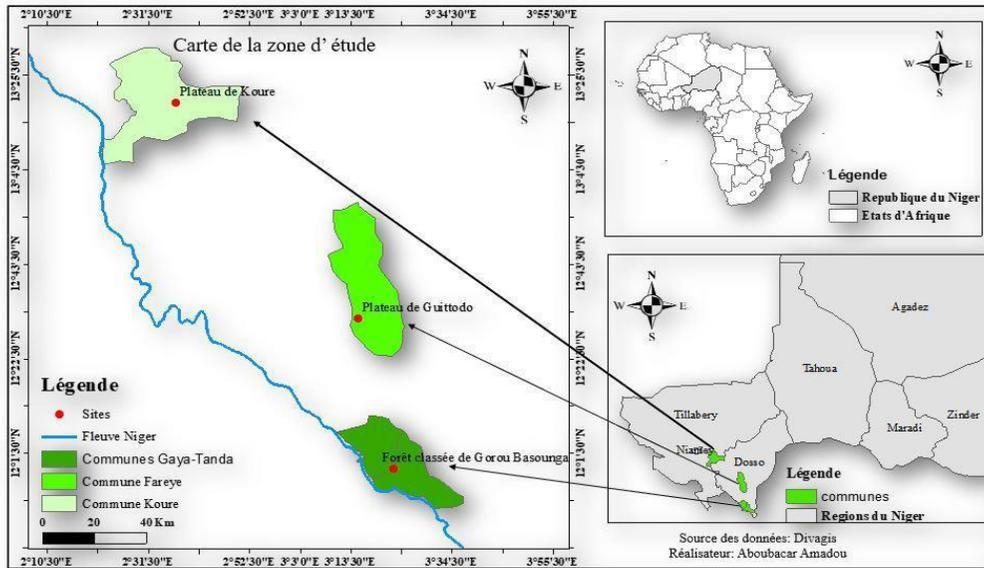


Figure 1. Localisation des sites d'études

1.3 Echantillonnage et collecte des données

L'échantillonnage est basé sur des transects aléatoires. Sur chaque site, cinq (5) transects ont été choisis de façon aléatoire suivant la plus grande pente, dans le sens de la succession des bandes boisées. Huit (8) placettes de 2500 m² sont installées sur chaque transect soit 40 placettes par site pour l'inventaire des ligneux adultes. Les relevés des jeunes ont été effectués dans 100 placeaux de 25 m² (5 m x 5 m), établis à l'intérieur de chaque placette. Les ligneux de diamètre inférieur à 4 cm correspondant au diamètre minimum d'exploitation dans les formations végétales contractées (Ichaou et al., 1997) sont considérés comme appartenant à la régénération.

1.4 Analyse et traitement des données

Les données de l'inventaire ont été utilisées pour calculer les paramètres suivants :

L'indice d'anthropisation : Il est considéré comme dégâts anthropiques les coupes (abattage, élagages, émondages, étêtage), les écorçages, les prélèvements de racine constatés au niveau de chaque individu inventorié du peuplement, exprimé en pourcentage. Il est calculé selon la formule utilisée par la formule

$$I_a = \frac{\text{Nombre d'individus présentant au moins un dégât}}{\text{Nombre total d'individus}} \times 100 \quad (1)$$

La densité moyenne de la régénération est le rapport de l'effectif total des jeunes sujets (diamètre < 4 cm) dans l'échantillon (N) sur la surface échantillonnée (S) rapportée à l'hectare. Elle a été calculée en utilisant la formule : $D = \frac{N}{S}$

(2)

où N = nombre total de jeunes sujets dans les placettes et S = surface échantillonnée.

Le taux de régénération naturelle est le rapport entre l'effectif total des jeunes plants et l'effectif total du peuplement, exprimé en pourcentage. (Mahamane et Saadou, 2008 et Elycée, 2015). Il est déterminé par la formule :

$$T_{rp} = \frac{\text{Nbre total des jeunes}}{\text{Effectif total du peuplement}} \times 100$$

(3)

L'Importance spécifique de régénération est le rapport en pourcentage entre l'effectif des jeunes plants d'une espèce et l'effectif total des jeunes plants dénombrés (Akpo et Grouzis., 1996). Elle est calculée par la formule :

$$ISR = \frac{\text{Effectif des jeunes plants d'une espèce}}{\text{Effectif total des jeunes plants dénombrés}} \times 100$$

(4)

Le potentiel de régénération d'une espèce (i), est le rapport entre le nombre de rejets issus des (rejets de souches, marcottes, drageons ou graine) de cette espèce et le nombre de pieds adultes pour l'espèce (Larwanou, 2005).

Il est déterminé à travers la formule suivante $P_{rp} = \frac{n_{ir}}{N_{ia}}$ (5), avec n_{ir} = nombre de rejets pour l'espèce i et N_{ia} = nombre de pieds adultes pour l'espèce i.

Cette grandeur est exprimée sous forme d'indice de régénération $I_r = \frac{\log n_{ir}}{\log N_{ia}}$ (6) (Larwanou, 2005). Le gradient pluviométrique sur les sites investigués a été mis en évidence par le calcul de la moyenne des cumuls pluviométriques annuels de trente années (1990 à 2020). Les espèces dominantes sont des espèces qui exercent une influence déterminante sur la communauté et dont l'enlèvement entraîne des changements importants dans la biocénose. Les données ont été traitées à l'aide du tableur Excel et du logiciel Minitab16. Une analyse factorielle de correspondance a été utilisée pour distinguer les espèces qui régénèrent selon les conditions propres à chaque site. L'analyse statistique a consisté à soumettre les données au test de vérification de normalité. Après transformation par les tests (log, exponentiel, variance et 1/variance), les données ne suivent pas une distribution normale.

Ce qui nous amène à faire un test non paramétrique en utilisant le test de Kruskal-wallis et le test de Mann Whitney.

II. Résultats

2.1 Mise en évidence du gradient d'aridité

Les cumuls annuels des pluies de ces trente ans ont été obtenus à la Direction de la Météorologie Nationale. La différence entre la moyenne des cumuls pluviométrique (Figure 2) met en évidence le gradient pluviométrique avec une moyenne de $498,49 \pm 49,63$ mm dans la commune de Kouré $669,61 \pm 66,96$ mm à Farey et $849,92 \pm 87,30$ mm à Gaya.

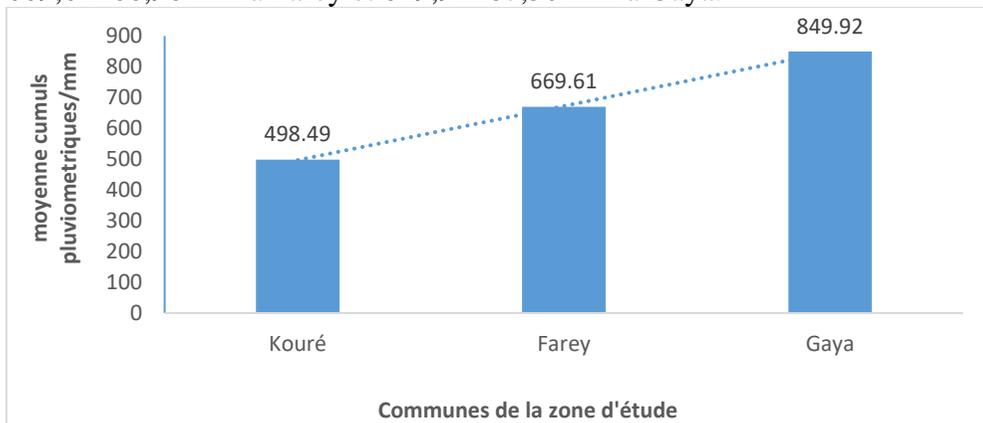


Figure 2. Moyennes des cumuls pluviométriques annuels de 1990 à 2020 des communes de la zone d'étude

2.2 Densités, indice d'anthropisation et taux de régénération

L'analyse des résultats (Tableau 1) montre que la densité des ligneux adultes et des jeunes plants sont respectivement de $234,79 \pm 23,9$ et $315,27 \pm 32$ pieds/ha sur le plateau de Kouré, $555,09 \pm 21$ et $692,81 \pm 26,2$ pieds/ha sur le plateau de Guittodo et $683,79 \pm 23,3$ et $949,15 \pm 32,3$ pieds/ha dans la forêt classée de Gorou Bassounga. On note une prédominance des individus jeunes sur l'ensemble des sites investigués. La densité totale et celle d'individus ayant au moins un dégât sont respectivement de $550,06 \pm 55,9$ et $481,3 \pm 49$ pieds/ha sur le plateau de Kouré, $1247,90 \pm 47,2$ et $943,41 \pm 35,7$ pieds/ha sur le plateau de Guittodo et $1632,94 \pm 55,6$ et $1018,95 \pm 34,8$ pieds/ha dans la forêt classée de Gorou Bassounga. Toutes ces densités augmentent des plateaux de Kouré (commune rurale de Kouré) et Guittodo (commune rurale de Farey) à la forêt classée de Gorou Bassounga (Commune urbaine de Gaya) situées le long d'un gradient d'aridité. Les densités des adultes et des jeunes ligneux, ainsi que la densité totale et celle des individus ayant des dégâts présentent une différence significative avec respectivement $P < 0,040$, $P < 0,031$, $P < 0,035$, et $P < 0,030$ au seuil de 5%.

Le taux de régénération et l'indice d'anthropisation sont respectivement de 57,31 et 87,5 % sur le plateau de Kouré, 55,51 et 75,6 % sur le plateau de Guittodo et 58,12 et 62,4 % dans la forêt classée de Gorou Bassounga (Tableau 1).

Tableau 1. Comparaison des densités moyennes et variation du taux de régénération et indice d'anthropisation

Paramètres	PK	PG	FCBG	Probabilité
Densité des adultes (pieds/ha)	234,79±23,9b	555,09±21b	683,79±23,3a	< 0,040
Densité des jeunes (pieds/ha)	315,27±32a	692,81±26,2a	949,15±32,3b	< 0,031
Densité totale (pied/ha)	550,06±55,9a	1247,90±47,2b	1632,94±55,6b	< 0,035
Densité d'Individus à dégâts	481,3±49a	943,41±35,7b	1018,95±34,8b	< 0,030
Taux de régénération (%)	57,31±3, 2b	55,51±4,7b	58,12±7,3a	< 0,030
Indice d'anthropisation (%)	87,5±4,9a	75,6±6,8b	62,4±8,5c	0,033

PK=Plateau de Kouré, PG=Plateau de Guittodo, FCBG=Foret Classée de Gourou Bassounga. Les mêmes lettres sur une ligne signifient qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes, les lettres différentes signifient qu'il y'a une différence entre les moyennes.

2.2 Distribution des ligneux juvéniles par classe de diamètre

L'analyse des résultats d'inventaire de la régénération (figure3) fait ressortir pour les classes inférieures de [0,-0,5 cm [à [1,5-2 cm [globalement, une augmentation de densité sur le gradient d'aridité du plateau de Kouré (zone sahélienne) à la forêt classée de Gorou Basounga (zone nord-soudanienne). Par contre pour les classes supérieures de [2,-2,5 cm [à [3,5-4 cm [, la variation ne suit pas systématiquement le gradient pluviométrique. En effet pour les plateaux de Kouré et Guittodo plus anthropisé et moins arrosés, les classes extrêmes [0,- 0,5 cm [et [0, 5-0,1 cm [d'une part et [3-3,5 cm [et [3,5-4 cm [d'autre part, présentent les plus faibles densités. Cependant dans la forêt classée de Guittodo, moins anthropisée et plus arrosée, les densités sont relativement équilibrées. Les différentes classes de diamètre avec des écarts sont moins sensibles que les deux sites précédents.

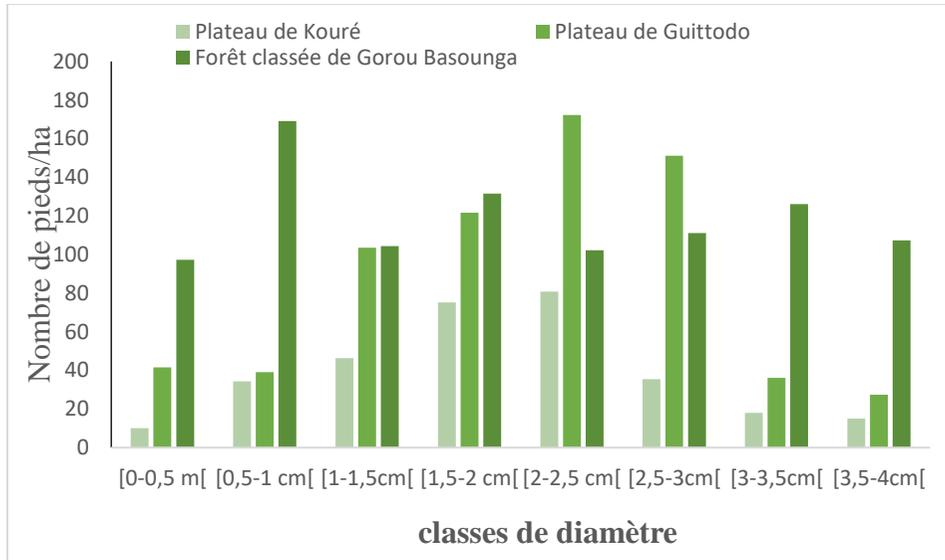


Figure 3. Variation de densité des ligneux jeunes par classe de diamètre

2.3 Importance spécifique de régénération

L'analyse des résultats sur l'importance spécifique de régénération (Tableau 2) montre que *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum* sont les espèces les plus régénératrices dans les trois sites étudiés. Ces espèces présentent respectivement une importance spécifique de régénération de (39,35 %) et (37,85 %). Elles sont suivies de *Combretum nigricans* (13,50 %), *Gardenia sokotensis* (4,16 %) et *Combretum glutinosum* (2,10 %). Les autres espèces ont une faible importance spécifique de régénération variant de 0,01 à 1,56 % (Tableau 2). Au niveau stationnel :

Sur le plateau de Kouré, *Guiera senegalensis* se distingue avec (62,97 %) d'importance spécifique de régénération, suivi de *Combretum micranthum* (30,10 %). D'autre part, *Combretum nigricans* (2,80 %), *Cassia sieberiana* (1,67 %), *Boscia senegalensis* (1,20 %) régénèrent moins bien avec une importance spécifique de régénération faible, tandis que *Gardenia sokotensis* (0,97 %), *Combretum glutinosum* (0,22 %), *Bauhinia rufescens* (0,07 %) régénèrent difficilement avec une importance spécifique de régénération très faible. *Acacia ataxacantha*, *Acacia macrostachya*, *Croton zambesicus* et *Ximenia americana* ont une importance spécifique nulle sur ce site.

Sur le plateau de Guittodo, *Combretum micranthum* est l'espèce qui régénère le mieux avec une importance spécifique de régénération de (48,3 %), suivi de *Guiera senegalensis* (29,45 %). Ils sont suivis de *Combretum nigricans* (10,91 %) et *Gardenia sokotensis* (5,20 %), *Combretum glutinosum* (3,40%), *Boscia senegalensis* (1,99 %) et *Cassia sieberiana* (0,75 %). *Acacia ataxacantha*, *Acacia macrostachya*, *Bauhinia rufescens*, *Ximenia americana*

et Calotropis procera présentent une importance spécifique nulle pour les jeunes plants.

Dans la forêt classée de Gorou Bassounga, *Combretum micranthum* régénère mieux avec une importance spécifique de régénération de (35,14 %). Il est suivi de *Combretum nigricans* (26,75 %) et *Guiera senegalensis* (25,64 %). Des espèces telles que *Gardenia sokotensis* (6,30 %), *Combretum glutinosum* (2,69 %), *Boscia senegalensis* (1,50 %) ont une importance spécifique de régénération plus ou moins appréciable, tandis que *Ximenia americana* (0,51 %), *Acacia macrostachya* (0,25 %), *Croton zambesicus* (0,19 %) et *Acacia ataxacantha* (0,04 %) régénèrent difficilement sur ce site. *Bauhinia rufescens* a une importance spécifique de régénération nulle. La variation de l'importance spécifique de régénération ne suit pas strictement le gradient pluviométrique.

Tableau 2. Importance spécifique de régénération

Espèces	PK	PG	FCG B
<i>Acacia ataxacantha</i>	0,00	0,00	0,04
<i>Acacia macrostachya</i>	0,00	0,00	0,25
<i>Bohinia rufescens</i>	0,07	0,00	0,00
<i>Boscia senegalensis</i>	1,20	1,99	1,50
<i>Cassia sieberiana</i>	1,67	0,75	0,99
<i>Combretum glutinosum</i>	0,22	3,40	2,69
<i>Combretum micranthum</i>	30,10	48,3	35,14
<i>Guiera senegalensis</i>	62,97	29,45	25,64
<i>Combretum nigricans</i>	2,80	10,91	26,75
<i>Croton zambesicus</i>	0,00	0,00	0,19
<i>Gardenia sokotensis</i>	0,97	5,20	6,30
<i>Ximenia americana</i>	0,00	0,00	0,51
Total	100	100	100

PK : Plateau de Kouré, PG : Plateau de Guittodo, FCGB : Forêt classée de Gorou Bassounga.

L'analyse factorielle de correspondance (Figure 4) montre que l'axe 1 concentre 82,8% des informations. *Cassia sieberiana*, *Bauhinia rufescens* et *Guiera senegalensis* régénèrent mieux sur le Plateau de Kouré. Par contre, *Combretum nigricans*, *Acacia ataxacantha*, *Croton zambesicus*, *Ximenia americana* et *Acacia macrostachya* expriment une aisance à mieux régénérer dans la forêt classée de Gorou Bassounga. L'axe 2 concentre 17,1% d'informations et est corrélé au plateau de Guittodo sur lequel, *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Gardenia sokotensis* et *Boscia senegalensis* constituent les espèces qui régénèrent mieux.

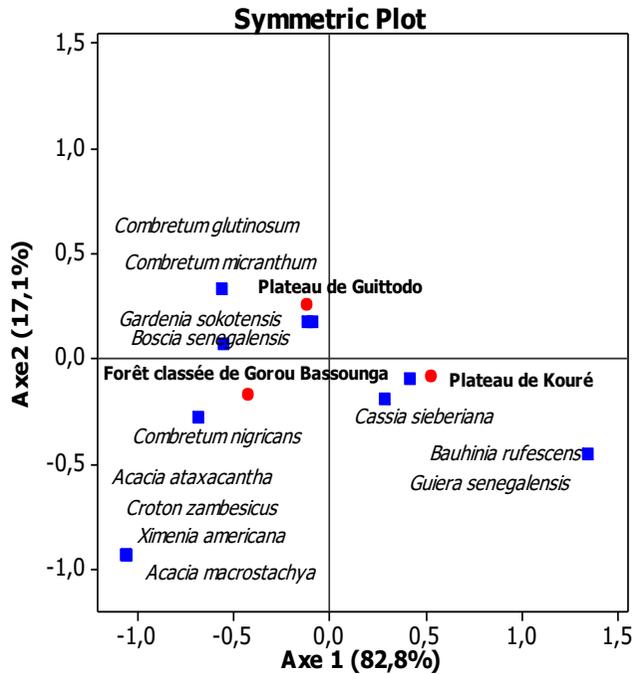


Figure 4. Régénération des espèces en fonction des sites étudiés

2.4 Potentiel de régénération naturelle des espèces dominantes

La famille des Combretaceae est la plus présentée au niveau des trois sites étudiés. Les espèces dominantes sont *Combretum micranthum*, *Guiera senegalensis*, *Combretum nigricans* et *Combretum glutinosum* (Photos 1).



Photos 1. Rejets sur les sites de la zone d'étude (A plateau de Kouré, B Plateau de Guittodo, C Forêt classée de Gorou Bassounga)

Il ressort de l'analyse des résultats (Tableau 3) que le potentiel de régénération de chacune des espèces augmente suivant le gradient pluviométrique. Cela indique que la pluviométrie favorise la régénération de ces espèces ligneuses. Sur le plateau de Kouré *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum* présentent les meilleurs potentiels de régénération. Ceci exprime leur capacité à régénérer même dans des milieux arides. Sur le plateau de Guittodo et dans la forêt classée de Gorou Bassounga plus humides,

toutes les espèces régénèrent mieux à cause des conditions pluviométriques plus favorables. Cependant *Combretum glutinosum* se distingue avec le plus faible potentiel de régénération sur l'ensemble des sites à cause de sa faible présence sur ces sites.

Tableau 3. Potentiel de régénération des espèces dominantes

Paramètres	Plateau de K	Plateau de G	Forêt de GB
<i>Combretum glutinosum</i>	0,116	0,281	0,395
<i>Combretum nigricans</i>	0,246	0,475	0,682
<i>Combretum micranthum</i>	0,316	0,607	0,724
<i>Guiera senegalensis</i>	0,494	0,552	0,695

III. Discussions

L'analyse des résultats montre une forte anthropisation des sites d'étude dont le degré varie en sens inverse avec le gradient pluviométrique. Ce niveau élevé d'anthropisation s'explique par le fait que la végétation contractée des plateaux de l'ouest du Niger constitue le lieu de prédilection pour l'approvisionnement en bois énergie des centres urbains et villages riverains. En effet, le taux d'anthropisation moyen est plus élevé sur les plateaux de Kouré et Guittodo plus proches de Dosso et Niamey qui sont les principaux centres de consommation. Les taux d'anthropisation obtenus sont comparables à ceux de Biga et al. (2021) qui, dans les parcs agroforestiers de l'ouest du Niger, aussi très anthropisés, ont obtenu 86,6% à Torodi, 74,7 % à Tagazar et 64,9 % à Gothèye.

La densité totale et la densité des adultes et des jeunes augmentent suivant le gradient pluviométrique et diminuent lorsque l'indice d'anthropisation est élevé. Ces résultats corroborent les travaux de Karim et al. (2010); Boubacar et al. (2013) qui soutiennent qu'au Niger, les formations végétales connaissent une dégradation liée aux effets conjugués des prélèvements excessifs et aux sécheresses. Les résultats de cette étude montrent une prédominance des individus jeunes par rapport aux adultes sur l'ensemble des sites étudiés. Cette prédominance d'individus jeunes a été observée par Rabiou en 2016 dans les zones de Tamou (1262 pieds/ha), du parc W (1104,8 pieds/ha) et de Gaya (1273,8 pieds/ha).

Les densités les plus faibles ont été observées chez les individus des faibles diamètres. Ceci s'expliquerait par le fait que les individus des faibles diamètres sont plus vulnérables aux pressions extérieures (aridité, maladies, dents des animaux, piétinement, feu de brousse) (Rabiou, 2016). Par contre, sont beaucoup exploités pour la confection des (chaises, tables, lit, panier...) dans la zone. Le diamètre minimum d'exploitation (4 cm) fixé par les projets d'aménagement n'est pas strictement respecté. (Faye et al., 2013)..

Les taux de régénération naturelle est similaire pour les trois sites d'études. Ces résultats sont similaires à ceux de Koulibaly et al. (2010) dans

la réserve de Lamto en Côte d'Ivoire. Par ailleurs, ces taux sont supérieurs à ceux obtenus par Ousseina et al. (2015), qui rapportent un taux de régénération de 39,7% dans la Station Sahélienne Expérimentale de Toukounous au Niger. De plus, Bagnian et al. (2021) ont observés un taux de régénération de plus de 70 % dans le Centre Sud du Niger. Ces différences sont dues au mode de gestion et d'exploitation dans la station expérimentation (but pastoral) et Régénération Naturelle Assistée (RNA) où les jeunes sujets sont protégés et entretenus dans le centre sud du Niger. En effet le plateau de Kouré moins arrosé et plus anthropisé a un taux de régénération plus élevé que Guittodo et proche de la forêt de Gorou Bassounga plus arrosée mais moins anthropisée. Cette situation du plateau de Kouré s'explique par la disparition des individus adultes exploités arbres pour ravitailler non seulement les villes de Niamey et Dosso, mais aussi les villages environnants. Ceci conduit à la disparition des grands arbres au profit des jeunes sujets. Cette observation est similaire à celle de (Herrmann et Tappan, 2013) qui dans le Centre du Sénégal qualifiaient ce phénomène de déclin de la richesse en espèces et une perte d'arbres matures qui mettent des décennies à se régénérer et une forte augmentation de la densité d'arbustes. Les résultats du plateau de Guittodo et de la forêt classée de Gorou Bassounga s'expliqueraient par la pluviométrie plus favorable et le niveau d'anthropisation peu prononcé. La tendance évolutive des taux de régénération qui sont supérieurs à 50% corrobore le phénomène global de reverdissement du sahel rapporté par plusieurs auteurs (Dardel et al., 2014 ; Herrmann et Tappan, 2013), qui selon (José Luis et al., 2013) a commencé au milieu des années 1990.

L'analyse des résultats sur l'importance spécifique de régénération montre que les espèces de la famille des Combretaceae sont celles qui régénèrent mieux tout le long du gradient pluviométrique. (Faye et al. (2013) ont constaté au Burkina Faso, que les Combretaceae sont distribuées tout le long du gradient climatique et sont bien représentés même dans la zone soudanienne. Parmi ces Combretaceae, *Combretum micranthum*, (30,10 %, 48,3 % et 35,14 %), *Guiera senegalensis* (62,97 %, 29,45 % et 25,64 %), *Combretum nigricans* (2,80 %, 10,91 % et 26,75 %) et *Combretum glutinosum* (0,22 %, 3,40 % et 2,69 %) respectivement sur le plateau de Kouré, le plateau de Guittodo et la forêt classée de Gorou Bassounga. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Rabiou en 2016 avec *Combretum nigricans* (28,9 %), *Guiera senegalensis* (23,1 %) dans la forêt de Gaya, *Guiera senegalensis* (58,5 %) et *Combretum nigricans* (15 %) à Tamou et *Combretum nigricans* (17,61%) au Parc national du W. En effet, ces Combretaceae ont une importance spécifique de régénération élevée à cause de leur capacité d'adaptation aux conditions spécifiques à chaque site. (Faye et al., 2013) stipulent que des espèces comme *Guiera senegalensis* et *Combretum glutinosum* développent des stratégies spécifiques de survie même dans les

systèmes de culture permanente. L'importance spécifique de régénération est très faible ou nulle pour certaines espèces (*Croton zambesicus*, *Acacia ataxacantha*, *Bohinia rufescens*, *Ximenia americana* *Acacia macrostachya*) représentées par aucun jeune sujet dans certains sites. Depuis 1938, Aubreville a noté cette absence de juvéniles dans la composition floristique de certaines forêts en Côte d'Ivoire, confirmée par Koulibaly et al. (2010). Les travaux de Poorter et al. (1996) ont aboutis aux mêmes résultats au Libéria. Cette situation qualifiée de caractéristique particulière des forêts africaines (Richards, 1952) a été observée dans la réserve forestière d'Okomu au Nigéria par Jones en 1955.

Les résultats indiqués dans le (Tableau 3) montrent que le potentiel de régénération croit suivant le gradient pluviométrique et diminue lorsque le site est plus anthropisé. L'augmentation du potentiel de régénération s'expliquerait par le fait que la germination des graines, l'émission des rejets, leur croissance durant les premiers mois et leur maintien en vie dépendent strictement de la pluviométrie et la pression humaines, l'empiétement et les dents d'animaux qui sont moins sévères suivant ce gradient. Vieira et Scariot, (2006) ont rapporté que le processus de régénération des arbres peut être influencé par de nombreux facteurs, notamment les conditions d'éclairage, la température et la disponibilité de l'humidité du sol. Aussi sur le site de Kouré plus sec, l'état des graines et les jeunes pousses peuvent être affecté en saison sèche avant l'installation de pluies et influencer la régénération (Bationo, 2016). Dan Guimbo et al., (2017) affirment qu'en zones sahélienne et sahélo-soudanienne, chaque espèce végétale est distribuée et se propage en fonction de sa propre tolérance à la multitude de facteurs de son environnement, parmi lesquels le climat reste le principal facteur limitant. La possibilité des plantules à passer du stade jeune au stade adulte est largement entravée par plusieurs facteurs dont la dent des animaux, les feux de brousse (Bationo et al., 2001; Adjonou et al., 2010; Nacoulma, 2012) et surtout les longues saisons sèches (Rabiou, 2016). L'exploitation massive de ces espèces comme bois de feu et l'utilisation des jeunes sujets en artisanat influence le processus de régénération et leur pérennité. Ce phénomène est moins constaté dans la forêt classée de Gorou Bassounga dont le statut limite certains types d'exploitation. (Ouédraogo, 2006) affirme qu'en milieu anthropisé, caractérisé par un système d'exploitation extensif des terres, l'avenir de certaines espèces dépend des types d'entretien ou protection.

Conclusion

Cette étude a permis de mieux connaître les caractéristiques de régénération de la végétation contractée des plateaux de l'ouest du Niger par la détermination des différents paramètres de régénération sur trois sites situés le long d'un gradient pluviométrique et d'anthropisation. Il ressort de cette

étude qu'en général, le gradient pluviométrique croissant favorise la régénération. Mais ceci peut être perturbé par les actions anthropiques, qui créent un déséquilibre entre la composition floristique des différentes classes d'âges. En effet la coupe abusive du bois sur le plateau de Kouré plus anthropisé a conduit de façon sévère à réduction de l'effectif des sujets adultes au profit des jeunes. La disparition progressive des sujets adultes réduit la production des semences et par conséquent la régénération séminale. Sur l'ensemble des sites étudiés, les espèces de la famille de Combretaceae qui régénèrent mieux. Pour les autres espèces, les jeunes plants sont très faiblement représentés et même absents dans certains sites. Globalement, le taux de régénération est supérieur à 50% sur chacun des sites, mais le corollaire est la diminution tragique de l'effectif des ligneux adultes. C'est pourquoi il s'est avéré nécessaire de comprendre les déterminants de la régénération des écosystèmes des plateaux de l'ouest du nigérien pour mieux orienter les actions de leur reverdissement.

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.

Contributions des Auteurs

Dans le cadre de cette étude, Amadou A. a élaboré le projet de recherche, collecté les données du terrain et rédigé l'article. Iro DG a dirigé l'élaboration du projet de recherche en apportant des suggestions. Il a aussi beaucoup contribué à l'amélioration de la qualité scientifique du manuscrit pour sa finalisation. Issoufou B et Abdou L, ont fait une lecture critique du document et amélioré sa qualité scientifique. Enfin ces auteurs ont tous participé à la relecture et la validation du document.

References:

1. Adjonou, K, Ali, N, Kokutse, AD et Kokou, K. (2010). Étude de la dynamique des peuplements naturels de *P. erinaceus* Poir. (Fabaceae) surexploités au Togo. Bois et Forêts des Tropiques, n°306 (1), pp 33-43.
2. Akpo, L et Grouzis, M. (1996). Influence du couvert sur la régénération de quelques espèces ligneuses sahéliennes (Nord-Sénégal, Afrique occidentale). Webbia 50 (2): 247-263.

3. Amadou, A, Mourtala, B, Diouf, A et Dan Guimbo, I. (2023). Dynamique spatio-temporelle de la végétation contractée de l'Ouest du Niger suivant le gradient pluviométrique.
4. Anyamba, A et Tucker, CJ. (2005). Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. *Journal of Arid Environments*, 63: 596-614.
5. Arbonnier, M. (2000). Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. CIRAD MNHN-UICN, 542 p.
6. Bagnian, I, Toudou, A et Ali, M. (2021). Reverdissement du Centre-Sud du Niger : Deux décennies de données de télégestion et de terrain
7. Bagnian, I. (2014). Résilience des agro-écosystèmes au Sahel: analyse du reverdissement dans le Centre Sud du Niger. Thèse Doctorat unique de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, 184 p.
8. Bagnian, I, Toudou, A, Adamou, MM, Chaibou, I et Mahamane, A. (2014). Structure et dynamique de la végétation ligneuse juvénile issue de la régénération naturelle assistée (RNA) dans le Centre-Sud du Niger, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8 (2): 649-665.
9. Bagnian, I, Adamou, M, Toudou, A et Mahamane, A. 2013. Impact du mode de gestion de la Régénération Naturelle Assistée des ligneux (RNA) sur la résilience des écosystèmes dans le centre-sud du Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 71: 5742– 5752.
10. Batiano, AB. (2016). Etude de la Régénération Séminale des ligneux dans les jachères de Sobaka (forêt classée de nazinon, Burkina Faso)
11. Bationo B. A., Ouédraogo S. J., Guinko S. 2001. Longévité des grains et contraintes à la survie des plantules d'*Azelia Africana* Sm. Dans une savane boisée du Burkina Faso. *Ann. For. Sci.*, 58 : 69-75.
12. Bégué, A, Vintrou, E, Ruelland, D, Claden, M, Dessay, N. (2011). Can a 25-year trend in Soudano- Sahelian vegetation dynamics be interpreted in terms of land use change? A remote sensing approach. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 21: 413–420
13. Biga, I, Issaharou, MI, Abdou, L, Soumana, I et Mahamane, A. (2021). Impacts des pressions anthropiques et des changements climatiques sur les parcs agroforestiers de l'Ouest du Niger, <http://www.ijisr.issr-journals.org/> consulté le 25 juillet 2023
14. Boubacar, M, Inoussa, MM, Ambouta, JMK, Mahamane, A, Jorgen, AA, Harissou, Y et Rabiou H. (2013). Caractérisation de la végétation ligneuse et des organisations pelliculaires de surface des agroécosystèmes à différents stades de dégradation de la Commune rurale de Simiri (Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7(5): 1963-1975.

15. Dan Guimbo, I. (2017). Potentiel de régénération naturelle de *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance et de *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn dans le sud-ouest du Niger, Afrique de l'Ouest
16. Dardel, C, Kergoat, L, Hiernaux, P, Mougin, E, Grippa, M et Tucker, CJ. (2014). Re-greening Sahel: 30 years of remote sensing data and field observations (Mali, Niger). *Remote Sensing of Environment*, 140: 350–364
17. Elycée, T, Souleymane, G, Oumarou, S et Adjima T. (2015). La végétation des inselbergs du sahel burkinabé, 13p.
18. Fensholt, R., Rasmussen, K, Nielsen, TT et Mbow, C. (2009). Evaluation of earth observation based long term vegetation trends - Inter-comparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data. *Remote Sensing of Environment*, 113: 1886–1898.
19. Faye, E, Diallo, H, Samba, SAN, Touré, MA, Dramé, A, Fall, B, Lejoly, J, Diatta, M, Kairé, M, De Cannière, C, Mahy, G et Bogaert, G. (2013). Importance de la méthode de coupe sur la régénération de Combretaceae du Bassin arachidier sénégalais
20. Grouzis, M. (1995). Les végétations annuelles. In *Pastoralisme : Troupeaux, Espaces et Sociétés*. Daget P, Godron M (eds). Ouvrage collectif AUPELF/UREF: Hatier.
21. Herrmann SM et Tappan, G. (2013). Vegetation impoverishment despite greening: A case study from central Senegal. *Journal of Arid Environments*, 90: 55–66.
22. Heumann, BW, Seaquist, JW, Eklundh, L et Jonsson P. (2007). AVHRR derived phenological change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982–2005. *Remote Sensing of Environment*, 108: 385–392.
23. Hickler, T, Eklundh, L, Seaquist, JW, Smith, B, Ardo, J et Olsson, L. (2005). Precipitation controls Sahel greening trend. *Geophysical Research Letters*, 32: L21415.
24. Ichaou, A et d'Hebès, JM. (1997). Productivité comparée des formations structures et non structurées dans le sahel nigérien. Conséquences pour la gestion forestière.
25. Ichaou, A. (2000). Dynamique et productivité des structures forestières contractées des plateaux de l'ouest Nigérien. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse III, p.231.
26. INS. (2012). Recensement General de la Population et de l'Habitat du Niger
27. Jones, EW. (1955). Ecological studies on the rain forest of southern Nigeria. 4. The plateau forest of the Okomu Forest reserve. 1. The environment, the vegetation types of the forest and the horizontal distribution of the species. *Journal of Ecology* 43: 564-594.

28. José, LSE, Frederic, A, Julien, A, Alain, G et Catherine M. (2013). Changements socio- environnementaux et dynamiques des paysages ruraux le long du gradient bioclimatique nord-sud dans le sud-ouest du Niger (régions de Tillabery et de Dosso)
29. Karim, S, Mahamane, A, Morou, B et Saadou M. (2010). Dynamique de l'occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans la Commune rurale de Simiri (région de Tillabéry, Niger). Annales de l'Université Abdou Moumouni, 9(A) : 166-177
30. Koulibaly, A, Kouame, F, Traore, D et Porembski, S. (2010). Structure et régénération de la végétation ligneuse, le long de transects forêts-savanes, dans la région de la réserve de Lamto (Côte d'Ivoire).
31. Larwanou, M. (2005). Dynamique de la végétation dans le domaine sahélien du Niger occidental suivant un gradient d'aridité : rôle des facteurs écologiques, sociaux et économique. Thèse de Doctorat, FS/UAM de Niamey.186p.
32. Larwanou, M, Abdoulaye, M et Reij C. (2006). Étude de la Régénération Naturelle Assistée dans la Région de Zinder, Niger. USAID, p 3-5. International Resources Group, 56 p.
33. Lebel, T et Ali, A. (2009). Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990–2007). Journal of Hydrology, 375: 52-64.
34. Mahamane, A et Saadou M. (2008). Méthodes d'étude et d'analyse de la flore et de la végétation tropicale. Actes de l'atelier sur l'harmonisation des méthodes. Sustainable Use of Natural végétation in West Africa, 78 p.
35. Nacoulma, BMI. (2012). Dynamique et stratégie de conservation de la végétation et de la phytodiversité du complexe écologique du Parc National du W du Burkina Faso. Thèse de doctorat Université de Ouagadougou. 151p.
36. Nicholson, SE. (2013). The West African Sahel: A review of recent studies on the rainfall regime and its interannual variability. ISRN Meteorology, 2013.
37. Olsson, L, Eklundh, L et Ardö, J. (2005). A recent greening of the Sahel-trends, patterns and potential causes. Journal of Arid Environments, 63: 556–566.
38. Ouédraogo, A. (2006). Diversité et Dynamique de la végétation ligneuse de la partie orientale du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 230p.
39. Ouédraogo, O. (2009). Phyto-sociologie, Dynamique et productivité de la végétation du parc national d'Arly (sud-est du Burkina Faso). Thèse de doctorat de l'Université de Ouagadougou;188 p.
40. Ousseina, S, Fortina, R, Marichatou, H et Yenikoye, A. (2015). Diversité, structure et régénération de la végétation ligneuse de la

- Station Sahélienne Expérimentale de Toukounous, Niger. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.29>
41. Poorter, L, Bongers, F, Van Rompaey, R, et De Klerk, M. (1996). Regeneration of canopy tree species at five sites in West African moist forest. *Forest Ecology and Management* 84 (3)61-69.
 42. Rabiou, H. (2016). Caractérisation des peuplements naturels de *Pterocarpus erinaceus* Poir. et élaboration de normes de gestion durable au Niger et au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest), Thèse de Doctorat, Université de Maradi.
 43. Reij, C et Kaboré, D. (2004). The Emergence and Spreading of an Improved Traditional Soil and Water Conservation Practice in Burkina Faso. EPTD Discussion Paper, 114.
 44. Reij, RC, Tappan, G et Smale, M. (2009). Agro-environmental Transformation in the Sahel - Another Kind of "Green Revolution". IFPRI Discussion Paper (00914).
 45. Reij, RC et Smiling, EMA. (2005). Introduction: The Greening of the Sahel. *Journal of Arid Environments*, 63: 535-537.
 46. Richards, PW. (1952). *The Tropical Rain Forest: An Ecological Study*. Cambridge University Press. Cambridge. 599p.
 47. Ronald, B, Meunier, Q, Ichaou, A, Morin, A, Mapongmetsem, PM, Belem, B, Azihou, F, Hounnon, A, et Abdourhamane A. (2018). La régénération par graines et par multiplication végétative à faible coût (drageons et boutures de segments de racine). Montpellier : CIRAD, 463p.
 48. Seaquist, JW, Hickler, T, Ardö, J et Heumann BW. (2009). Disentangling the effects of climate and people on Sahel vegetation dynamics. *Biogeosciences*, 6:469-477
 49. Sendzimir, J, Reij, CP et Magnuszewski, P. (2011). Rebuilding Resilience in the Sahel: Regreening in the Maradi and Zinder Regions of Niger. *Ecology and Society*, 16, 1.
 50. Sidiku, HA. (1997). Droits d'usage traditionnel locaux et demande externe des populations urbaines au Niger. IRSH, Université de Niamey, Niger
 51. SUN-UE. (2008). Méthodes d'étude et d'analyse de la flore et de la végétation tropicales, Actes de l'atelier sur l'harmonisation des méthodes.
 52. Thiombiano, A, Glele, K, Joseph, B et Ali M. (2016). Méthodes et dispositifs d'inventaires forestiers en Afrique de l'ouest : état des lieux et proposition pour une harmonisation.
 53. Tougiani, A, Guero, C, Rinaudo, T. (2009). Community mobilisation for improved livelihoods through tree crop management in Niger'. *Geo Journal*, 74: 377-389

54. Vieira, DLM et Scariot, A. (2006). Principle of natural regeneration of tropical dry forests restoration. *Restor. Ecol.* 14: 11–20.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Chemical and Mineralogical Characterisation of Clayey Sands from the Ivorian Sedimentary Basin in Road Construction

Kouassi Kouakou Pierre

Département de formation et de recherche en infrastructures et transports,
Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et Sciences géographiques,
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny,
Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Atto Yapi Désiré Sosthène Ronald

Mines and Reservoirs Department, University of Man, Training and
Research Unit for Geological and Mining Sciences, Côte d'Ivoire

Konin Athanase

Département de formation et de recherche en infrastructures et transports,
Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et Sciences géographiques,
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny,
Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Grehoa Abalé Martial

University Houphouët-Boigny of Cocody,
UFR of Earth Sciences and Mining Resources, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p94](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p94)

Submitted: 05 July 2023
Accepted: 14 October 2023
Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Kouassi K.P., Atto Yapi D.S.R., Konin A. & Grehoa A.M. (2023). *Chemical and Mineralogical Characterisation of Clayey Sands from the Ivorian Sedimentary Basin in Road Construction*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 94.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p94>

Abstract

In Ivory Coast, particularly in the south, most paved and unpaved roads are made of clayey sand, given its availability. The early degradation of roads is related to a strong sensitivity of certain materials to the environment (climate, geology, and degrees of alteration) and a poor knowledge of the geotechnical properties could slow down their use in road construction. Within this framework, this paper focuses on determining the chemico-mineralogical nature of the clayey sands of the localities of Bingerville and Samo, in the

South-East of Ivory Coast. Tests were conducted based on the chemical and mineralogical analyses. Chemical elements were determined by atomic absorption spectrometry, colorimetry, complexometry, and gravimetry. Organic matter was determined using the Rock-Eval 6 pyrolysis method, while the mineralogical composition was determined using a Bruker D8 ADVANCE diffractometer. The chemico-mineralogical analyses reveal that the clayey sands from Bingerville and Samo are more enriched in silica oxide (SiO₂) but less enriched in iron oxide (Fe₂O₃). All the soils studied have a degree of laterization greater than 2, which suggests that they are non-lateritic soils. The low Total Organic Carbon (TOC) values lies between 0.1 and 0.15% by weight, which reflects the extremely low amount of organic matter in these soils. This indicates the possibility of treating these soils with hydraulic binders. The mineralogy of the studied soils denotes that they are composed of kaolinite and illite.

Keywords: Clayey sand, Characterization, Chemico-mineralogical, road, Sedimentary basin, Ivoirian

1.0. Introduction

In Africa, several studies conducted in the field of road construction (LBTP, 1977; Autret, 1983; Messou, 1980; Bohi, 2008; Souley, 2016) have shown the use of lateritic soils (Souley *et al.*, 2015). However, their systematic use as road building materials makes them a scarce resource in the West African sub-region (Bohi, 2008; Samb *et al.*, 2013; Boudlal *et al.*, 2017). The same is true in some parts of Ivory Coast as most of the roads made of lateritic soils are experiencing degradation, especially in the coastal regions such as Abidjan, San Pedro, and the south of the country. Therefore, the evolution of the economic context and the objectives of sustainable development (SDGs) identify the need to promote alternative raw materials. Examples of these natural materials include shales and marls (Boudlal *et al.*, 2017), recycled materials, concrete debris, glass debris (Boudlal *et al.*, 2017; Djomo, 2017), and clayey sands. Clay sands, given their availability and abundance in the terrains encountered in the south of Ivory Coast (LBTP, 1977; Sodemi, 2010), could constitute a novel approach that integrates the Sustainable Development Goals (SDGs). Occasionally, these have been used in the design of roads. In road works, the use of clayey sands in their natural state, especially with or without treatment and appropriate mixtures of hydraulic binders, often poses problems from chemical and mineralogical points of view (Djedid, 2020).

The early degradations of roads made with natural clayey sands are recurrent and are due to its plastic state, the volume swelling, the organic matter, and the clay of the raw material. Diop (2002) reveals that during the construction of the Dakar-Thies highway, the presence of swelling clayey soils

was observed in the area connecting the two localities. Therefore, this study aims to determine the physico-chemical and mineralogical nature of the clayey sands of the localities of Bingerville and Samo, in the South-East of the Ivory Coast, to apprehend their behavior in the structures under loads such as road infrastructures.

2.0 Site and Experimental Methods

2.1. Raw Material and Sampling Site

The subject focus of this study is reworked soils which were taken, according to the XP P 94-202 standard (1995), on sites previously identified by the Building and Public Works Laboratory (LBTP). These sites are located onshore in the sedimentary basin, which is specifically in the southeastern part of Ivory Coast in geotechnical region R1, according to the LPTP (1977).

The Ivorian sedimentary basin owes its existence to the opening of the Atlantic Ocean. It covers an area of 30,000 km², thus stretching from Sassandra in the west to Axim in Ghana in the east. It is an open basin, most of which is currently offshore, with a small part emerging. Deep drilling for hydraulic and petroleum exploration, as well as seismic and gravimetric studies, have shown that a stratigraphic gap between the basement, made up of Eburnian schists and granites, and the first deposits of sedimentary cover in the Upper Jurassic is equivalent to 1600 m.y. During this period, the area of today's Ivorian coasts was not yet reached by marine waters. Only veins of basic and ultrabasic rocks (dolerites, kimberlites, etc.), dated between 1700 and 280 m.y., bear witness to this prolonged period (Tagini, 1972). This basin is characterized by two distinct domains (Spengler & Delteil, 1964), which includes a crescent-shaped continental or "onshore" basin and a marine or "offshore" basin.

From a structural geology point of view, this part of the country is characterized by three major structures (Figure 1), namely: the lagoon fault, the Ghana-Ivory Coast wrinkle, and the bottomless pit (Aka, 1991; Assale, 2013). The lagoon fault divides the sedimentary basin into two distinct zones: a southern zone made up of the low coastal plain and the low plateau, where there is a sandy cordon, and a northern zone known as the high plateau between 50 and 110 meters above sea level. In this northern zone, fine clay soils are found (Kouakou, 2005). These include reworked soils sampled from several borrow pits, with a focal point around which three other sampling points within a 2-3 m radius are located at the Bingerville and Samo sites. In January 2017, a total of two (2) sampling points was estimated. The locations were established using the GPS receiver, which are presented below in Table 1.

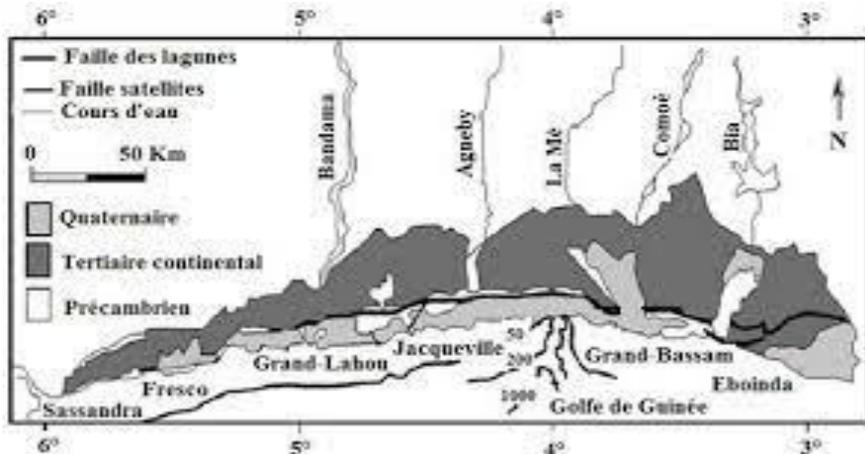


Figure 1. Ivoirian Sedimentary Basin

Table 1. Location of Raw Material Collection Sites (Geographic Coordinates and NTU)

Longitude (° ' '')	Latitudes (° ' '')	Altitudes (m)	Localities
3° 53' 32 W	5° 21' 38'' N	45,5	Bingerville
	400 612 m	400 612 m	
3°30'53'' W	5°17'28'' N	51,14	Samo
	278 102 m	400 612 m	

These samples were taken at variable depths ranging from 1 to 5 m on average, with 3 to 5 m average widths. First, they were placed in transparent plastic bags at room temperature. Thereafter, they were transported and conditioned in the laboratory around 25°C. The sampling or borrowing sites are shown in Figure 2 below.

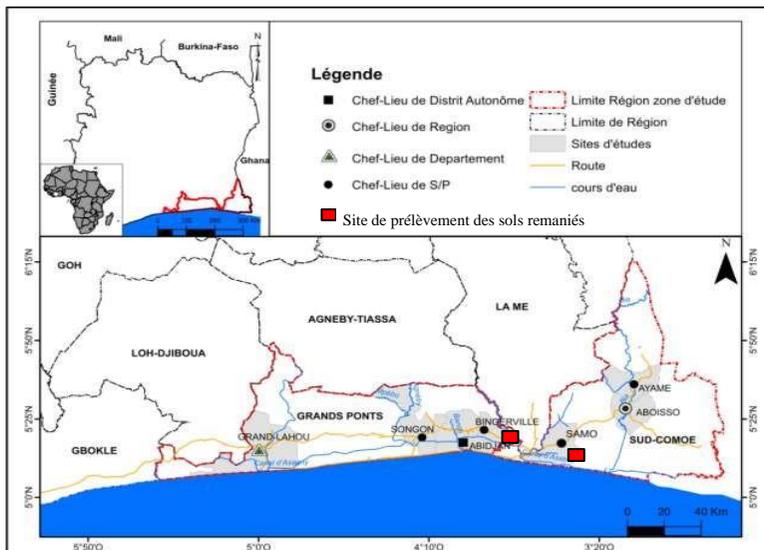


Figure 2. Location of Reworked Soil Sampling Sites

2.2. Experimental Methods

2.2.1. Chemical Characterization Methods

The chemical composition was determined after the samples were put into solution by a tri-acid attack (sulpho-nitric mixture and hydrochloric acid according to the protocol proposed by Njopwouo *et al.*, 1979). The analysis was conducted in the laboratory of the company to ascertain the mining development of Ivory Coast. Chemical elements, iron oxide (Fe₂O₃), silica oxide (SiO₂), and others were determined by atomic absorption spectrometry, colorimetry, complexometry, and gravimetry. The spectrophotometer used is a Perkin Elmer Analyst 100, while the colorimeter used is a Jenway 6300 spectrophotometer. Organic matter was examined using the Rock-Eval 6 pyrolysis method at the Société Nationale d'Opération Pétrolière (PETROCI) analysis and research center. Total Organic Carbon (TOC) was utilized to examine organic matter content based on analyzed samples. Thus, it is possible to identify the capacity of soil to support loads under traffic. The organic matter content is qualified according to Espitalie *et al.* (1977) and Peters *et al.* (1994), as shown in Table 2.

Table 2. Classification of Organic Matter and Suitability of Soil for Use Under Traffic in Road Techniques (Espitalie *et al.*, 1977; Peters *et al.*, 1994; Copard, 2002)

TOC (weight %)	CLASSES	SOIL SUITABILITY
< 0,5	Poor	suitable
0,5-1	Means	suitable
1-2	Good	suitable
2-4	Exceptionally good	unsuitable
>4	Excellent	unsuitable

Within the framework of the design of road works, the soils suitable for use must have an organic matter content of less than 2% of good to poor classes (CEBTP, 1980).

2.2.2. Mineralogical Characterization Methods

The mineralogical composition was determined using a Bruker D8 ADVANCE diffractometer. Sample powder ground to a particle size of less than 80µm was used for X-ray diffraction analysis. According to Stokes law, the fine fraction (<2 µm) was extracted by sedimentation to determine its mineralogical composition. The identification of minerals after analysis was done using the Fityk software (Caner, 2011) and is based on the positions of peaks at certain reticular distances in the (001) plane, according to the diffractograms (Thorez, 1976; Coulibaly *et al.*, 2020). Furthermore, the

analysis by X-ray diffraction (XRD) can be done on three types of complementary tests (the normal slides, the glycol slides and the heated slides).

Regarding the normal slides (N), the recorded diffractograms of DRX are used as reference to appreciate the displacements of lines caused by the other tests. The glycol slides (EG) contain ethylene-glycol, and the swelling minerals, such as smectites, are stored in the sample "swell". The heated slides are intensified to 500°C to destroy kaolinite. However, this has no effect on chlorites. The minerals of the vermiculite and smectite family are irreversibly dehydrated at this temperature. This loss of water causes a shift of the 001 line from 15 to 10 Å. These clays are said to close at 10 Å after heating. This closure of minerals is a characteristic for their identification, especially for the identification of interlayers containing smectic and vermiculite mineral sheets.

3.0 Results

3.1. Chemical Characterization of Clayey Sands of Bingerville and Samo in their Natural State

3.1.1. Content in Oxides

The proportions of the contents in oxides realized on the clayey sands, which was crushed and returned in powder form (diameter between 75 nm and 100 nm), are illustrated in Table 3.

Table 3. Proportion of the Contents in Oxides of the Various Clayey Sands of Samo and Bingerville

Clayey sands	Mass Proportion of the Measured Oxides				
	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% TiO ₂	% MgO
Bingerville	60.03±0.02	12.21±0.02	8.8±0.02	1.28±0.02	0.06±0.01
Samo	62.39±0.02	9.79±0.02	12.68±0.02	1.09±0.02	0.05±0.01

This table of proportion of oxide contents shows that the clayey sands of Bingerville and Samo are more enriched in silica oxide (SiO₂) but less enriched in iron oxide (Fe₂O₃). The variation in the chemical composition of these different soils could be explained by the environmental factors that influence the process of laterization, such as climate (temperature, water balance), topography (erosion and drainage), and vegetation (organic matter, bacteria, humic acids, and parent rocks).

These clayey sands were collected from the same climatic zone, specifically in the southern region of Ivory Coast within the sedimentary basin in the northern part of the lagoon fault. This area experiences high rainfall alternating with sunny weather, which could explain the variation in the proportions of oxides in these soils.

Also, the variable coloration of the soils ranging from red to yellow ochre is an indicator of different degrees of oxidation of these clayey sands. Thus, the oxidation of iron contained in the minerals of soils, such as iron

oxides and/or hydroxides, can be identified. The values of the degree of laterization of the various clayey sands determined by the ratio S/R are presented in Table 4.

Table 4. Values of the S/R Ratio of Different Clayey Sands

Clayey sands	S/R Ratio
Bingerville	2.18
Samo	5.93

As seen from Table 4, all the clayey sands present ratios of S/R superior to two (2). This shows the lagoon fault from East-West or from West to the East. It was further established that the silica oxides dominate the iron oxides. According to this classification, they are non-lateritic clayey sands. Thus, it is necessary to look for the content of organic matter in these different reworked soils.

3.1.2. Organic Matter Content

Based on the different clayey sands studied, Table 5 presents the results of the values of organic matter contents, which is expressed in total organic carbon.

Accordingly, the values of Total Organic Carbon (TOC) of the clayey sands vary between 0.10 and 0.15% by weight. As such, the organic matter content is low. In other words, the quantity of organic matter is low in the clayey sands of Bingerville and Samo. The rate of organic matter is less than 1 (< 1%) by weight. In such conditions, the clayey sands of this study can be treated with hydraulic binders and used as road base layers.

Table 5. Values of Organic Matter Contents of Different Clayey Sands

Clayey sands	TOC (weight %)
Bingerville	0.15±0.1
Samo	0.10±0.2

3.2. Mineralogical Characterization of the Clayey Sands of Bingerville and Samo

3.2.1. Analysis of the Clayey Sands of Bingerville

The cross analysis of the diffractograms, based on the fine fraction of the clayey sands of Bingerville, reveals that the clayey minerals are composed of kaolinite at 96% and a small proportion of illite at 4% (Figure 3). Kaolinite was detected by peaks observed at reticular distances of 7.1 Å (001), 3.55 Å (002), and 2.36 Å (003), especially on the diffractograms of the natural (N) and ethylene-glycol (EG) samples. Figures 4 and 5 confirmed the absence of peaks at these same distances on the diffractogram of the heated phase (CH500). Illite was recognized from the peaks observed on all diffractograms (Figures 3 and 4), which had the same respective lattice distances of 10 Å (001), 5 Å (002), and at 3.3 Å (003).

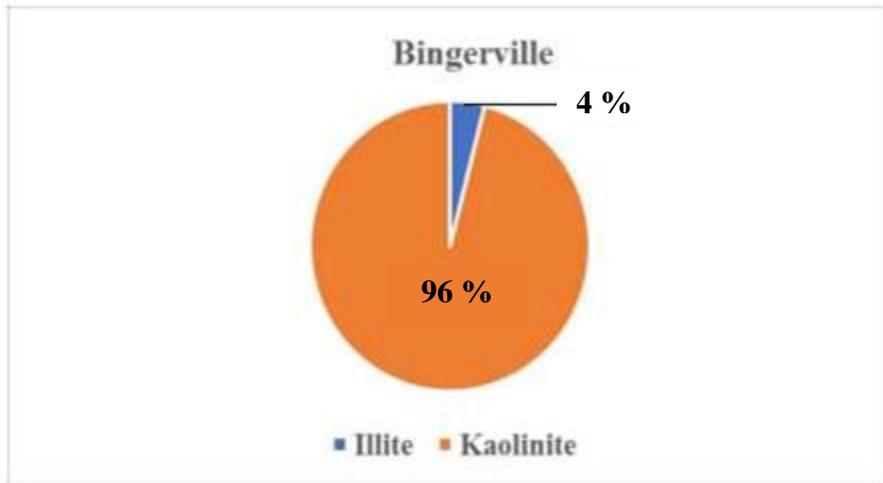


Figure 3. Mineralogical Composition of the Fine Fraction of Bingerville Clayey Sands

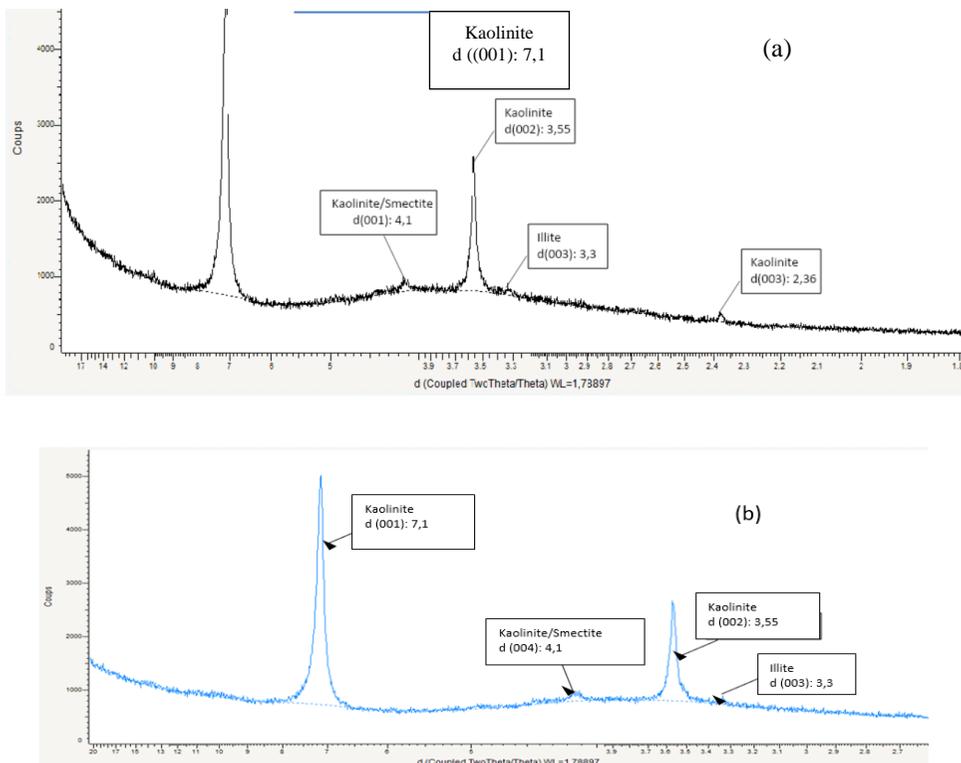


Figure 4. Diffractograms of the Fine Fraction of Bingerville Clayey Sands Performed on Normal (a) and Glycol Slides (b)

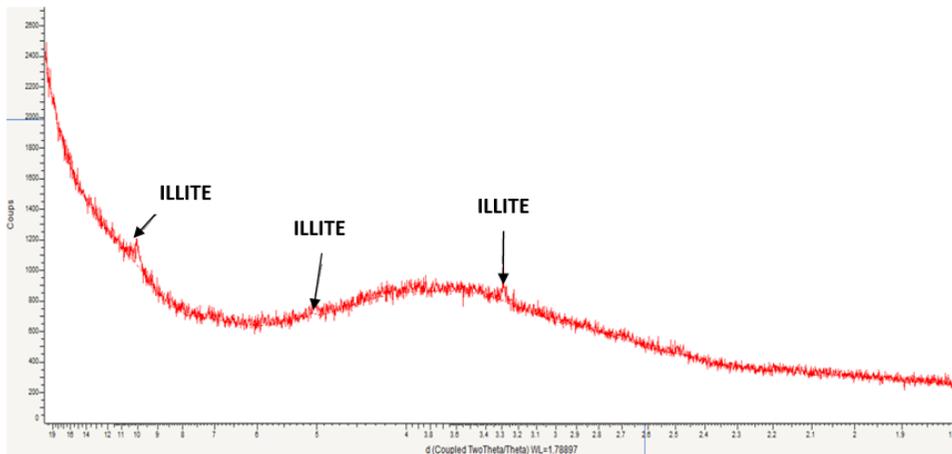


Figure 5. Diffractogram of the Fine Fraction of Heated Bingerville Clayey Sands

3.2.2. Analysis of the Clayey Sands of Samo

The clay mineralogy of the Samo sands is composed of kaolinite and illite.

Certainly, the lines observed at 7.1 Å (001), 3.55 Å (002), and 2.36 Å (003) on the diffractograms of the sample conducted on normal and glycol slides indicate the presence of kaolinite. This is confirmed by the disappearance of these peaks in the heating treatments. Kaolinite is dominant with a proportion of 93.7% against 6.3% of illite (Figure 6). The illite lines were observed at 10 Å (001), 5 Å (002), and 3.3 Å (003) on the diffractograms of the sample in normal, glycol, and heated slides (Figures 7 and 8).

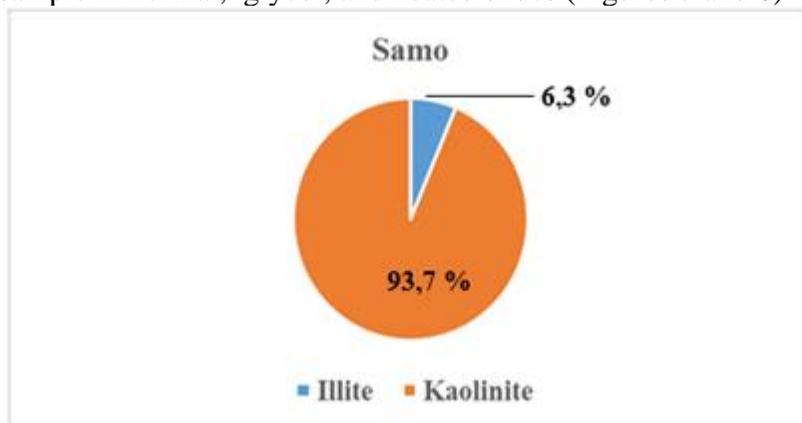


Figure 6. Mineralogical Composition of the Fine Fraction of Samo Clayey Sands

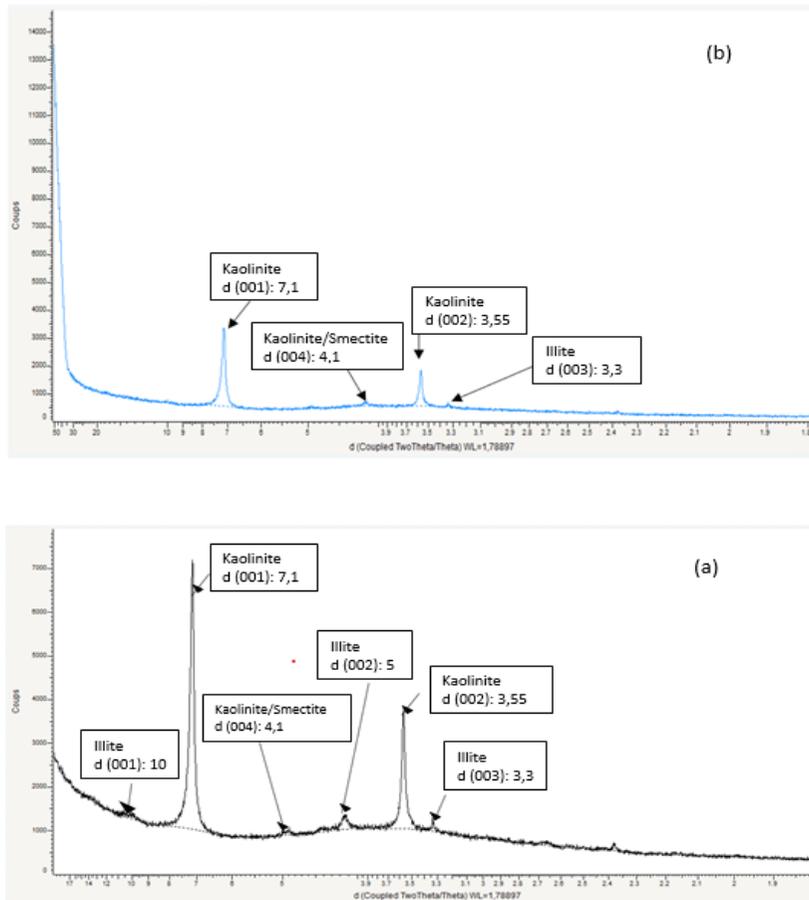


Figure 7. Diffractograms of the Fine Fraction of Samo Clayey Sands Performed on Normal (a) and Glycol Slides (b)

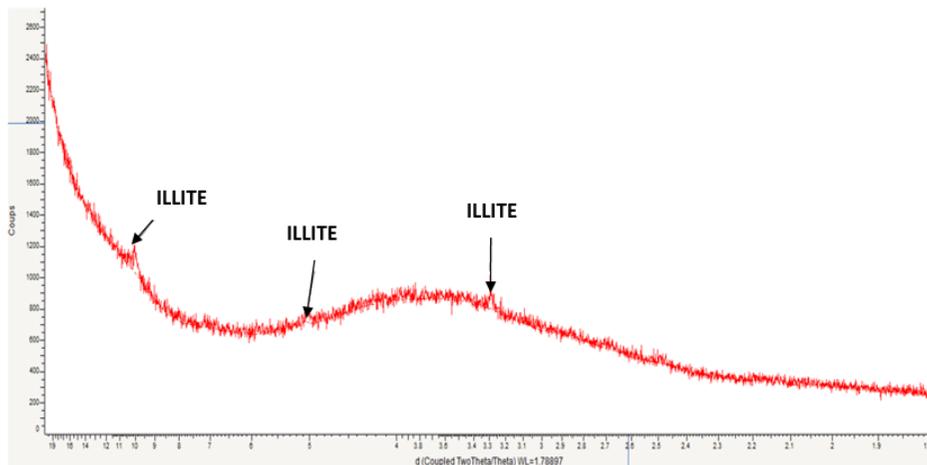


Figure 8. Diffractogram of the Fine Fraction of Samo Clayey Sands on a Heated Slide

4.0 Discussion

According to Assale *et al.* (2012), the clayey sands of Bingerville are enriched in quartz. This signifies the presence of certain minerals such as goethite, limonite, and hematite. These minerals influence the coloration of the soils as well as the variation of the degree of oxidation.

This predominance of quartz proves its resistance to weathering phenomena during erosion and transport processes in the tropical environment (N'zi *et al.*, 2018). Subsequently, these results are in line with this study.

Regarding mineralogy, the analysis of the soils studied by X-ray diffraction indicates that they are composed of kaolinite and illite. This was detected at the reticular distances corresponding to reflections 001, 002, and 003.

Kaolinite minerals are still dominant and do not show significant variations. This is the result of extensive feldspar diagenesis in a humid (hot and humid) tropical environment on the continent (Yao, 2012; Assale, 2013). In addition, Wazir (2014) describes kaolinite in the marine environment as a detrital mineral, especially in the marginal zone of the sedimentary basin, where there is no significant variation. This implies that kaolinite is the only simple clay mineral.

However, Illite is derived from the alteration of primary potassic minerals through the progressive loss of potassium (Yoboué *et al.*, 2014). In line with Benzerara (2014), the balance of crystallographic variations, according to physicochemical treatments, is summarized as follows:

- Illite is detected by the presence of lines at 10 Å, 5 Å, and 0.34 Å. This corresponds to the reflections 001, 002, and 003 of an illite phase, which is unaffected by ethylene glycol treatment and heating to 550°C.

- Kaolinite is highlighted by the presence of reflections 001 and 002 at 7.15 Å and 3.5 Å in the natural state. However, it is unaffected by ethylene glycol treatment but disappears after heating to 550°C (dihydroxylation of kaolinite).

Based on the physical, chemical, and mineralogical characteristics, these clayey soils present aptitudes for its use in road construction. They have an average content of Al_2O_3 and do not contain enough swelling clay minerals of the smectite type such as montmorillonite. Also, there is an extremely low presence of Total Organic Carbon (TOC) in these soils. Nonetheless, it can be stabilized with hydraulic binders such as Portland cement (Molard *et al.*, 1987; Temimi *et al.*, 1998). While establishing an order of magnitude of mechanical strengths of clays, which is stabilized with cement and lime, Leroux (1969) showed that the best mechanical strengths are obtained with kaolinite and illite. As for smectites, they are less suitable for this type of stabilization because they consume all the Ca^{2+} ions released by the cement during its hydration, thus preventing its setting. However, Amor (1995) reports that kaolinite only fixes two thirds of these ions.

Conclusion

The chemical analyses showed that the samples contain three oxides: SiO_2 , Al_2O_3 , and Fe_2O_3 . The content of oxides reveals that the clayey sands of Bingerville and Samo are more enriched in silica oxide (SiO_2) but less enriched in iron oxide (Fe_2O_3). Also, the low values of TOC are between 0.1 and 0.15% by weight. This reflects the extremely low amount of organic matter in these soils. Therefore, it is possible to treat these soils with hydraulic binders (Lime and cement).

As far as mineralogy is concerned, these clayey soils are suitable for road construction. The analysis of the soils studied by X-ray diffraction indicates that they are composed of kaolinite and illite.

This study shows that clay soils can support loads and are suitable for treatment with hydraulic lime and cement binders to improve their mechanical properties. As a result, they can be used in road construction in T1 and T2 type low-traffic structural pavement.

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

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

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

References:

1. Aka, P. (1991). Quaternary sedimentation on the Republic of Côte d'Ivoire margin: Modeling attempt. Thesis of Doctorate of State in Natural Sciences. University of Abidjan, n° 146.320 p.
2. Assale, F.Y.P. (2013). Sedimentological, palynological, geochemical, and paleoenvironmental characterization of sedimentary formations related to the lagoon fault (eastern onshore basin from the Republic of Côte d'Ivoire). Doctoral thesis, University Félix Houphouët-Boigny of Abidjan. 361 p.
3. Assale, F.Y.P., Monde, S., & Aka, K. (2012). Litho-stratigraphic and petro-sedimentological characterization of the Tertiary-Quaternary formations of the Bingerville area (the Republic of Côte d'Ivoire). *Afrique SCIENCE* 08 (2), pp 93-112.
4. Autret, P. (1983). Laterites and lateritic gravels. *Etudes ISTED-LCPC, France*, 38 p.
5. Benzerara, K., Skouri-Panet, F., Li J., Ferard, C., & Gugger, M. (2014). Intracellular ca-carbonate biomineralization is widespread in cyanobacteria. *Proceedings of the national academy of sciences*. Vol.111-30. pp 10933-10938.
6. Bohi, Z.P.B. (2008). Characterization of lateritic soils used in road construction: the case of the Agnéby region (the Republic of Côte d'Ivoire). Doctoral thesis, National School of Bridges and Highways, 143 p.
7. Boudlal, O., Djemai, M., Hamza, A., & Khattaoui, M. (2017). Valorization of new natural and recycled materials in road construction in Algeria *Bull Geol. Environ* 76, pp 523-535.
8. Caner, L. (2011). Phyllosilicates in soils: from identification to quantification. The Habilitation to Supervise Research, University of Poitiers, 143 p.
9. Copard, Y. (2002). Diagenetic and post-diagenetic alteration (thermicity, oxidation) of carboniferous coals from the French Massif Central (Saint-Etienne, Graissessac and other locations). University of Orléans, France. NNT: tel-00001902. 248 p.
10. Coulibaly, Y. N., Assale, F.Y.P., Ouattara, I. B., & Monde, S. (2020). Lithostratigraphic characterization and mineralogy of clays Albian deposits of Ivorian sedimentary basin *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. Vol 14(3), pp 1153-1166.
11. Diop, M. (2002). Design of road structures on swelling marls and clays: Etude de cas: Bargny-Diamniadio. *Mémoire d'Ingénieur*. University Cheikh Anta Diop. Sénégal. 133 p.
12. Djedid, T. (2020). Effect of the substitution of river sand by quarry sand on the durability of concrete based on different Algerian cements

- in chemical environments. Doctoral thesis University Mohamed Khider-Biskra, 178 p.
13. Djomo, A. S. (2017). Valorization of biodegradable waste: Elaboration of products (tiles) based on powder and bottle shards in substitution of sand and stabilized with cement. PhD thesis. University Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 276 p.
 14. Espitalie, J., Laporte, J.L., Madec, M., Marquis, F., Leplat, P., Paulet, J., & Boutefeu, A. (1977). Rapid method for characterizing source rocks, their petroleum, potential and their degree of evolution. Review of the French Petroleum Institute, 32: 23-42.
 15. Kouakou, C. H. (2005). Valorization of the clays of the Republic of Côte d'Ivoire: Study of the cold stabilization of the clay of Dabou with a hydraulic binder (Portland cement), PhD thesis. University of Cocody Abidjan, 184 p.
 16. LBTP (1977). Criteria for the use of natural lateritic gravel in base and sub-base layers. Internal report, 52 p.
 17. Leroux, A. & Riviere, A. (1969). Treatment of clayey soils with lime. Newsletter of the Bridges and Roads Laboratoires, Paris, pp 59-95.
 18. Messou, M. (1980). Mechanical behavior of a lateric gravel base layer improved with cement : case of roads in Ivory Coast. Research report, LBTP, 197 p.
 19. Molard, J. P., Camps, J.P., & Laquerbe, M., (1987). Study of extrusion and cement stabilization of single-mineral clays. Materials and structures 20, pp 44-50.
 20. Njopwouo, D. & Orleac, M. (1979). Note on the behavior of certain minerals to tri-acid attack. Cah ORSTOM, Pédol Series. Vol XVI I (n°4), pp 329-337.
 21. N'zi, J.C., Toure, M., Yao, N.J.P., Kouassi, R.A., Digbehi, Z.B., & Aka, K. (2018). Sedimentological characterization and Mineralogy of Tertiary Formations from the Onshore Basin of the Region from Abidjan, the Republic of Côte d'Ivoire. European Scientific Journal, 14: 218-234. DOI: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n18p218>
 22. Peters, K. E. & Cassa, M. R., (1994). Applied Source Rock Geochemistry. In: The petroleum system from source to trap. MAGOON L.B & DOW W.G., eds, 1994. American Association of Petroleum Memoir 60. Alaska, U.S.A, pp. 93-120.
 23. Samb, F., Makhaly, B., Meissa, F., & Berthand, Y. (2013). International Conference Eco-materials of construction, Ouagadougou, BURKINA FASO, pp 1-5.
 24. Spengler, A. & Delteil, J. (1964). The secondary and tertiary basin of the Republic of Côte d'Ivoire (West Africa). Sedimentary basins of the African coast –D Reyre, Ass. Serv. Geol. Afr., Paris, pp. 99-113.

25. Souley, I. (2016). Characterization and Valorization of lateritic materials used in road construction in Niger. PhD thesis, University of Bordeaux, 349 pp.
26. Souley, I., Saiyouri, N., Anguy, Y., Gaborieau, C., & Fabre, R. (2015). Study of lateritic materials used in road construction in Niger: Improvement method. Rencontres universitaires de génie civil, BAYONNE, FRANCE, pp 1-9
27. Tagini, B. (1972). Geological map of Ivory Coast at scale 1 :200,000. SODEMI-ORSTOM-University of Abidjan
28. Temimi, M., Ben, A. K., & Camps, J. P. (1998). Making building products by extrusion and cement stabilization: limits of the process with montmorillonite clay, *Applied Clay Science*, Vol. 13, pp 245-253.
29. Thorez, J. (1976). Practical Identification of Clay Minerals. Ed. G. Lelotte Dison, 90 p.XP P 94-202 (1995). Soils: reconnaissance and Tests-Soil and rock sampling-Methodology and procedure, AFNOR, 42 pp.
30. Wazir, I. (2014). Sediment controls and diagenetics on the properties petrophysics of sandstone reservoirs gas from the Sbaa basins, Algeria, South Palmyrides, and Syria. Thesis of Ph.D. University of Paris Sud – Paris XI. p394.
31. Yao, N. J. P. (2012). Characterization sedimentological, mineralogical, geochemical, and biostratigraphic vivid cliffs of Fresco: region of Grand-Lahou (the Republic of Côte d'Ivoire). Thesis of Ph.D. Félix Houphouët - Boigny University, Cocody Abidjan. p218.
32. Yoboué, K. E., Bongoua-Devisme, A. J., Kouadio, K. P., & Yao-Kouamé, A. (2014). Mineralogy of the clay fraction of browned soils of Kahankro and Anikro (Toumodi) in the South-central the Republic of Côte d'Ivoire. In. *J. Biol. Chem. Sci.*, 8(3): 1269-1280. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.40>

Aspects Cliniques et Indications Chirurgicales des Fractures Diaphysaires des os de l'Avant-Bras chez l'Adulte au Centre Hospitalier Universitaire de Kara

Towoezim Tchaah Hodabalo

Service de traumatologie-orthopédie du CHU Kara,
Université de Kara, Togo

Dossouvi Tamegnon

Service de chirurgie général du CHR de Dapaong, Université de Kara, Togo

Dellanh Yaovi Yanick

Service de traumatologie-orthopédie du CHR de Sokodé,
Université de Lomé, Togo

Gnandi-Piou Fare

Service de traumatologie-orthopédie du CHU Kara,
Université de Kara, Togo

Ayouba Gamal

Service de traumatologie-orthopédie du CHR Lomé-Commune,
Université de Lomé, Togo

Bakriga Batarabadja

Service de traumatologie-orthopédie du CHP de Notsè,
Université de Lomé, Togo

Abalo Anani

Service de traumatologie-orthopédie du CHU Sylvanus olympio de Lomé,
Université de Lomé, Togo

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p109](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p109)

Submitted: 23 July 2023

Accepted: 06 August 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Towoezim T.H., Dossouvi T., Dellanh Y.Y., Gnandi-Piou F., Ayouba G., Bakriga B. & Abalo A. (2023). *Aspects Cliniques et Indications Chirurgicales des Fractures Diaphysaires des os de l'Avant-Bras chez l'Adulte au Centre Hospitalier Universitaire de Kara*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 109. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p109>

Résumé

Le but de cette étude était de décrire les aspects cliniques, thérapeutiques et évolutifs des fractures diaphysaires des os de l'avant-bras dans un pays à faible revenu. Méthodologie : Cette étude rétrospective a été

conduite de janvier 2019 à décembre 2022. Elle a concerné les patients opérés et suivis dans le service pour fracture d'un ou des deux os de l'avant-bras. Résultats : durant la période d'étude, 36 dossiers de patients ont été retenus. L'âge moyen était de 38,2 ans avec des extrêmes de 18 et 65. Il y avait 26 hommes et 10 femmes, soit un sex-ratio de 2,6. Il y avait 61% (n=22) de fractures diaphysaires simultanée des deux os de l'avant-bras, 22% (n=8) de fractures de Galeazzi, et 8% (n= 3) de fractures de Monteggia. Dans 3 autres cas (8%) il y avait une fracture isolée et non déplacée de l'ulna. La fracture siégeait sur le radius dans 30 cas et sur l'ulna dans 28 cas, soit un total de 58 fractures. Le trait de fracture était simple (2R2A et 2U2A) dans 35 cas (60%). La fracture était ouverte dans 13 cas (36%). Sur le plan thérapeutique, le montage Plaque-Plaque était le plus réalisé pour les fractures fermées des deux os (13 cas), suivi d'une ostéosynthèse par embrochage centromédullaire de chaque os (5 cas), puis le montage hybride (4 cas). Le résultat global, anatomique et fonctionnel était excellent dans 85% (n=31), bon dans 9% (n=3), et moyen dans 6% (n=2). Conclusion : En dehors des plaques vissées, les broches de Kirchner jouent un rôle important dans le traitement des fractures de l'avant-bras au CHU Kara.

Mots-clés : Radius et ulna ; Fracture diaphysaire ; Plaque vissée ; Embrochage centromédullaire ; Montage hybride

Clinical Aspects and Surgical Indications of Diaphyseal Forearm Bone Fractures in Adults at Kara University Hospital

Towoezim Tchaah Hodabalo

Service de traumatologie-orthopédie du CHU Kara,
Université de Kara, Togo

Dossouvi Tamegnon

Service de chirurgie général du CHR de Dapaong, Université de Kara, Togo

Dellanh Yaovi Yanick

Service de traumatologie-orthopédie du CHR de Sokodé,
Université de Lomé, Togo

Gnandi-Piou Fare

Service de traumatologie-orthopédie du CHU Kara,
Université de Kara, Togo

Ayoubha Gamal

Service de traumatologie-orthopédie du CHR Lomé-Commune,
Université de Lomé, Togo

Bakriga Batarabadja

Service de traumatologie-orthopédie du CHP de Notsè,
Université de Lomé, Togo

Abalo Anani

Service de traumatologie-orthopédie du CHU Sylvanus olympio de Lomé,
Université de Lomé, Togo

Abstract

The aim of this study was to describe the clinical, therapeutic and evolutionary aspects of diaphyseal forearm bone fractures in a low-income country. Methods: This retrospective study was conducted from January 2019 to December 2022. It included patients operated on and followed up for fracture of one or both forearm bones. Results: During the study period, 36 patients files were retained. The mean age was 38.2 years, with extremes of 17 and 65. There were 26 men and 10 women, giving an sex ratio of 2.6. There were 61% (n=22) simultaneous diaphyseal fractures of both forearm bones, 22% (n=8) Galeazzi fractures, and 8.33% (n=3) Monteggia fractures. In 3 other cases (8.33%), there was an isolated, non-displaced ulnar fracture. The fracture was located on the radius in 30 cases and on the ulna in 28 cases, for a total of 58 fractures. The fracture line was simple (2R2A and 2U2A) in 60.34%; n=35. The fracture was open in 36% (n=13). For simultaneous diaphyseal fractures of both forearm bones, open reduction and internal

fixation by plate on each bone was the most common (13 cases), followed by centromedullary pinning of each bone (5 cases), then hybrid fixation (4 cases). The overall anatomical and functional outcome was excellent in 85% (n=31), good in 9% (n=3), and fair in 6% (n=2). Conclusion: Apart from plates fixations, Kirchner wires are very important in the treatment of forearm fractures at Kara University Hospital.

Keywords: Radius and ulna; Diaphyseal fracture; Plate fixation; Centromedullary pinning; Hybrid mounting

Introduction

Les fractures diaphysaires d'un ou des deux os de l'avant-bras sont des lésions courantes en chirurgie traumatologique (TRUNTZER, 2015 ; ZHANG, 2016). Elles sont relativement rares sur le plan mondial. En France, elles représentent 1 à 2% de l'ensemble des fractures (MARCHEIX, 2016). Bilge en Turquie avait rapporté 2,1% de l'ensemble des fractures (BILGE, 2022). En Afrique subsaharienne par contre, la fréquence des fractures diaphysaires des os de l'avant-bras est plus élevée. Au Togo, elles viennent en deuxième position, soit 14,63% de l'ensemble des fractures liées à l'exercice de la fonction militaire (AKPOTO, 2015), et 32,7% de l'ensemble des fractures en pratique civile (DELLANH, 2018). Elles sont souvent causées par les accidents de la voie publique, et concernent les sujets jeunes de sexe masculin (DELLANH, 2018 ; GARG, 2019 ; LEFEVRE, 2003). Ces fractures peuvent perturber le positionnement précis de la main dans l'espace, en raison du risque de perturbation des mouvements de pronosupination (LEFEVRE, 2003). Il existe plusieurs formes cliniques, mais les fractures simultanées de la diaphyse des deux os sont les plus fréquentes (TRUNTZER, 2015). Le traitement est chirurgicale, et il est admis dans la littérature que l'ostéosynthèse par plaque vissée sur les deux os permet de rétablir au mieux l'anatomie et donc la fonction du membre supérieur (ANDERSON, 1975 ; CHAPMAN, 1989 ; MOSS, 2007). Dans un milieu précaire, d'autres indications chirurgicales ne peuvent-elles pas permettre d'obtenir des résultats satisfaisants ? Cette étude avait pour but de décrire les aspects cliniques, thérapeutiques et évolutifs des fractures diaphysaires des os de l'avant-bras au Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Kara.

Méthodologie

Type d'étude

Il s'est agi d'une étude rétrospective et descriptive sur une période de quatre ans, du 1^{er} janvier 2019 au 31 décembre 2022 qui a eu lieu dans le service de traumatologie-orthopédie du CHU Kara. La série avait inclus les

patients âgés de plus de 18 ans, opérés et suivis pour fracture de l'avant-bras. Etaient exclus les perdus de vue et les écrasements de l'avant-bras.

Variables étudiées

Les variables étaient : le types de lésions anatomopathologiques, le délai opératoire, la méthode chirurgicale utilisée, les complications post opératoires, le délais de consolidation, les mouvements du coude, du poignet et la pronosupination. .

Le diagnostic était confirmé devant une radiographie de l'avant-bras ayant montré le siège, le trait et le type de déplacement de la fracture. Devant une fracture diaphysaire du radius isolée, la douleur du poignet et la radiographie de face et de profil du poignet permettaient de confirmer ou d'infirmer une fracture de Galeazzi. Pour les fractures diaphysaires isolée de l'ulna, l'examen clinique du coude et la radiographie de face et de profil de coude permettaient de retenir ou non le diagnostic de fracture de Monteggia. Les plaies en regard du foyer de fractures étaient classées selon Gustilo et Anderson (GUSTILO, 1976) et les lésions osseuses étaient répertoriées par la classification de l'AO (AO FOUNDATION, 2018).

La chirurgie était faite sous anesthésie générale. Le garrot n'était pas utilisé. En cas de fracture simultanée des os de l'avant-bras, le choix thérapeutique était fait à partir de trois indications chirurgicales. La première méthode consistait à réaliser l'ostéosynthèse par une plaque vissée à compression dynamique à foyer ouvert sur chaque os, lorsque les deux foyers de fractures étaient fermés (Figure 1, A et B). Le foyer radial était abordé par la voie antérieure de Henry, le foyer ulnaire était abordé par la voie postérieure de l'avant-bras. Un drain aspiratif était posé au foyer radial avant la fermeture des incisions. La deuxième technique était un embrochage centromédullaire par broches de Kirchner de l'ulna et du radius. Une première broche de 2,5mm était introduite dans le canal médullaire, à partir de l'olécrâne pour l'ulna et à partir de la styloïde radiale pour le radius. Des broches supplémentaires de diamètre inférieur ou égal à la première broche peuvent être ajoutées selon le diamètre du canal osseux (Figure 2, A et B). Cette technique était particulièrement indiquée devant les fractures ouvertes types II et types III de Gustilo où un débridement et parage minutieux étaient préalablement réalisés. La troisième méthode dite hybride consistait à réaliser un embrochage de l'ulna par broches de Kirchner, et à poser une plaque vissée sur le radius. Cette dernière était indiquée pour les fractures étagées, les fractures du quart distal et les fractures ouvertes de l'ulna (Figure 3, A et B). Pour les fractures de Galeazzi, une ostéosynthèse par plaque était faite sur le radius, complétée par un embrochage ulno-radial distal. L'amplificateur de brillance était utilisé pour le bon positionnement des broches. En post opératoire, la rééducation

fonctionnelle était débutée immédiatement chez les patients qui avaient bénéficié de la première méthodes. Pour les deux autres techniques, une attelle plâtrée postérieure brachio-antébrachio-palmaire étaient mise en place pour une durée de 45 jours et la rééducation fonctionnelle débutait juste après l'ablation de l'attelle.



Figure 1. Radiographies de l'avant-bras d'une patiente de 42 ans qui a eu un traumatisme fermé

A : clichés pré-opératoires : fractures simples 2R2A/2U2A

B : clichés post-opératoires : Ostéosynthèse des deux os par plaque vissée

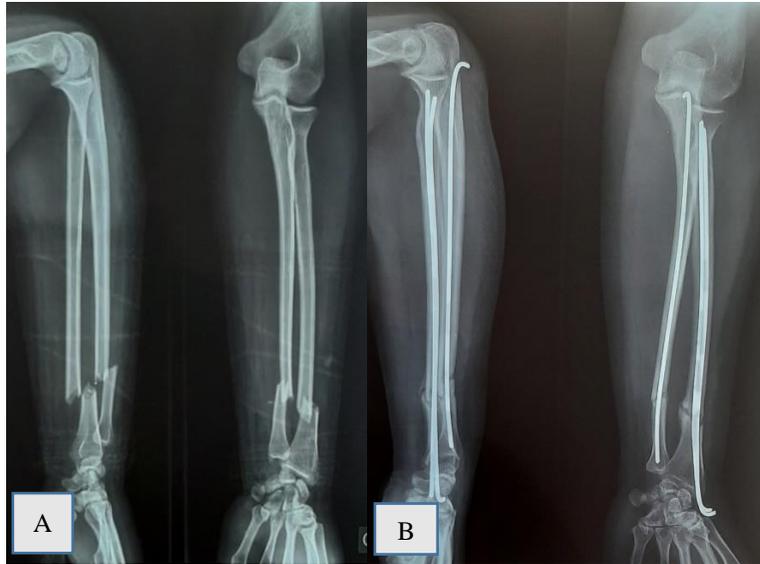


Figure 2. Radiographies de l'avant-bras gauche d'une patiente de 30 ans. Traumatisme initialement ouvert en regard du foyer radial. Consultation tardive avec début d'infection
A : clichés pré-opératoires : Fractures simples 2R2A/2U2A situées au quart distal des 2 os
B : Clichés post-opératoires : embrochage centromédullaire par broches de Kirchner



Figure 3. Radiographie de l'avant-bras droit d'un patient de 45 ans, traumatisme initialement ouverte type II de Gustilo en regard du foyer ulnaire.
A : clichés pré-opératoires : Fractures 2R2B2 / 2U2C2, le deuxième trait ulnaire très distal.
B : Clichés post-opératoires : Ostéosynthèse par la méthode hybride

L'évaluation du traitement chirurgical a été faite par le score de fonction de l'avant-bras d'Anderson (ANDERSON, 1975) (Tableau 1), après un recul moyen de 26 mois [7-51 mois]

Tableau 1. Score de fonction de l'avant-bras d'Anderson

Excellent	-fracture consolidée : -perte d'amplitude flexion et extension du poignet ou coude < 10° -perte d'amplitude pronosupination < 25%
Bon	-fracture consolidée : -perte d'amplitude flexion et extension du poignet ou coude < 20° -perte d'amplitude pronosupination < 50%
Moyen	-fracture consolidée -perte d'amplitude flexion et extension du poignet ou coude > 20° -perte pronosupination > 50%
Mauvais	Pseudarthrose, infection

Traitement statistique des données

La saisie et le traitement des données ont été faites respectivement par les logiciels Excel et SPSS.

Considérations éthiques

Tous les patients avaient donné leur consentement éclairé avant leur intégration à l'étude et l'exploitation d'images.

Résultats

Durant la période d'étude, 36 dossiers de patients ont été retenus. L'âge moyen était de 38,2 ans avec des extrêmes de 18 et de 65. Il y avait 26 hommes (72,2%) et 10 femmes (27,8%), soit un sex-ratio de 2,6. Selon l'occupation, les fonctionnaires étaient majoritaires (45%) (Tableau 2). La fracture était survenue suite à un accident de la voie publique dans 34 cas (94%), et suite à une agression dans deux cas (6%) .

Tableau 2. Répartition des patients selon l'occupation

Profession	Effectif	Pourcentage
Fonctionnaires	16	45%
Commerçants	10	28%
ménagères	4	11%
Chauffeurs	3	8%
Militaires	3	8%
Total	36	100%

Le côté droit était atteint chez 20 patients (56%), et le côté gauche chez 16 autres (44%). Il y avait 61% (n=22) de fractures diaphysaires simultanées des deux os de l'avant-bras, 22% (n=8) de fractures de Galeazzi, et 8% (n= 3) de fractures de Monteggia. Dans 3 autres cas (8%) il y avait une fracture isolée et non déplacée de la diaphyse ulnaire. La fracture siégeait sur le radius dans

30 cas et sur l'ulna dans 28 cas, soit un total de 58 fractures. Le trait de fracture était simple (2R2A et 2U2A) dans 60,34% (Tableau 3).

Tableau 3. Répartition des lésions osseuses selon la classification de l'AO

Siège de la fracture	Nature du trait de fracture	Effectif(Pourcentage)	Total
2R2	A	19(63%)	30 (100%)
	B	6(20%)	
	C	5(17%)	
2U2	A	16(57%)	28 (100%)
	B	5(18%)	
	C	7(25%)	

La fracture était ouverte dans 36% des cas (n=13). Le type II de Gustilo-Anderson était majoritaire (8 cas), suivi du type IIIb (3 cas). Le type I était vu chez deux patients. Il y avait deux cas (6%) de section de la jonction musculo-tendineuse de l'extenseur commun des doigts et de l'extenseur propre du 5^{ème} doigt. Les lésions associées sont regroupées dans le tableau 4.

Le délai moyen avant la chirurgie était de 12 jours avec des extrêmes de 4 et de 26. La durée moyenne de l'acte chirurgical était de 70 minutes (embrochage centromédullaire), et 110 minutes (ostéosynthèse par plaques). Pour la fracture diaphysaire simultanée des os de l'avant-bras, le montage Plaque-Plaque était réalisé dans 13 cas, suivi de montage broche-broche dans 5 cas et de montage plaque-broches (hydride) dans 4 cas. Les huit fractures de Galeazzi étaient traitées par une plaque sur le radius associée à une broche ulno-radiale distale. Il y avait 3 cas de fractures de Monteggia traitées par une plaque vissée sur l'ulna. Quant aux fractures isolées de l'ulna (3 cas), deux d'entre elles étaient traitées par embrochage centromédullaire et un cas de plaque vissée.

Tableau 4. Répartition des patients selon les lésions associées

Lésions associées	Effectif	Pourcentage
Fractures ouvertes	13	36%
Section tendineuse	2	6%
Traumatisme crânien	2	6%
Traumatisme du bassin	1	3%
Fracture de l'humérus homolatéral	1	3%
Fracture des métatarsiens	1	3%

Aucune atteinte nerveuse n'était survenue en peropératoire. La complication précoce en post-opératoire était marquée par l'apparition d'œdèmes et de phlyctènes sur l'avant-bras et la main chez 4 patients (11%). Il n'y avait pas d'infection du site opératoire. Toutes les plaies traumatiques étaient cicatrisées.

Les fractures opérées par plaque vissée à foyer ouvert étaient toutes consolidées dans un délai moyen de 13,25 semaines [12-16 semaines] (Figure 4). Il y avait un retard de consolidation des fractures opérées par embrochage centromédullaire (Figure 5). Le délai moyen de consolidation de ces fractures était de 18 semaines [16-24 semaines]. L'ablation des broches centromédullaires était faite dès que la fracture était consolidée. Il n'y avait aucune ablation des plaques vissées.

Le résultat global, anatomique et fonctionnel était excellent dans la majorité des cas (85% ; n=31), bon dans 9% (n=3) des cas, et moyen dans 6% (n=2) des cas (Tableau 5). Les deux cas de résultats moyens étaient dus à un défaut de rééducation fonctionnelle chez une patiente de 65 ans et chez un sujet de 48 ans. La patiente de 65 ans avait présenté une fracture ouverte type II de Gustilo des deux os avec section des extenseurs. L'ostéosynthèse était faite par embrochage, avec réparation des tendons. Chez le deuxième patient qui avait présenté une fracture de Galeazzi, il y avait un défaut de centrage de la tête ulnaire associé au défaut de rééducation.

Tableau 5. Résultats fonctionnels selon les lésions osseuses et selon la technique chirurgicale

Diagnostic	Type de montage	Résultat [effectif , pourcentage]			
		Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
Fracture simultanée des 2 os	Plaque-plaque	13(36%)	0	0	0
	Broche-Broche	3(8%)	1(3%)	1(3%)	0
	Hybride	3(8%)	1(3%)	0	0
Galeazzi	Plaque radial, Broche URD	6(17%)	1(3%)	1(3%)	0
Monteggia	Plaque ulnaire	3(8%)	0	0	0
Ulna isolé	Plaque ulnaire/ embrochage	3(8%)	0	0	0

URD : Ulna-radiale distale



Figure 4. Radiographie de contrôle au 4^{ème} mois d'une fracture des os de l'avant-bras opérée par plaque vissée: Consolidation acquise



Figure 5. Radiographie de contrôle au 6^{ème} mois d'une fracture des os de l'avant-bras opérée par embrochage centromédullaire : consolidation acquise

Discussion

La petite taille de notre échantillon constitue une limite pour notre travail, les différentes formes cliniques ne sont pas suffisamment représentées. Néanmoins il s'agit d'une étude préliminaire qui rapporte notre attitude thérapeutique et les résultats obtenus devant les fractures de l'avant-bras. Notre étude a montré que l'âge moyen des patients était de 38,2 ans. Cette moyenne d'âge se situe dans l'intervalle de 30 à 40 ans d'âge moyen retrouvé dans la littérature (LEFEVRE, 2003 ; DANSOKHO, 2011 ; GARG, 2019). Le sexe masculin était prédominant dans notre série. Ces sujets jeunes de sexe masculin sont souvent victimes des accidents de la voie publiques comme l'ont rapporté plusieurs auteurs (WANG, 2005 ; AZBOY, 2017 ; GARG, 2019). Les hommes se déplacent plus sur les engins à deux roues et sont moins vigilants. Sur le plan lésionnel, le côté droit était le plus touché (56%). Le membre supérieur droit est probablement le plus sollicité dans la protection du corps lors des accidents de circulation. La prédominance de l'atteinte du côté droit avait été rapporté par Garg, Azboy et Kale (AZBOY, 2017 ; GARG, 2019 ; KALE, 2021).

Les fractures à trait simple étaient les plus fréquentes. Kale avait rapporté 77% de fractures à trait simple, alors que dans la série de Azboy, le trait de fracture détachant un troisième fragment représentait 13 cas sur 32,

suivies des fractures à trait simple (12 cas sur 32). Les fractures simultanées de la diaphyse des deux os de l'avant-bras sont plus fréquentes que les autres formes cliniques. Ceci a été prouvé aussi bien dans notre étude que dans la littérature (MOSS, 2007 ; MSEDDE, 2008 ; AZBOY, 2017).

Sur le plan thérapeutique, nous avons utilisé dans notre série trois techniques opératoires pour l'ostéosynthèse des fractures simultanées des deux os. Il s'agissait de l'ostéosynthèse par plaque sur chaque os à foyer ouvert, d'un embrochage centromédullaire sur les deux os, ou alors de la technique hybride, notamment une plaque vissée sur le radius et un embrochage de l'ulna. Le but du traitement des fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras est d'obtenir la consolidation de la fracture et une bonne fonction du membre supérieur. Les résultats fonctionnels sont corrélés aux résultats anatomiques, pour cela la conservation de la courbure pronatrice du radius et de l'intégrité des articulations radio-ulnaires est nécessaire (KAPANDJI, 1994). Plusieurs méthodes thérapeutiques existent selon les formes cliniques.

Pour les fractures simultanées des 2 os, il est admis, depuis les travaux de Anderson et al. (ANDERSON, 1975) que l'ostéosynthèse par plaque à compression, à foyer ouvert sur chaque os, est la meilleure technique permettant d'offrir de meilleurs résultats (CHAPMAN, 1989 ; MOSS, 2007, SCHULTE, 2014). Pour ces auteurs, l'espace interosseux peut être considéré comme une articulation qui permet la rotation du radius autour de l'ulna. La restauration anatomique de cette "articulation", qui est cruciale pour la position effective de la main dans l'espace, est l'un des principaux objectifs du traitement. Mais il est aussi reproché à cette technique une importante déperdition sanguine, un déperistage étendu lié au foyer ouvert, et le risque élevé d'infection, à l'origine de retard de consolidation (ZHANG, 2016). Il est également reproché à cette technique le risque de survenue de fractures itératives après l'ablation de matériel d'ostéosynthèse (YAO, 2014).

Pour éviter ces complications, plusieurs autres auteurs préconisent l'enclouage centromédullaire verrouillé des deux os. Cette technique permettrait d'obtenir un temps opératoire significativement plus court, une incision plus petite et un décollement périosté limité par rapport à la fixation par plaque (HONG, 2006 ; LEE, 2008 ; JONES, 2011 ; AZBOY, 2017 ; KALE, 2021). Les complications fréquentes liées à cette méthode sont l'atteinte de la branche sensitive du nerf radial, et les cal vicieux en raison de la réduction non anatomique des fragments (ZHANG, 2016). Mais plusieurs études comparatives ont conclu qu'il n'y avait pas de différence significative en terme de résultat fonctionnel entre l'ostéosynthèse par plaque à foyer ouvert et l'enclouage centromédullaire à foyer fermé (JONES, 2011 ; ZHANG, 2016).

Une alternative à l'enclouage centromédullaire est l'embrochage centromédullaire par les broches de Kirchner à foyer fermé. Développée depuis les années 1920, cette technique était abandonnée. On lui reprochait de ne pas bloquer la rotation, de ne pas donner un montage stable, et nécessitait une immobilisation plâtrée complémentaire avec 17% de pseudarthroses (LEFEVRE, 2003 ; MSEDDE, 2008). Des études ultérieures ont prouvé les avantages de cette technique liés surtout au foyer fermé, notamment des gestes simples, atraumatiques, diminuant le risque de suppuration. Elle permet également une consolidation osseuse basée sur le développement du cal externe résistant. Elle est particulièrement utile chez le polytraumatisé ou le polyfracturé. Elle permet d'aboutir le plus souvent à des résultats fonctionnels et morphologiques satisfaisants, même si la réduction anatomique n'est pas parfaite (MSEDDE, 2008).

Dans notre série nous avons utilisé en majorité les plaques vissées à compression dynamique pour les fractures fermées et simultanées de la diaphyse des deux os. La consolidation était obtenue à 13,25 semaines en moyenne et les résultats étaient tous excellents, conformes aux données de la littérature (ANDERSON , 1975 ; CHAPMAN, 1989 ; GARG, 2019). Nous avons indiqué l'embrochage centromédullaire des deux os dans les cas de fractures ouvertes. Toutes ces fractures étaient consolidées avec un délai moyen de consolidation de 18 semaines. Ce retard de consolidation était probablement dû à l'ouverture traumatique du foyer de fracture, ou à la petite incision souvent réalisées et qui permettait la réduction des fragments osseux et le passage des broches car le délai opératoire était relativement long. Sur cinq patients qui avaient bénéficié de cette méthode, nous avons noté un résultat moyen en raison de l'atteinte des tendons extenseurs et de l'insuffisance de la rééducation fonctionnelle.

La méthode hybride dans notre série a donné également d'excellents et bons résultats. Elle était indiquée devant une ouverture cutanée en regard du foyer ulnaire, devant une fracture complexe type 2U2C2 / 2U2C3, ou alors lorsque le foyer ulnaire siégeait au quart distal de la diaphyse.

Pour les fractures de Galeazzi, nous avons indiqué une plaque vissée sur le radius pour rétablir sa courbure, puis avons réalisé un embrochage ulno-radial distal, avec d'excellents et bons résultats. DANSOKHO et al. (2011), et SAHNOUN et al. (2020) ont indiqué un embrochage centromédullaire du radius dans les fractures de Galeazzi. Ils avaient rapporté également des résultats satisfaisants.

Nos résultats globaux sont satisfaisants et indiquent l'importance des broches de Kirchner dans la prise en charge des fractures de l'avant-bras dans nos milieux caractérisés par la précarité financière des patients et le plateau technique limité.

Conclusion

Les fractures de la diaphyse des os de l'avant-bras sont l'apanage du sujet jeune, de sexe masculin et victime d'accident de la circulation. Les fractures à trait simples sont les plus fréquentes. L'ostéosynthèse par plaque vissée à compression dynamique, à foyer ouvert, est la plus pratiquée. Dans certains cas d'ouverture cutanée, l'embrochage centromédullaire est réalisé sur les deux os. La méthode hybride, qui consiste dans notre contexte en un embrochage centromédullaire de l'ulna et à l'ostéosynthèse du radius par plaque vissée, est parfois utilisée lorsqu'il y a une ouverture cutanée du foyer ulnaire, soit pour des fractures complexes, ou très distales sur l'ulna. En dehors du retard de consolidation des fractures opérées par broches, le résultat fonctionnel est généralement satisfaisant. L'embrochage centromédullaires des os de l'avant-bras et la méthode hybride pourront être indiqués dans les cas de fractures fermées chez les patients qui présentent des difficultés financières.

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.

Etudes humaines : L'étude a obtenu les approbations auprès du comité d'éthique de la Faculté des Sciences de la Santé de l'Université de Kara, et les principes de la déclaration d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. AKPOTO, Y. M., ABALO, A., GNANDI-PIO, F., SONHAYE, L., TCHAOU, M., SAMA, H. D., ASSENOUWE, S., LAMBONI, D., ADODOSSI, K., AMAVI, ADAM, S., KPELAO, E., TENGUE, K., SONGNE-GNAMKOULAMBA, B. (2015). Aspects épidémiologiques des fractures de membres liées à l'exercice de la fonction militaire au Togo. *Pan African Medical Journal*, 20:377. doi:10.11604/pamj.2015.20.377.6340
2. ANDERSON, L. D., SISK, D., TOOMS, R. E., PARK, W. I. (1975). Compression-plate fixation in acute diaphyseal fractures of the radius and ulna. *J Bone Joint Surg*, 57(3) : 287-97.
3. AO FOUNDATION. Fracture and dislocation, Classification compendium. *Journal of Orthopaedic Trauma* 2018 ; 32(1) : S52-S55.

4. AZBOY, I., DEMIRTAS, A., ALEMDAR, C., GEM, M., UZEL, K., ARSLAN, H. (2017). A newly designed intramedullary nail for the treatment of diaphyseal forearm fractures in Adults. *India Journal of Orthopaedics*, 51 : 697-703. DOI : 10.4103/orth.IJOrtho_79_16.
5. BILGE, O., DUNDAR, Z. D., ATILGAN, N., YAKA, H., KEKEÇ, A. F., KARAGÜVEN, D., DORAL, M. N. (2022). The epidemiology of adult fractures according to the AO/OTA fracture classification. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*, 28(2) : 209-16.
6. CHAPMAN, M. W., GORDON, J. E., ZISSIMOS, A. G. (1989). Compression-plate fixation of acute fractures of the diaphyses of the radius and ulna. *J Bone Joint Surg Am*, 71(2): 159-169
7. DANSOKHO, A. V., TEKPA, B. J. D., SANE, A. D., KINKPE, C., COULIBALY, N. F., LAMAH, L., DIEME, C., NDIAYE, A., SEYE, S. I. L. (2011). Embrochage centromédullaire du radius dans les fractures récentes de Galeazzi chez l'adulte. A propos de 23 cas. *Chirurgie de la main*, 30(2011) : 327-332.
8. DELLANH, Y. Y., AYOUBA, G., BAKRIGA, B., KOMBATE, K., AKPOTO, M. Y., WALLA, A., ABALO, A. (2018). Aspects épidémiologiques et lésionnels des fractures au CHU Sylvanus Olympio de Lomé. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo)*, 20(3) : 429-434.
9. GARG, A., SHARMA, R., JAIN, M., YADAV, U., NEMANI, M., SINGH, A. (2019). Compression plating for diaphyseal forearm fractures and evaluation of functional outcomes. *International Journal of Orthopaedics Sciences*, 5(4) : 1010-1012. <https://doi.org/10.22271/ortho.2019.v5.i4q.3051>.
10. GUSTILO, R. B. ; ANDERSON, J. T. (1976). Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty five open fractures of long bones. *J. Bone Joint Surg. (Am.)*, 584A : 453-458.
11. HONG, G. C., CONG-FENG, L., HUI-PENG, S., CUN-YI, F., BING-FANG, Z. (2006). Treatment of diaphyseal forearm nonunions with interlocking intramedullary nails. *Clin Orthop Relat Res*, 450:186-192.
12. JONES, D. B., KARKAR, S. (2011). Adult diaphyseal forearm fractures : Intramedullary nail versus plate fixation. *The journal of hand surgery*, 36(7) : 1216-1219. doi:10.1016/j.jhsa.2011.03.020
13. KALE, S. Y., SINGH, S. D., SAMANT, P., BUKALSARIA, D., CHAUDHARI, P., GHODKE, R. J. (2021). Treatment of diaphyseal forearm fractures with interlocking intramedullary nailing : A pilot Study. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 17(2021) : 195-200. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.03.004>.
14. KAPANDJI, A. (1994). *Physiologie articulaire. Fascicule I- le membre supérieur (5e éd'n)*. Paris; Maloine éditions, 1994:106-37.

15. LEE, Y. H., LEE, S. K., CHUNG, M. S., BAEK, G. H., GONG, H. S., KIM, K. H. (2008). Interlocking contoured intramedullary nail fixation for selected diaphyseal fractures of the forearm in adults. *J Bone Joint Surg*, 90:1891-8.
16. LEFEVRE, C. H., LE NEN, D., DUBRANA, F., STINDEL, E., HU, W. (2003). Fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras chez l'adulte. *Encyc Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés), Appareil locomoteur, 14-044-A-10, 2003, 15P.*
17. MARCHEIX, P. S., DELCLAUX, S., EHLINGER, M., SCHEIBLING, B., DALMAY, F., HARDY, J., LEBARON, M., BONNEVIALLE, P. (2016). Complications pré - et postopératoires des fractures des deux os de l'avant-bras de l'adulte traitées par plaque. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique*, 102 : 575-578.
18. MOSS, J. P., BYNUM, D. K. (2007). Diaphyseal fractures of the radius and ulna in Adults. *Hand Clin*, 23 : 143-151.
19. MSEDDEI, M. B. E., MANICOM, O., FILIPPINI, P., DEMOURA, A., PIDET, O., HERNIGOU, P. (2008). Embrochage centromédullaire des fractures diaphysaires des deux os de l'avant-bras chez l'adulte. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Réparatrice de l'Appareil Moteur*, 94(2) : 160-167. Doi : 10.1016/j.rco.2007.11 .006.
20. SAHNOUN, N., AYEDI, B., KESKES, K., REBAI, M. A., ZOUCHE, I., ZRIBI, W., ELLOUZ, Z., KESKES, H. (2020). Etude rétrospective des fractures de Galeazzi chez l'adulte dans le département d'orthopédie du Centre Hospitalier Universitaire Habib Bourguiba Sfax, Tunisie : à propos de 45 cas. *Pan African Medical Journal*, 35 : 135. Doi : 10.11604/pamj.2020.35.135.22612.
21. SCHULTE, L. M., MEALS, C. G., NEVIASER, R. J. (2014). Management of adult diaphyseal both-bone forearm fractures. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 22(7) : 437-446. Doi : 10.5435/jaaos-22-07-437.
22. TRUNTZER, J., VOPAT, M. L., KANE, P. M., CHRISTINO, M. A., KATARINCIC, J., VOPAT, B. G. (2015). Forearm diaphyseal fractures in the adolescent population: treatment and management. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 25:201-9. doi: 10.1007/s00590-014-1489-x.
23. WANG, J. P., CHIN, F. Y., CHEN, C. M., CHEN, T. H. (2005). Surgical treatment of open diaphyseal fractures of both the radius and ulna. *J Chin Med Assoc*, 68(8) : 379-382.
24. YAO, C. K., LIN, K. C., TARNG, Y. W., CHANG, WN, RENN YH. Removal of forearm plate leads to a high risk of refracture : decision regarding implant removal after fixation of the forearm and analysis of

- risk factors of refracture. Arch Orthop Trauma Surg 2014 ; 134(12) : 1691-1697. Doi : 10.1007/s00402-014-2079-4.
25. ZHANG, X. F., HUANG, J. W., MAO, H. X., CHEN, W. B., LUO, Y. (2016). Adult diaphyseal both-bone forearm fractures : A clinical and biomechanical comparison of four different fixations. Orthop Traumatol Surg Res. <http://dx.doi.org/10.1016/j.otsr.2015.11.019>



Déterminants de la Satisfaction des Exploitants Agricoles à l'Égard du Système de Riziculture Intensive (SRI) dans les Communes de Malanville et de Karimama au Nord du Bénin

Abdel Karim Koda Djerma Adam

Laboratoire d'Analyses et de Recherches sur les Dynamiques Economiques et Sociales (LARDES), Faculté d'Agronomie, Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE)
Université de Parakou (UP), Parakou, Bénin

Alexis Hougni

Institut National des Recherches agricoles du Bénin (INRAB),
Cotonou, Bénin

Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE),
Université de Parakou (UP), Parakou, Bénin

Jacob Afouda Yabi

Laboratoire d'Analyses et de Recherches sur les Dynamiques Economiques et Sociales (LARDES), Faculté d'Agronomie, Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE)
Université de Parakou (UP), Parakou, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p126](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p126)

Submitted: 28 August 2023

Accepted: 18 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Djerma Adam A.K.K., Hougni A. & Yabi J.A. (2023). *Déterminants de la Satisfaction des Exploitants Agricoles à l'Égard du Système de Riziculture Intensive (SRI) dans les Communes de Malanville et de Karimama au Nord du Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 126. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p126>

Résumé

Face à la demande sans cesse croissante en riz pour l'alimentation des populations au Bénin, le Système de Riziculture Intensive (SRI) devient une option crédible pour booster sa production. L'étude a pour objectif d'identifier les facteurs qui déterminent la satisfaction des exploitants rizières des communes de Malanville et Karimama au Bénin à l'égard du SRI. Pour atteindre cet objectif, des données quantitatives et qualitatives ont été collectées et un modèle logistique ordinal ajusté est utilisé sur un échantillon de 368 enquêtés. Les résultats indiquent que l'accès à l'information, l'activité

principale, les appuis reçus, le coût d'entretien de l'exploitation, l'état du revenu généré par l'exploitation et les moyens financiers dont dispose l'exploitant sont les principales variables qui ont un effet positif et significatif sur la satisfaction. En conséquence, l'étude suggère la mise en place des mesures d'accompagnement, l'aide à la disponibilité et à l'accessibilité de semences de qualité et la subvention pour un meilleur accès à la matière organique qui est la principale contrainte à la pratique du SRI.

Mots-clés: Adoption, Perception, Préférence, Satisfaction, Riz

Determinants of Farmers' Satisfaction with the Intensive Rice System (IRS) in the Communes of Malanville and Karimama in Northern Benin

Abdel Karim Koda Djerma Adam

Laboratoire d'Analyses et de Recherches sur les Dynamiques Economiques et Sociales (LARDES), Faculté d'Agronomie, Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE)
Université de Parakou (UP), Parakou, Bénin

Alexis Hougni

Institut National des Recherches agricoles du Bénin (INRAB),
Cotonou, Bénin

Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE),
Université de Parakou (UP), Parakou, Bénin

Jacob Afouda Yabi

Laboratoire d'Analyses et de Recherches sur les Dynamiques Economiques et Sociales (LARDES), Faculté d'Agronomie, Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE)
Université de Parakou (UP), Parakou, Bénin

Abstract

Faced with the ever-increasing demand for rice to feed the population in Benin, the Intensive Rice System (IRS) is becoming a credible option to boost its production. The objective of the study is to identify the factors that determine the satisfaction of rice farmers in the communes of Malanville and Karimama in Benin with the SRI. To achieve this objective, quantitative and qualitative data were collected and an adjusted ordinal logistic model was used on a sample of 368 respondents. The results indicate that access to information, the main activity, the support received, farm maintenance cost, the state of the income generated by the operation and the financial means

available to the operator are the main variables that have a positive and significant effect on satisfaction. Consequently, the study suggests the implementation of accompanying measures, support for the availability and accessibility of quality seeds and the subsidy of access to organic matter which is the main constraint to the practice of IRS.

Keywords: Adoption, Perception, Preference, Satisfaction, Rice

1. Introduction

Autrefois considéré comme un aliment de luxe par les populations et consommé seulement lors des événements festifs dans les ménages, le riz a changé de statut en devenant au fil des années une denrée incontournable dans la lutte contre l'insécurité alimentaire et constitue de ce fait la deuxième plus importante source de calories en Afrique de l'Ouest (FAO, 2018). Le volume de riz produit, estimé à 281 428 tonnes en 2016 est passé à 411 578 tonnes en 2020, soit une augmentation de 68,37% en cinq ans (FAOSTAT, 2020). Malgré ces volumes, l'offre de riz est largement en deçà de la demande qui va grandissante. Se fondant sur les données de l'Institut National de la Statistique et de la Démographie (INStAD, 2023), au classement des dix (10) principaux produits acquis à l'extérieur au titre seulement du premier trimestre 2023, le riz se retrouve à la deuxième place avec une valeur de 77,9 milliards de FCFA pour un volume de riz évalué à 288 105,7 tonnes. Dans le même temps, seulement 21% du potentiel en terre rizicole évalué à environ 375 000 hectares est exploité pour une production totale de 374 706 tonnes de riz paddy (DPP/MAEP, 2019).

Face à ces constats, un des défis majeurs est d'identifier d'autres options de production qui améliorent à la fois la quantité et la qualité, tout en réduisant la consommation de ressources (Pisani, 2007). Le Système de Riziculture Intensive (SRI) représente donc l'une des options malgré le faible taux d'adoption qui est d'environ 7% au Bénin (CRCOPR/ROPPA, 2022). Comme l'ont stipulé Ouédraogo et Dakouo (2017), il paraît important de poursuivre les investigations pour améliorer les connaissances sur l'adoption des technologies rizicoles en vue de mieux orienter les actions de plaidoyer. En effet, la perception est fortement influencée par les attentes qui à leur tour déterminent la satisfaction. Cette relation de cause à effet mérite d'être analysée en vue de comprendre les motivations des exploitants agricoles à adopter ou non le SRI. En effet, la perception est fortement influencée par les attentes qui à leur tour déterminent la satisfaction. Cette relation de cause à effet mérite d'être bien analysée en vue de comprendre les motivations des exploitants agricoles à adopter ou non le SRI.

La présente étude contribue donc à l'enrichissement de la littérature sur les déterminants non observables de l'adoption du SRI dans le Nord Bénin. Il

met en relief les variables explicatives pertinentes sur lesquelles il faille agir pour améliorer le niveau de satisfaction des exploitants agricoles vis-à-vis du SRI.

Pour ce faire, nous faisons l'hypothèse que les exploitants agricoles pratiquant le paquet complet du système de riziculture intensive sont satisfaits des résultats qu'il délivre.

2. Matériels et méthodes

2.1. Zone d'étude

L'étude a été menée dans le département de l'Alibori et plus précisément dans les communes de Karimama et de Malanville. Ces deux communes sont situées dans l'extrême nord du Bénin, entre les parallèles 11°50' et 12°25' de latitude nord et les méridiens 2°43' et 3°20' de longitude Est (Figure 1). Elles constituent le Pôle de Développement Agricole 1 encore appelé Pôle de Développement Vallée du Niger. Cette zone couvre une superficie de 9118 km² et est limitée au Nord par le Niger, au Sud par les Communes de Banikoara, de Kandi et de Ségbana ; à l'Ouest par le Burkina-Faso et à l'Est par le Nigéria. Elle est traversée par le fleuve Niger qui lui offre des potentialités énormes en termes de productions rizicole, maraichère et piscicole (Toko *et al.*, 2011). Les autres importants cours d'eau qui le traversent sont les rivières Alibori, Sota et Mékrou. Le climat est de type soudano-sahélien et caractérisé par une saison sèche et une saison des pluies. Les sols y sont de type sablo argilo, ferrugineux et très propices à la culture de riz et le maraîchage (Guidibi et Ahoyo, 2006). La végétation est constituée de savane arborée avec de fortes étendues de formations herbacées (Adomou, 2005).

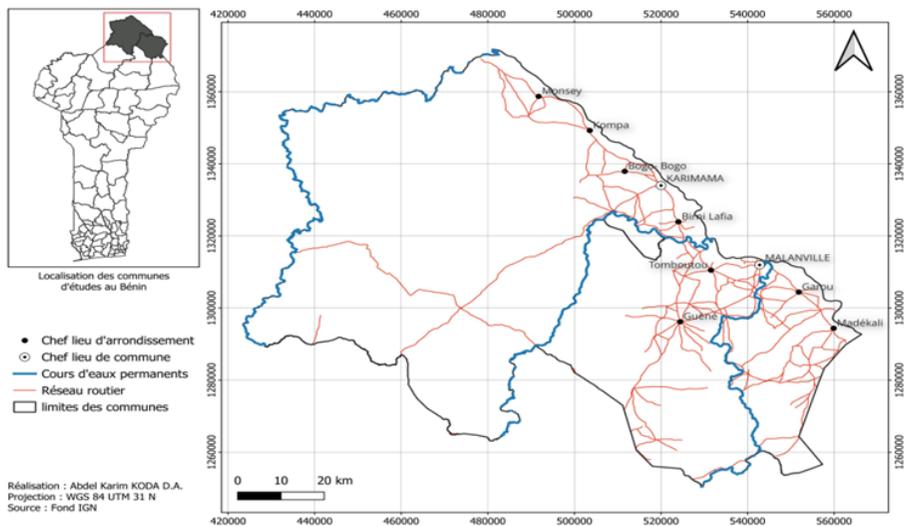


Figure 1. Carte de la zone de l'étude assortie des cours d'eau et arrondissements

Source : Enquête de terrain (2023)

2.2. Echantillonnage

Selon les informations recueillies auprès de l'Union Régionale des Producteurs de Riz du Borgou et de l'Alibori (URPA), la population mère étant de 9228 exploitants agricoles, la taille de l'échantillon est donc de 368 individus et est décliné par commune et par genre (Tableau 1). Elle est déterminée par la formule de Cochran (1963), suivant l'équation ci-après :

$$n_0 = \frac{Z^2 pq}{e^2}$$

Avec :

- n_0 : la taille minimale de l'échantillon sans le facteur de correction de la population connue,
- Z : est le niveau de confiance selon la loi normale centrée réduite (pour un niveau de confiance de 95%, $z = 1,96$)
- e : le niveau de précision souhaité ou la marge d'erreur tolérée ($e = 5\%$ près)
- p : la proportion estimée de la population qui présente la caractéristique (lorsque inconnue, on utilise $p = 0,5$)
- q : le niveau de confiance. Il est égal à $1-p$

L'application du facteur de correction de population finie donne la taille réelle de l'échantillon n , qui est calculée selon l'équation suivante.

$$n = \frac{n_0 N}{n_0 + (N - 1)}$$

avec N la taille de la population mère

Il convient de préciser que l'échantillon a été constitué à partir d'une randomisation faite au sein de la population mère et en veillant au respect des quotas par commune et selon le genre.

Tableau 1. Répartition de l'échantillon de l'étude par commune et par genre

Commune/ Population/ Échantillon	Population mère					Echantillon		
	Nombre de CVPR	Pourcentage	Exploitants agricoles femmes	Exploitants agricoles hommes	Total	Femme	Homme	Total
Karimama	13	19%	589	2054	2643	23	82	105
Malanville	55	81%	1697	4888	6585	68	195	263
Total	68		2286	6942	9228	91	277	368
Pourcentage (%)		100	25	75	100	25	75	100

Source : Enquête de terrain (2022)

2.3. Modèle d'analyse

Afin d'analyser la satisfaction des exploitants agricoles face à la pratique du SRI, un modèle logistique ordinal encore connu sous le nom de

modèle des probabilités proportionnelles ou modèle logit cumulatif a été ajusté. En effet, ce modèle a été utilisé dans plusieurs études empiriques portant sur l'analyser des réponses ordonnées (Elias *et al.*, 2015 ; Sossou *et al.*, 2021). Le choix de ce modèle est conditionné par la nature ordinale de notre variable dépendante qui sera mesurée à l'aide d'une échelle de Likert à trois (3) niveaux.

$$\left(\begin{array}{l} Satisfaction \end{array} \right) \begin{cases} 0 \text{ si } \textit{Plutôt insatisfait} \\ 1 \text{ si } \textit{Plutôt satisfait} \\ 2 \text{ si } \textit{Très satisfait} \end{cases}$$

Pour une variable dépendante Y (satisfaction des exploitants) avec G catégories ($Y = 0, 1, 2, \dots, G - 1$) et X_k variables explicatives, la probabilité que la satisfaction soit dans une catégorie supérieure ou égale à g ($g = 1, 2, 3, \dots, G - 1$) est mesurée par la formule ci-dessous :

$$P(Y \geq g|X) = \frac{1}{1 + \exp[-(\alpha_g + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i)]}$$

Avec α_g l'ordonnée à l'origine associée à chacune des comparaisons $G - 1$.

La fonction `clm ()` du package `ordinal` R (version 2019.12-10) avec une fonction de lien logit a été utilisée pour l'ajustement du modèle.

Ensuite pour des raisons de parcimonie, une méthode de sélection est alors utilisée pour retenir le meilleur modèle parmi plusieurs modèles candidats obtenus à partir de toutes les combinaisons de prédicteurs. La fonction `dredge()` de l'extension `MuMIn` (version 1.47.1) de R (Bartoń, 2022) permet de faire une estimation de toutes ces combinaisons de modèles (Nombre total de modèles = 65 536). Par ailleurs, dans le souci d'apprécier la perte d'informations de chaque modèle candidat, le critère d'information de second ordre d'Akaike (AICc) a été utilisé et a permis de réaliser une classification des modèles. Le meilleur modèle étant le modèle avec la valeur AICc la plus faible.

Les paramètres du modèle logistique final sont ensuite estimés à l'aide de la moyenne des modèles qui se base sur la moyenne des estimations des paramètres pour chacun des modèles candidats et pondérée par son poids d'Akaike (w_i) dans un sous-ensemble des meilleurs modèles. Dans l'optique d'apprécier le support relatif des différents modèles alternatifs, il a été fait recours aux différences d'AICc ($\Delta AICc_i$) entre la valeur AICc du meilleur modèle identifié précédemment et l'AICc de chaque modèle. En général, tous les modèles dont la valeur de $\Delta AICc$ est inférieure ou égale à 2 sont pris en compte dans le sous-ensemble des meilleurs modèles avec un intervalle de confiance estimé à 95% du poids d'Akaike cumulé. Pour chacun des modèles, les valeurs $\Delta AICc_i$ sont aussi utilisées pour calculer le poids d'Akaike. La

somme des poids d'Akaike de tous les modèles du sous-ensemble candidat est égale à 1. La fonction `model.avg ()` de R a permis de faire le calcul de la moyenne des modèles.

Il convient de préciser qu'une triangulation a été faite afin d'avoir le point de vue des enquêtés sur chacun des six principes du SRI, et pouvoir mieux comprendre leur perception.

La variable expliquée du modèle empirique est la satisfaction à l'égard du SRI. Pour l'analyse, 16 variables explicatives ont été introduites dans le modèle (Tableau 2).

Tableau 2. Variables explicatives du modèle

Variable	Description	Signe attendu
Variable dépendante : Satisfaction des exploitants		
Variables explicatives		
AGE	Age de l'exploitant : variable quantitative (année).	+
SEXE	Sexe : variable binaire. 1 si Masculin et 0 si féminin	±
ACTIP	Activité principale : variable binaire. 1 si agriculture et 0 si autre	+
ACRED	Accès au crédit : variable binaire. 1 si oui et 0 si non	±
APPUI	Appui Etat/projets/programmes dans la pratique du SRI : variable binaire (1 si oui et 0 si non)	±
ACINFO	Effort pour accéder à l'information sur la pratique du SRI : variable qualitative	+
ETATREV	Etat du revenu de l'exploitation de riz : variable qualitative (Bon, acceptable, médiocre)	+
EDUC	Niveau d'instruction : variable qualitative	+
EXPRIZ	Expérience dans la production rizicole : variable quantitative (année)	±
TERRE	Mode d'accès à la terre : variable qualitative (propriétaire, locataire ou métayer).	+
CTENTR	Appréciation de la capacité à supporter les coûts d'entretien de l'exploitation rizicole : variable binaire (1 si oui et 0 si non)	+
MOYEN	Appréciation du niveau de ressources financières pour supporter la pratique du SRI : variable binaire (1 si oui et 0 si non)	+
UTILSRI	Cohérence entre SRI et Attentes des exploitants agricoles : variable binaire : (1 si oui et 0 si non)	+
NBACT	Nombre d'actifs agricoles : variable quantitative (nombre)	+
BOVIN	Nombre de bœufs : variable quantitative (nombre de sujets)	+
RDTSRI	Rendement moyen pour le SRI : variable quantitative (tonne)	+

Source : Enquête de terrain (2022)

3. Résultats et Discussion

3.1 Statistiques descriptives

Les résultats des analyses des variables qualitatives introduites dans le modèle sont présentés dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3. Statistiques descriptives des variables catégorielles en fonction de la satisfaction.
 P est la valeur de la probabilité associée au test de khi-deux

Variables	Modalités	Satisfaction			Total	P (Khi-deux)
		Plutôt insatisfait (Pi)	Plutôt satisfait (Ps)	Très satisfait (Ts)		
SEXE	F	9 (10,34%)	69 (79,31%)	9 (10,34%)	87 (23,64%)	0,006
	M	13 (4,63%)	200 (71,17%)	68 (24,20%)	281 (76,36%)	
	Total	22 (5,98%)	269 (73,10%)	77 (20,92%)	368 (100,00%)	
ACTIP	Agriculture	22 (6,15%)	260 (72,63%)	76 (21,23%)	358 (97,28%)	0,640
	Commerce	0 (0%)	6 (100,00%)	0 (0%)	6 (1,63%)	
	Elevage	0 (0%)	3 (75,00%)	1 (25,00%)	4 (1,09%)	
	Total	22 (5,98%)	269 (73,10%)	77 (20,92%)	368 (100,00%)	
TERRE	Achat	0 (0%)	7 (100,00%)	0 (0%)	7 (1,90%)	0,010
	Don	1 (6,25%)	14 (87,50%)	1 (6,25%)	16 (4,35%)	
	Emprunt	5 (21,74%)	13 (56,52%)	5 (21,74%)	23 (6,25%)	
	Héritage	12 (4,29%)	202 (72,14%)	66 (23,57%)	280 (76,09%)	
	Location	4 (9,52%)	33 (78,57%)	5 (11,90%)	42 (11,41%)	
	Total	22 (5,98%)	269 (73,10%)	77 (20,92%)	368 (100,00%)	
ACRED	Non	21 (7,19%)	214 (73,29%)	57 (19,52%)	292 (79,35%)	0,090
	Oui	1 (1,32%)	55 (72,37%)	20 (26,32%)	76 (20,65%)	
	Total	22 (5,98%)	269 (73,10%)	77 (20,92%)	368 (100,00%)	
MOYEN	Non	20 (10,87%)	156 (84,78%)	8 (4,35%)	184 (50,00%)	0,000
	Oui	2 (1,09%)	113 (61,41%)	69 (37,50%)	184 (50,00%)	
	Total	22 (5,98%)	269 (73,10%)	77 (20,92%)	368 (100,00%)	
EDUC	Aucun	18 (7,59%)	172 (72,57%)	47 (19,83%)	237 (64,40%)	0,485
	Autre	1 (20,00%)	4 (80,00%)	0 (0%)	5 (1,36%)	
	Primaire	2 (2,22%)	66 (73,33%)	22 (24,44%)	90 (24,46%)	
	Secondaire	1 (3,03%)	25 (75,76%)	7 (21,21%)	33 (8,97%)	
	Universitaire	0 (0%)	2 (66,67%)	1 (33,33%)	3 (0,82%)	
	Total	22 (5,98%)	269 (73,10%)	77 (20,92%)	368 (100,00%)	
UTILSRI	Non	9 (9,89%)	77 (84,62%)	5 (5,49%)	91 (24,73%)	0,000
	Oui	13 (4,69%)	192 (69,31%)	72 (25,99%)	277 (75,27%)	
	Total	22 (5,98%)	269 (73,10%)	77 (20,92%)	368 (100,00%)	
CTENTR	Non	15 (13,76%)	90 (82,57%)	4 (3,67%)	109 (29,62%)	0,000
	Oui	7 (2,70%)	179 (69,11%)	73 (28,19%)	259 (70,38%)	
	Total	22 (5,98%)	269 (73,10%)	77 (20,92%)	368 (100,00%)	
APPUI	Non	21 (15,11%)	110 (79,14%)	8 (5,76%)	139 (37,77%)	0,000
	Oui	1 (0,44%)	159 (69,43%)	69 (30,13%)	229 (62,23%)	
	Total	22 (5,98%)	269 (73,10%)	77 (20,92%)	368 (100,00%)	
ACINFO	Aucun	4 (50,00%)	4 (50,00%)	0 (0%)	8 (2,17%)	0,000
	Peu	18 (5,10%)	262 (74,22%)	73 (20,68%)	353 (95,92%)	
	Beaucoup	0 (0%)	3 (42,86%)	4 (57,14%)	7 (1,90%)	
	Total	22 (5,98%)	269 (73,10%)	77 (20,92%)	368 (100,00%)	
ETATREV	Médiocre	7 (77,78%)	2 (22,22%)	0 (0%)	9 (2,45%)	0,000
	Acceptable	15 (6,70%)	196 (87,50%)	13 (5,80%)	224 (60,87%)	
	Bon	0 (0%)	71 (52,59%)	64 (47,41%)	135 (36,68%)	
	Total	22 (5,98%)	269 (73,10%)	77 (20,92%)	368 (100,00%)	

Source : Enquête terrain (2023)

Les résultats issus de l'analyse de ce tableau révèlent que 24% des enquêtés sont des femmes contre 76% d'hommes. La proportion d'enquêtés plutôt satisfaits ou très satisfaits du SRI est dans le même ordre de grandeur pour les femmes (90%) que pour les hommes (95%). Pour le niveau d'instruction, 64% des enquêtés sont analphabètes contre seulement 34% qui ont les niveaux primaire, secondaire et universitaire. Le degré d'insatisfaction varie entre 0 et 3% pour les enquêtés qui ont le niveau primaire, secondaire ou universitaire ; alors qu'il varie entre 8 et 20% pour les analphabètes. Pour l'accès à la terre, l'héritage est le mode d'accès principal (76%) suivi de la location (11%). Il a été constaté que le taux d'insatisfaction est plus élevé au niveau des enquêtés ayant la location et l'emprunt comme mode d'accès à la terre (environ 32%). En outre 97% des enquêtés pratiquent l'agriculture comme principale activité avec une forte proportion (79%) qui n'a bénéficié d'aucun crédit pour pratiquer la riziculture. Par ailleurs 75% des enquêtés ont estimé que le paquet technologique SRI cadre avec leurs attentes, bien que 98% n'aient eu aucun ou peu d'informations sur le SRI. Pour ce qui est du coût d'entretien des exploitations rizicoles, 70% des enquêtés estiment qu'il est supportable. Pour les Moyens financiers, 50% des enquêtés pensent qu'ils en ont suffisamment pour supporter les charges liées à la pratique du SRI et 61% d'entre eux trouvent que l'état de leurs revenus issus de la pratique de la riziculture est bon. Concernant le niveau de satisfaction, il ressort que 94% des enquêtés ayant l'agriculture comme principale activité sont plutôt satisfaits ou très satisfaits du SRI.

Il convient de noter par ailleurs qu'un test de khi-deux a été réalisé et a montré qu'en dehors du niveau d'éducation et l'activité principale, toutes les autres variables présentent un lien statistique significatif avec la satisfaction par rapport au SRI (probabilités $< 0,1$).

Pour ce qui est des variables quantitatives introduites dans le modèle, elles sont présentées dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4. Statistiques descriptives des variables continues en fonction de la satisfaction

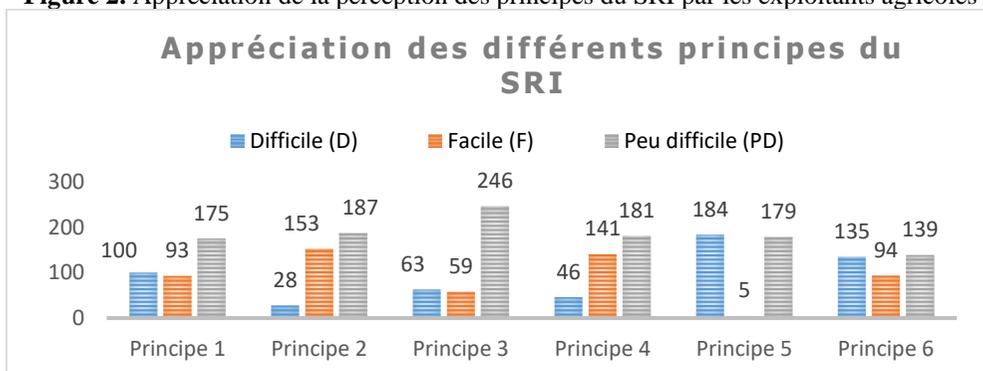
Variables	Statistiques	Satisfaction		
		Plutôt insatisfait (Pi)	Plutôt satisfait (PS)	Très satisfait (TS)
AGE	Min / Max	21,0 / 55,0	21,0 / 74,0	22,0 / 63,0
	Med [IC]	40,0 [31,2 ; 49,5]	42,0 [35,0 ; 50,0]	41,0 [35,0 ; 50,0]
	Moy. (std)	39,8 (10,1)	42,4 (10,3)	42,5 (9,5)
EXPRIZ	Min / Max	2,0 / 40,0	4,0 / 77,0	6,0 / 40,0
	Med [IC]	14,5 [10,5 ; 19,8]	18,0 [15,0 ; 22,0]	20,0 [17,0 ; 25,0]
	Moy. (std)	16,0 (8,6)	18,9 (7,0)	21,1 (6,3)
NBACT	Min / Max	2,0 / 9,0	1,0 / 25,0	1,0 / 30,0
	Med [IC]	3,0 [3,0 ; 4,0]	5,0 [3,0 ; 6,0]	5,0 [4,0 ; 7,0]
	Moy. (std)	3,8 (1,9)	5,7 (3,8)	5,9 (3,7)
BOVIN	Min / Max	0 / 5,0	0 / 85,0	0 / 90,0
	Med [IC]	0 [0 ; 1,8]	2,0 [0 ; 3,0]	2,0 [2,0 ; 4,0]
	Moy. (std)	1,0 (1,6)	3,0 (7,0)	3,7 (10,1)
RDTSRI	Min / Max	0 / 6,5	0 / 22,0	0 / 18,0
	Med [IC]	4,5 [3,1 ; 5,8]	6,0 [5,7 ; 7,0]	7,5 [7,0 ; 8,5]
	Moy. (std)	3,8 (2,3)	6,2 (2,3)	7,5 (2,2)

Source : Enquête de terrain (2023)

Les résultats des analyses révèlent que l'âge des enquêtés varie entre 21 et 74 ans avec une moyenne de 42 ans. La moyenne d'âge suivant les trois niveaux de satisfaction est pratiquement la même (environ 40 ans pour les enquêtés plutôt insatisfaits et environ 42,5 ans pour les autres). Cette tendance est également observée au niveau de l'âge minimal (21 et 22 ans). On peut donc déduire que l'âge n'influence pas la satisfaction. Concernant le nombre d'années d'expériences, la moyenne est de 16 ans pour les enquêtés plutôt insatisfaits, de 19 ans pour les enquêtés plutôt satisfaits et de 21 ans pour les enquêtés très satisfaits. Ce résultat prouve que la satisfaction augmente avec le nombre d'années d'expériences dans la pratique du SRI. Par ailleurs, il a été remarqué que les enquêtés ayant un nombre élevé d'actifs agricoles (en moyenne 6) sont plutôt satisfaits ou très satisfaits que ceux qui en disposent moins et qui sont plutôt insatisfaits. Le même constat est fait au niveau du nombre de bovins. Pour ce qui est du rendement, les enquêtés plutôt satisfaits ou très satisfaits affichent un rendement moyen allant de 6 à 7,5 tonnes, alors que ce rendement est d'environ 4 tonnes pour les autres. Ce résultat prouve que le rendement est un facteur qui influence la satisfaction qui est également une fonction croissante du rendement.

Par rapport à la perception des exploitants agricoles à l'égard des six principes du SRI, les résultats sont présentés dans la figure 2 ci-dessous.

Figure 2. Appréciation de la perception des principes du SRI par les exploitants agricoles



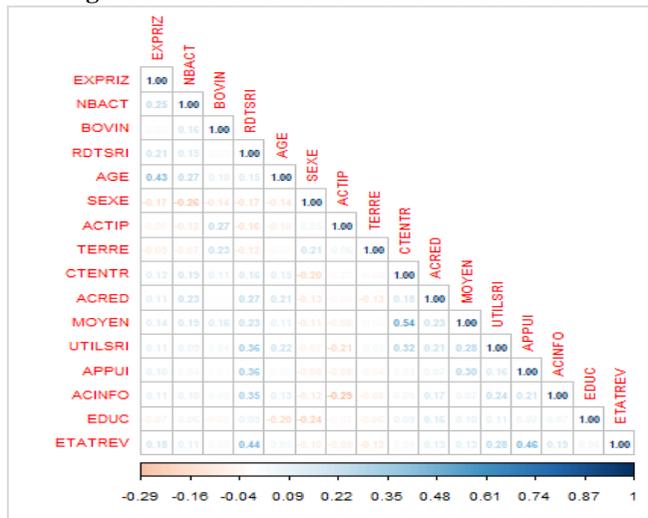
Source : Enquête de terrain (2023)

Au regard des résultats, il est apparu clairement qu'aucun des principes n'est facile. Ils sont tous difficiles ou peu difficiles. En revanche, les principes ci-après sont relativement faciles à appliquer. Il s'agit de l'âge des plants au stade végétatif de 2 feuilles (Principe 1), l'écartement des plants de 25 cm sur 25 cm ou plus et en ligne (Principe 2), l'application d'eau minimale avec des périodes sans eau (Principe 4) et le repiquage en ligne avec un plant par poquet (Principe 6). En effet, seulement 16% des 368 enquêtés pensent que le sarclage mécanique et manuel (Principe 3) est facile et 1,4% ont la même perception sur l'utilisation de la fumure organique (Principe 5). Ceci est dû au fait que le sarclage manuel requiert une quantité importante de main d'œuvre et donc demande plus de ressources financières pour y parvenir. Ce résultat est similaire à ceux de Sanou et Soule (2017) qui ont montré que la technique d'enfouissement de la paille du riz est faiblement adoptée à cause de la main d'œuvre abondante que cela nécessite. Pour ce qui est du principe 5, son application est très difficile du fait de la forte quantité de fumure organique associée à l'engrais minéral en faible quantité.

4.1. Variables prédictives de la satisfaction à l'égard du SRI

La matrice de corrélation entre les différentes variables (Figure 3) montre que la condition d'indépendance entre les variables est respectée.

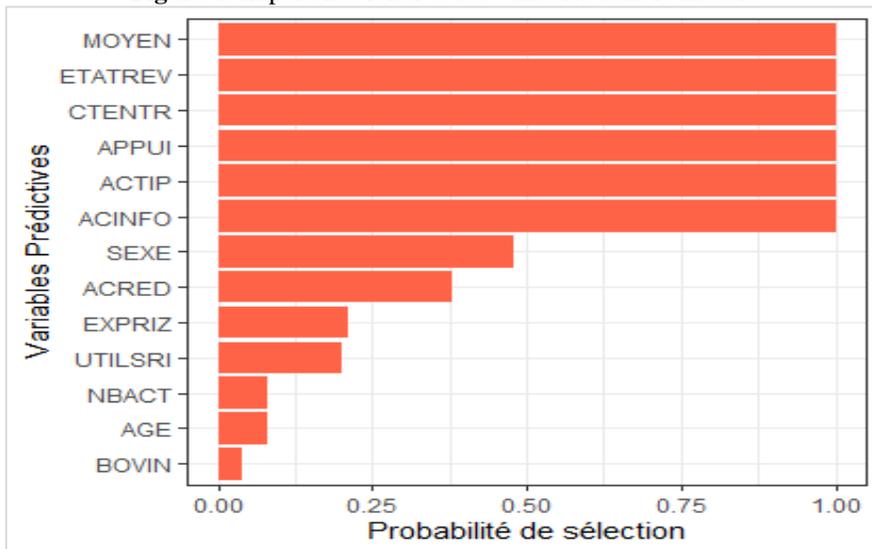
Figure 3. Matrice de corrélation entre les variables



Source : Enquête de terrain (2023)

Les résultats de l'analyse de la probabilité de sélectionner chacun des prédicteurs qui déterminent la satisfaction des enquêtés pour l'ensemble des 65 536 modèles candidats sont présentés dans la figure 4 ci-dessous.

Figure 4. Importance relative des variables dans le modèle



Source : Enquête terrain (2023)

Il ressort de la lecture de cette figure que la capacité à assurer les charges de mise en œuvre du SRI (MOYEN), l'état des revenus des rizières (ETATREV), les coûts liés à l'entretien des rizières (CTENTR), l'accompagnement dans la mise en œuvre du SRI (APPUI), l'activité

principale (ACTIP) et enfin l'effort nécessaire déployé pour accéder aux informations sur le SRI (ACINFO) ont été sélectionnés avec une probabilité élevée (Probabilité = 1). Tandis que les variables restantes étaient moins susceptibles d'affecter la satisfaction des agriculteurs à utiliser ou non le SRI (probabilité < 0,3).

Les résultats des analyses des modèles candidats considérés pour le calcul de la moyenne des modèles sous la condition $\Delta AICc$ inférieure ou égale à 2 sont présentés dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5. Caractéristiques des modèles candidats considérés pour le calcul de la moyenne des modèles sous la condition $\Delta AICc \leq 2$

Variables prédictives	DL	logLik	AICc	$\Delta AICc$	Poids (wi)
1+3+5+7+8+10	11	-150,31	323,37	0	0,1
1+3+5+7+8+10+12	12	-149,28	323,44	0,06	0,1
1+2+3+5+7+8+10+12	13	-148,2	323,44	0,07	0,1
1+2+3+5+7+8+10	12	-149,39	323,66	0,29	0,09
1+3+5+7+8+10+13	12	-149,84	324,56	1,19	0,06
1+2+3+5+7+8+9+10	13	-148,78	324,59	1,22	0,06
1+3+5+7+8+9+10	12	-149,87	324,61	1,24	0,06
1+3+5+7+8+10+12+13	13	-148,83	324,7	1,33	0,05
1+2+3+5+7+8+9+10+12	14	-147,8	324,79	1,42	0,05
1+2+3+5+7+8+10+12+13	14	-147,87	324,93	1,56	0,05
1+3+5+7+8+9+10+12	13	-149,01	325,05	1,68	0,04
1+2+3+5+7+8+10+13	13	-149,01	325,05	1,68	0,04
1+3+4+5+7+8+10+12	13	-149,04	325,1	1,73	0,04
1+3+4+5+7+8+10	12	-150,14	325,16	1,79	0,04
1+3+5+7+8+10+11+12	13	-149,07	325,18	1,81	0,04
1+3+5+6+7+8+10	12	-150,16	325,21	1,84	0,04
1+3+5+7+8+10+11	12	-150,24	325,37	2	0,04

1=ACINFO, 2=ACRED, 3=ACTIP, 4=AGE, 5=APPUI, 6=BOVIN, 7=CTENTR, 8=ETATREV, 9=EXPRIZ, 10=MOYEN, 11=NBACT, 12=SEXE, 13=UTILSRI

logLik : Logarithme de la vraisemblance ; **DL** : Degré de Liberté ; **AICc**: critère d'information d'Akaike de second ordre (AICc) ; **$\Delta AICc$** : différence entre la valeur AICc du meilleur modèle déterminé plus tôt et la valeur AICc de chacun des autres modèles ; **Poids (wi)**: poids d'Akaike de chaque modèle

Source : Enquête terrain (2023)

Ces résultats ont montré que non seulement le meilleur modèle (celui dont l'AICc est le plus faible) parmi l'ensemble des modèles ajustés comporte les variables ACINFO, ACTIP, APPUI, CTENTR, ETATREV et MOYEN mais également que lesdites variables apparaissent dans tous les modèles du sous-ensemble des meilleurs modèles ayant servi de base pour calculer la moyenne des modèles.

Par rapport à l'analyse des estimations des coefficients de la moyenne des modèles basés sur l'ensemble des modèles candidats, les rapports de côte ainsi que les intervalles de confiance associés à ces derniers, le tableau 6 ci-dessous en présente les résultats.

Tableau 6. Estimations des coefficients de la moyenne des modèles basés sur l'ensemble de modèles candidat à 95 % de confiance

Variables	Coefficients	Erreur Standard	Probabilité	Odds Ratio (OR)	Intervalle de confiance	
					2,5%	97,5%
Pi Ps	-0,245	0,701	0,728	0,783	0,197	3,104
Ps Ts	2,635	0,952	0,000	13,953	5,601	18,769
ACINFO.L	2,465	1,237	0,004	11,758	3,101	23,403
ACINFO.Q	-1,098	0,719	0,128	0,334	0,081	1,371
ACTIP-Commerce	1,495	1,228	0,005	4,459	2,943	8,874
ACTIP-Elevage	0,209	1,699	0,902	1,232	0,044	4,784
APPUI-Oui	0,974	0,439	0,027	2,648	1,118	6,273
CTENTR-Oui	1,130	0,454	0,013	3,096	1,268	7,558
ETATREV.L	2,486	0,780	0,000	12,018	9,169	18,359
ETATREV.Q	-0,188	0,448	0,675	0,828	0,343	1,998
MOYEN-Oui	2,341	0,471	0,000	10,389	4,118	26,207
SEXE-M	0,269	0,388	0,490	1,308	0,819	3,765
ACRED-Oui	-0,216	0,369	0,558	0,806	0,260	1,249
UTILSRI-Oui	-0,077	0,245	0,753	0,925	0,294	1,569
EXPRIZ	0,031	0,094	0,744	1,031	0,851	1,584
AGE	-0,009	0,055	0,874	0,991	0,656	1,239
NBACT	-0,006	0,050	0,897	0,994	0,674	1,260
BOVIN	0,007	0,075	0,923	1,007	0,628	2,272

NB : Odds Ratio ou OR : degré de dépendance entre les variables

Source : Enquête de terrain (2023)

Les résultats ont révélé que les enquêtés qui pratiquent le SRI ont beaucoup plus de chance (OR=13,953) d'être plutôt satisfaits ou très satisfaits que d'être plutôt insatisfaits (probabilité=0%). Ce résultat montre une fois encore l'importance de l'application du paquet complet du SRI et sa pertinence, au regard des résultats probants qu'il permet d'obtenir.

Par ailleurs, les exploitants agricoles qui ne déploient aucun effort pour accéder aux informations ont beaucoup plus de chance (OR= 11,758) d'être plutôt satisfaits ou très satisfaits que ceux qui fournissent peu ou beaucoup d'efforts (probabilité=0,4%). Ce résultat est en cohérence avec celui obtenu par Sanou et Soulé (2017) qui ont trouvé que si les technologies ne sont pas suffisamment adoptées par les producteurs, c'est en partie lié au fait que ces derniers manquent d'informations. Les mêmes résultats sont également obtenus par Roussy *et al.* (2015) qui ont montré que par défaut d'informations, les producteurs agricoles évaluent les systèmes de cultures innovants en tenant compte seulement de leurs expériences et de ce qu'ils connaissent de ces systèmes. Adekambi *et al.* (2010) ont trouvé un résultat similaire à savoir que l'accès à l'information est crucial et détermine la perception des maraîchers sur les extraits aqueux et les biopesticides.

Les individus ayant le commerce comme activité principale par rapport à ceux qui ont l'agriculture comme activité principale ont plus de chances

(OR=4,459) d'être plutôt satisfaits ou très satisfaits (probabilité=0,5%). Ils ne sont pas exposés à la pratique du SRI mais leur perception est façonnée par les informations qu'ils reçoivent des producteurs pratiquant le SRI.

Dans le même ordre d'idée, les exploitants agricoles qui reçoivent un appui dans la mise en œuvre du SRI ont plus de chance (OR=2,648) d'être plutôt satisfaits ou très satisfaits que les autres (probabilité=2,7%). Ce résultat est similaire à ceux obtenus par Mariano *et al.* (2012) et par Adechian *et al.* (2020) qui ont tous montré le rôle important que joue l'offre de conseil agricole dans le processus d'adoption des innovations agricoles par les producteurs. Dans la même logique, Kindemin *et al.* (2023) et Adekambi *et al.* (2010) ont mis l'accent sur l'influence positive et significative de la formation sur la décision d'adoption des innovations.

Les exploitants agricoles qui pensent que les coûts liés à l'entretien de l'exploitation sont supportables ont plus de chance (OR=3,096) d'être plutôt satisfaits ou très satisfaits que les autres (probabilité=1,3%). Ce résultat est similaire à celui de Suri (2011) qui a montré que la faible capacité des agriculteurs à supporter les coûts d'exploitation influence négativement le rendement et par ricochet la satisfaction.

Concernant l'état des revenus, il ressort que les exploitants agricoles qui estiment que le niveau est bon ont beaucoup plus de chance (OR=12,018) d'être plutôt satisfaits ou très satisfaits que les autres (probabilité=0%). Ce résultat corrobore les travaux de Sigue *et al.* (2018) qui ont prouvé que l'un des facteurs qui déterminent la satisfaction des agriculteurs et donc stimule leur décision d'adopter la technologie "Microdose" est le revenu agricole ; malgré la faiblesse de son effet marginal.

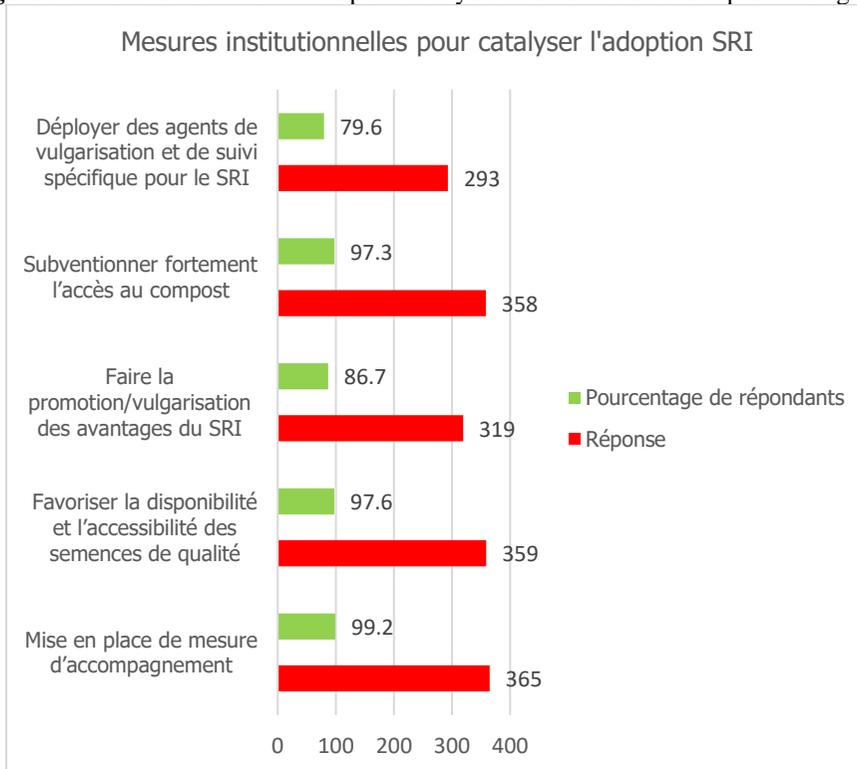
Enfin, pour ce qui est des Moyens notamment les ressources financières, les exploitants agricoles qui estiment qu'ils en disposent suffisamment ont beaucoup plus de chance (OR=10,389) d'être plutôt satisfaits ou très satisfaits que les autres (probabilité=0%). Ce résultat cadre avec l'un des résultats de Roussy *et al.* (2015) qui ont trouvé que les caractéristiques d'ordre économique et financier de l'agriculteur influencent sa perception. Il existe donc une corrélation positive entre ces variables et la satisfaction à l'égard du SRI. A titre d'exemple, pour une augmentation d'une unité de ressources financières de l'enquêté, la chance qu'il soit satisfait du SRI augmente (OR=10,389) et inversement.

Par contre les autres variables notamment l'accès au crédit (ACRED), l'âge (AGE), le nombre de Bovins (BOVINS), l'Expérience dans la riziculture (EXPRIZ), le nombre d'actifs agricoles (NBACT), le sexe (SEXE) et l'Utilité du SRI (UTILSRI) n'ont pas d'influence significative sur la satisfaction des exploitants agricoles. Ce résultat rejoint en partie celui de Asres *et al.* (2015) dans leur étude portant sur la satisfaction des agriculteurs à l'égard des services de vulgarisation agricole au nord-ouest de l'Éthiopie. Plutôt, les

résultats sont contraires à ceux de Tankoano et Sawadogo (2022) qui ont trouvé que l'expérience des agriculteurs de la région du Centre-Nord du Burkina Faso, leurs niveaux d'instruction et la taille de leurs ménages influencent de façon significative leur perception à l'égard des pratiques agro écologiques.

Par ailleurs, l'étude a révélé qu'un certain nombre de mesures sont indispensables pour améliorer la satisfaction (Figure 5). Il s'agit entre autres de mettre en place des mesures d'accompagnement assez solides, de faciliter la disponibilité et l'accessibilité de semences de qualité à haut rendement et surtout adaptées aux conditions agro climatiques de la zone et enfin de subventionner fortement l'accès à la matière organique qui est le principal nœud gordien de la pratique du SRI.

Figure 5. Mesures institutionnelles pour catalyser la satisfaction des exploitants agricoles



Source : Enquête de terrain (2023)

Conclusion

L'objectif principal de cette étude était d'identifier les facteurs qui déterminent la satisfaction des exploitants rizières des communes de Malanville et de Karimama à l'égard du SRI. Les résultats ont montré que l'accès à l'information, l'activité principale, les appuis/accompagnement reçus, le coût d'entretien de l'exploitation, l'état du revenu généré par

l'exploitation rizicole et les moyens financiers dont dispose l'exploitant agricole, sont les principales variables qui ont un effet positif et significatif sur la satisfaction des exploitants agricoles. Les autres variables, notamment le sexe, l'âge des enquêtés, le niveau d'instruction, l'accès au crédit, le nombre de Bovins, l'expérience dans la riziculture et le nombre d'actifs agricoles n'ont pas d'influence significative sur la satisfaction des exploitants agricoles de la zone de l'étude.

Il ressort des résultats de l'étude que l'hypothèse qui expose que les exploitants agricoles sont satisfaits des résultats délivrés par le système de riziculture intensive est confirmée.

Par ailleurs, pour améliorer le taux de satisfaction des exploitants agricoles, l'étude suggère les mesures ci-après:

- la mise en place par les pouvoirs publics des conditions cadres pour soutenir l'innovation et la productivité rizicole notamment la création d'une assurance mutuelle agricole et d'une banque agricole ; la promotion des fertilisants organiques qui représentent la principale contrainte à la pratique du SRI ; et des subventions pour faciliter un meilleur accès ;
- la création de produits financiers attrayant par les banques et systèmes financiers décentralisés, avec des modalités adaptées aux spécificités des exploitants agricoles ;
- la poursuite des actions de facilitation par la Direction de la Production Végétale en vue de rendre davantage disponible et accessible les semences de riz à haut rendement et adaptées aux conditions agro climatiques des zones de production rizicole ;
- le renforcement des actions de vulgarisation du SRI par les agences et structures d'encadrement et de conseil aux exploitants agricoles, avec des contenus de discours suscitant l'intérêt des agriculteurs ; et spécialiser des agents vulgarisateurs du SRI.

Conflits d'intérêt : 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 respecté les principes éthiques d'Helsinki pour la recherche médicale impliquant des sujets humains. Elle a été approuvée par l'Ecole Doctorale des Sciences

Agronomiques et de l'Eau (EDSAE) de l'Université de Parakou en République du Bénin.

References:

1. Adechian S., Sossa-Vihotogbe C., Djenontin A., Akponikpe P., & Baco M. (2020). Déterminants socio-économiques et environnementaux du respect des recommandations en fertilisation minérale de quelques légumes feuilles traditionnels. *Agronomie Africaine*, 32 (1), 25-36
2. Adekambi S., Adegbola P. & Arouna A. (2010). Farmers' perception and agricultural technology adoption: The case of botanical extracts and biopesticides in vegetable production in Benin. Contributed Paper presented at the Joint 3rd African Association of Agricultural Economists (AAAE) and 48th Agricultural Economists Association of South Africa (AEASA) Conference, Cape Town, South Africa, September 19-23. <http://dx.doi.org/10.22004/ag.econ.95917>
3. Adomou A. (2005). Vegetation Patterns and Environmental Gradients in Benin: Implication for biogeography and conservation. PhD thesis, University of Wageningen, 137p
4. Asres E., Nohmi M., Yasunobu K., & Ishida A. (2015). Satisfaction des agriculteurs à l'égard des services de vulgarisation agricole et de leurs facteurs d'influence : étude de cas dans le nord-ouest de l'Éthiopie. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 39-53. <http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1103427>
5. Bartoń K. (2022). MuMIn: Multi-Model Inference R package version 1.47.1, <<https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>>. Accessed on September 15, 2022
6. CRCOPR/ROPPA. (2022). Rapport Régional sur l'évaluation du niveau d'adoption du SRI en Afrique de l'Ouest. Cadre Régional de Concertation des Organisations de Producteurs de Riz de l'Afrique de l'Ouest, Mai 2022, 25pp.
7. FAOSTAT. (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Accessed on May 22, 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
8. Guidibi E., ahoyo N. (2006). Monographie de la commune de Malanville. Afrique Conseil, 40p
9. Institut National de la Statistique et de la Démographie-Bénin, (2023). Bulletin trimestriel du commerce extérieur du Bénin. Note de publication, Mai 2023, Cotonou, 15p
10. Kindemin O., Houessingbe Z., Hougni A., Labiyi I., & Yabi J. (2023). Perception Paysanne de la Durabilité des Exploitations Cotonnières du

- Nord-Bénin. European Scientific Institute, 17, 323-351.
<http://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n16p49>
11. Mariano M.J., Villano R., Fleming E. (2012). Factors influencing farmers' adoption of modern rice technologies and good management practices in the Philippines. *Agricultural Systems*, 110, 41-53.
<http://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.010>
 12. Ouédraogo M., & Dakouo D. (2017). Evaluation de l'adoption des variétés de riz NERICA dans l'Ouest du Burkina Faso. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 12(1), 1-16.
<http://doi.org/10.22004/AG.ECON.258596>
 13. Pisani E. (2007). Une politique mondiale pour nourrir le monde. Ed, Springer, 150p. <http://doi.org/10.4000/developpementdurable.6572>
 14. Sanou K., Soule B. (2017). Contraintes d'adoption des technologies de gestion de la fertilité des sols en riziculture irriguée au Sud Togo. *Agronomie Africaine*, 29(2), 177-184.
<http://doi.org/10.4314/AGA.V29I2>
 15. Sigure H., Labiyi I., Yabi J., & Biau G. (2018). Facteurs d'adoption de la technologie "Microdose" dans les zones agroécologiques au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(5), 2030-2043. <http://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.6>
 16. Sossou H., Adekambi S., Houedjofonon E., & Codjo V. (2021). Typologie des exploitations agricoles : caractérisation et accès aux services agricoles au Bénin (Afrique de l'Ouest). *International Journal of Biological and Chemical Science*, 15(3), 1191-1207.
<http://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i3.25>
 17. Suri T. (2011). Selection and Comparative Advantage in Technology Adoption. *Econometrica*.
 18. *Journal of the Econometric society*, 79(1), 159-209.
<http://doi.org/10.3982/ECTA7749>
 19. Tankoano E., Sawadogo M. (2022). Perceptions des agriculteurs et adoption des pratiques agroécologiques dans la région du Centre-Nord du Burkina Faso. *African Scientific Journal*, 3(15), 407-429.
<http://doi.org/10.5281/zenodo.7528396>
 20. Toko I., Attakpa E., Baco N., & Gouda A. (2011). Analyse des systèmes piscicoles dans la Vallée du Niger (Nord Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(5), 1994-2003. <http://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i5.19>
 21. Cochran W. (1963). *Sampling Techniques* (John Wiley & Sons), 2nd edition Book, New York, 413 p

Etude Anatomo-Hystopathologique du Tractus Digestif des Poulets Bicyclettes Infectés par la Maladie de Newcastle dans les Fermes en Côte d'Ivoire

Camille Mahn Yoro

Gnonsoakala Emmanuel Yoe

Laboratoire de Biologie cellulaire,
Laboratoire de Pharmacodynamie-Biochimique

Komenan Daouda Kouassi

Laboratoire des Sciences et technologies
UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Fahadama Konate

Marie Anne d'Alameida

Laboratoire de Biologie Cellulaire

Joseph Allico Djaman

Laboratoire de Pharmacodynamie-Biochimique

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p145](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p145)

Submitted: 28 August 2023

Accepted: 06 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Yoro C.M., Yoe G. E., Kouassi K.D., Konate F., Anne d'Alameida M. & Djaman J.A. (2023). *Etude Anatomo-Hystopathologique du Tractus Digestif des Poulets Bicyclettes Infectés par la Maladie de Newcastle dans les Fermes en Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 145. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p145>

Résumé

Dans le monde, plusieurs études ont été consacrées aux maladies des volailles. Cependant, peu se sont intéressées aux poulets typiquement africains de façon générale et en particulier ceux de la Côte d'Ivoire. Le présent travail a porté sur les poulets bicyclettes des fermes ivoiriennes. L'objectif était d'étudier l'incidence de la maladie de Newcastle sur le tractus digestif des poulets locaux en utilisant des techniques anatomo-histopathologiques. L'étude a concerné les poulets bicyclettes, malades, moribonds et/ou morts suite à une infection de façon naturelle par le virus de la maladie de Newcastle (MN). Les lésions provoquées par le virus de la MN au niveau des organes du tractus digestif des poulets ont été mises en évidence à l'œil nu et au microscope électronique après traitements histologiques. L'examen des

organes a montré que le tractus digestif des poulets était congestionné avec un intestin hypertrophié. Aussi des modifications dégénératives sévères caractérisées par des nécroses, une desquamation et infiltration ont été mises évidence dans la paroi intestinale des poulets. Lors de l'apparition de la maladie de Newcastle dans une ferme, l'on peut observer des lésions majeures et des plages ou foyers viraux généralisés peuvent être observées chez toutes les volailles malades et/ou mortes en particulier au niveau des organes du tractus digestif. Ces modifications observées pourraient confirmer les lésions anatomopathologiques visibles dues au virus de la maladie Newcastle sur le tractus digestif des poulets bicyclettes des fermes ivoiriennes.

Mots-clés: Poulet bicyclette, tractus digestif, anatomo-hystopathologie, maladie de Newcastle

Anatomo-Hystopathological Study of the Digestive Tract of Bicycle Chickens Infected with Newcastle Disease on Farms in Côte d'Ivoire

Camille Mahn Yoro

Gnonsoakala Emmanuel Yoe

Laboratoire de Biologie cellulaire,
Laboratoire de Pharmacodynamie-Biochimique

Komenan Daouda Kouassi

Laboratoire des Sciences et technologies
UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Fahadama Konate

Marie Anne d'Alameida

Laboratoire de Biologie Cellulaire

Joseph Allico Djaman

Laboratoire de Pharmacodynamie-Biochimique

Abstract

Throughout the world, a number of studies have been devoted to poultry diseases. However, few have focused on typically African chickens in general, and those from Côte d'Ivoire in particular. The present study focused on bicycle chickens on farms in Côte d'Ivoire. The aim was to study the incidence of Newcastle disease in the digestive tract of local chickens using anatomo-histopathological techniques. The study involved bicycling, sick, moribund and/or dead chickens following natural infection with Newcastle disease (ND) virus. The lesions caused by the ND virus in the organs of the

chickens' digestive tract were revealed by the naked eye and by electron microscopy after histological treatment. Examination of the organs showed that the chickens' digestive tract was congested, with an enlarged intestine. Severe degenerative changes characterised by necrosis, desquamation and infiltration were also evident in the chickens' intestinal wall. When Newcastle disease occurs on a farm, major lesions and generalised viral patches or foci may be observed in all sick and/or dead poultry, particularly in the organs of the digestive tract. These observed changes could confirm the visible anatomopathological lesions caused by the Newcastle disease virus in the digestive tract of bicycle chickens on Ivorian farms.

Keywords: Bicycle chicken, digestive tract, anatomo-hystopathology, Newcastle disease

1- Introduction

L'aviculture est un secteur d'activité qui se déroule sur tous les continents, du fait de ses nombreuses potentialités dont la courte durée du cycle de reproduction et de production des volailles, le retour rapide sur les investissements et la forte accessibilité à toutes les couches sociales (Touzet, 2007). Au plan mondial, l'aviculture concerne plusieurs espèces de volailles en particulier les poulets, dont l'espèce *Gallus gallus domesticus*, regroupé en plusieurs types (races) selon les continents (Chomienne, 2019). Du fait de son accessibilité à toutes les couches sociale, l'aviculture, occupe une place de choix dans les stratégies de développement et de lutte contre la pauvreté dans le monde et en particulier dans les pays en voie de développement (FAO, 2006). En Côte d'Ivoire, l'aviculture constitue une source non négligeable de protéines (Yapi-Gnaoré *et al.*, 2010).

En Afrique et surtout en Côte d'Ivoire, se rencontrent des poulets de l'espèce *Gallus gallus domesticus*, très spécifiques dénommés « Poulets bicyclettes » qui occupent une place importante dans l'élevage aviaire (Chomienne, 2019). Ce sont des poulets, de caractère vif, très alertes, coureurs, de petite ou moyenne taille. Ils ont au plan culinaire, une chair succulente (Hadjira, 2018). Partout dans le monde, ces volailles sont sujettes à des épidémies de virus aviaires d'origine diverses. C'est le cas des virus de la maladie de Newcastle (MN) qui déciment périodiquement les populations (Faisal *et al.*, 2020). La MN est une maladie infectieuse, hautement contagieuse, affectant sélectivement les Oiseaux, particulièrement les gallinacés parmi lesquels, les poulets africains (Maminiaina, 2011 ; Al-Azawy *et al.*, 2018).

Selon Fletcher *et al.* (2020), le diagnostic biologique du virus de la maladie de Newcastle fait appel à plusieurs techniques dont les plus usitées sont celles d'inhibition de l'hémagglutinine et de la RT-PCR du fait de leur

fiabilité et de leur rapidité. Cependant, certains travaux ont rapporté d'autres techniques de diagnostic du virus de la maladie de Newcastle dont la technique histologique (Van et Dyke, 2004). Le plus souvent, cette technique est réalisée en complément aux premières techniques mentionnées. Parfois, elle est l'unique technique de diagnostic dans les laboratoires peu outillés (Moiseyeva *et al.*, 2003). Selon les constats faits, aucune étude similaire de diagnostic n'a encore été réalisée de nos jours en Afrique de l'Ouest.

En Côte d'Ivoire, il n'existe pas assez de données relatives aux poulets Africains tels que les poulets bicyclettes couvrant des domaines spécifiques comme l'anatomo-hystopathologie des organes du tractus digestif en raison de l'importance de ces volailles dans l'alimentation des populations. D'où l'intérêt de ce travail, qui se consacre aux poulets de races africaines, notamment sur l'impact des épidémies de la MN sur les organes du tractus digestif.

2- Matériel et méthodes

2.1- Matériel biologique

La présente étude a concerné les poulets typiquement de race africaine appelés poulets bicyclettes. Il s'agit des poulets atteints du virus de la maladie de Newcastle de façon naturelle rencontrés dans les différentes fermes traditionnelles visitées.

2.2- Méthodes

2.2.1- L'examen macroscopique

2.2.1.1- Observation à l'œil nu

Pour la présente étude 90 fermes traditionnelles ont été considérées en raison de 40 poulets par fermes. Cette observation a porté sur les poulets vivants et les poulets morts. L'observation des poulets vivants, a permis d'apprécier leur état d'embonpoint. Les poulets vivants sont constitués par les poulets moribonds et les poulets malades. L'observation a porté sur le comportement, ainsi que l'état de la tête, la crête, les barbillons, les plumes, les pattes et l'état de l'épiderme corporel. Elle a permis de rechercher et de mettre en évidence certains signes cliniques d'infection tels que les troubles comportementaux à savoir le calme, le cou tordu, les éternuements, les somnolences.

2.2.1.2- Autopsie, anesthésie et euthanasie des poulets

L'autopsie a consisté à observer dans les moindres détails, les aspects externe et interne du tractus digestif en particulier l'intestin, afin de déceler des signes cliques et des lésions suspectes dans la MN. Elle a été pratiquée uniquement sur les poulets morts de façon naturelle, directement disséqués à l'aide des couteaux à dissection et des pinces. La mise en évidence de l'intestin

infecté a été faite après dissection. Pour ce faire, les poulets ont été anesthésiés et euthanasiés. L'anesthésie et l'euthanasie ont concerné les poulets aussi bien malades que moribonds. L'anesthésie a été réalisée en introduisant chaque animal sous une cloche d'anesthésie contenant au préalable du coton imbibé d'éther. Après endormissement les poulets ont été euthanasiés pour accélérer leur mort afin d'abroger leur souffrance. Les poulets morts ont été plumés au niveau de l'abdomen pour le prélèvement des organes destinés à l'étude microscopique ou bien totalement plumée pour l'étude anatomique.

2.2.1.3- Dissection des poulets

Chaque poulet a subi une ouverture au niveau de sa face ventrale. Pour les poulets vivants (malades et moribonds), la dissection a été précédée de l'euthanasie. Après l'ouverture de la peau, les muscles ont été successivement écartés pour mettre à nu les organes internes, ceux du tractus digestif. Ces organes dès leur prélèvement ont été immédiatement conservés dans un bocal contenant du formaldéhyde 10% pour l'examen microscopique.

2.2.1.4- Détection des foyers d'infection

Elle a consisté à visualiser les foyers d'infection du virus de la maladie de Newcastle (VMN) au niveau des organes infectés susceptibles de contenir des foyers visibles ou des plages virales invisible à l'œil nu, qui sont sous forme dépôt sur les organes . Pour la visualisation des plages virales, les organes frais et fixés ont été observés à l'aide d'un microscope électronique connecté à un ordinateur afin de rechercher et de capter les images des plages virales.

2.2.2- Examen microscopique

Les techniques utilisées étaient identiques à celles de Almeida (2017). Les échantillons après leur fixation dans le formol à 10 %, ont été déshydratés dans des bains successifs d'éthanol 70°, 95° et l'éthanol absolu à 100° alcoolique pendant une heure chacun. Les pièces ont été ensuite pré-imprégnées dans des bains de mélange croissants de toluène. Le dernier bain étant constitué de toluène pur. L'imprégnation proprement dite a été effectué pendant 18 heures à l'étuve à 60°C, dans trois bains successifs de paraffine liquide (Paraplast) de marque « PARAFINA PARA HISTOLOGICA ». En effet, le paraplast est idéal pour ces tissus car il les rend moins cassants. L'inclusion a été faite dans des barres de LEUCKART avec le même milieu. Des coupes transversales de 7 µm réalisées au microtome « MICROM HM 310 » ont été montées sur des lames porte-objet. Avant la coloration, les lames ont été collodionnées afin d'éviter le décollement éventuel des coupes au cours des traitements par les différents bains. Les lames issues de ces traitements ont été traitées et colorées à l'hémalum et l'éosine à l'aide de la batterie de

coloration. L'adhésion des lamelles aux lames colorées a été faite grâce à (l'Eukitt).

L'observation des lames obtenues et les microphotographies ont été réalisées au microscope optique de type MOTIC sur lequel a été adapté un appareil photo numérique de marque OLYMPUS LENS et au photomicroscope de marque OLYMPUS CKX.

3- Résultats

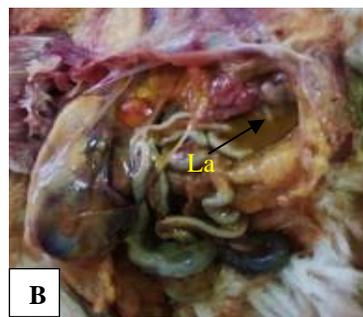
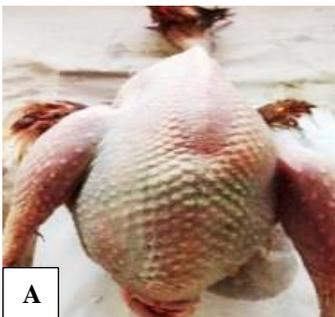
3.1- Anatomopathologie du tractus digestif

Chez les poulets malades, il a été observé des lésions au niveau des organes du tractus digestif. Ces lésions étaient plus accentuées que chez les volailles mortes.

Après le déplumage des poulets morts, deux (2) à trois (3) jours plutôt, le phénomène de chair de poule a été mis en évidence (Figure 1A).

A l'ouverture de la région thoraco-abdominale des poulets morts, il a été observé chez certains, un tube digestif congestionné (Figure 1B), des intestins hypertrophiés avec une masse de graisse couvrant presque toute la masse intestinale et le gésier (Figure 1C) et chez d'autres des intestins hypertrophiés, ballonnés et mous. La paroi des intestins était épaisse laissant voir un contenu verdâtre (Figures 1D). Chez d'autres poulets, il a été observé, des intestins hypertrophiés avec hémorragies du mésentère (Figure 1F) et des intestins flasques avec des pétéchies (Figure 1G). Ces lésions hémorragiques sont des pétéchies de nécrose, des congestions.

Par ailleurs, il a été observé chez tous les poulets malades ou morts, des plages virales (Figure 1E).



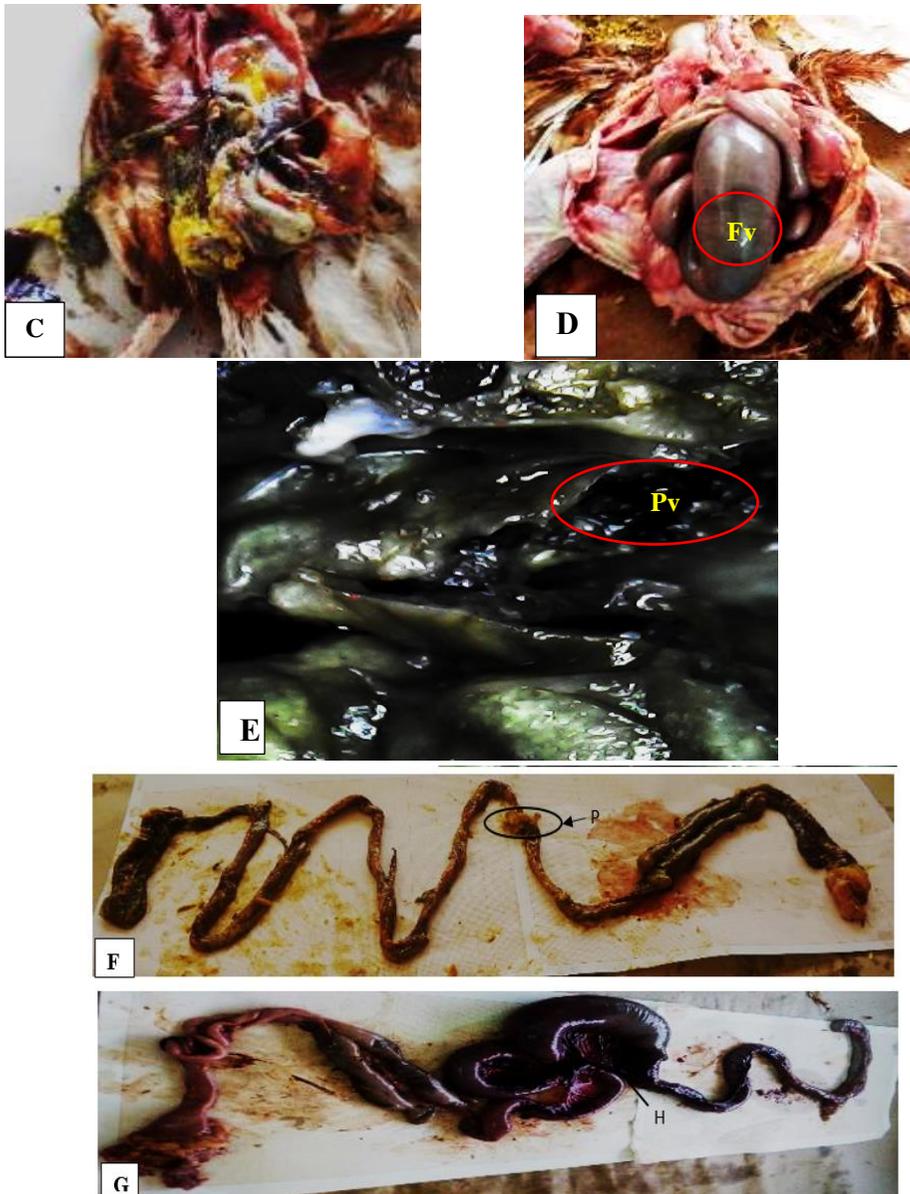


Figure 1. Observation des lésions au niveau du tractus digestif des poulets bicyclettes
A : Poule morte mettant en évidence le phénomène de chair de poule ; **B** : Vue *in toto* du tube digestif congestionné chez un coq ; **C** : Intestin hypertrophié *in toto* et couvert de graisse chez une poule morte de façon subite ; **D** : Intestin hypertrophié *in toto* avec un contenu verdâtre chez un coq mort ; **E** : Plages virales après observation des foyers au microscope digital à loupe électronique ; **F** : Intestin flasque isolé avec présence de pétéchie sur toute sa longueur chez une poule morte ; **G** : Intestin hypertrophié isolé avec hémorragie chez une poule malade.
Fv : Foyer de virus ; **Pv** : plages virales ; **La** : Liquide d'ascite ; **P** : Pétéchie ; **H** : Hémorragie. **Grossissement** : **A, B, C, D, F, G, H** : G X 1/10 ; **E** : G x 1000

3.2- Histopathologie du tractus digestif

L'histopathologie du tractus digestif a présenté des modifications concernant tous les segments. En effet, après observation microscopique, la paroi intestinale des poulets a mis en évidence de façon générale des modifications dégénératives sévères caractérisées par des nécroses, une desquamation et une infiltration (Figure 2A).

Par ailleurs, les villosités intestinales, vue de façon détaillée ont présenté une mortification totale associée à une dégénérescence et une nécrose. Cette dégénérescence a entraîné la destruction totale de l'épithélium intestinal et des capillaires sanguins (Figure 2B). De plus le chorien infecté, vu de façon détaillée a mis en évidence des infiltrations vasculaires. Ces infiltrations étaient accompagnées de nécroses associées à une inflammation qui a conduit à une destruction des cryptes de Lieberkühn (Figure 2C).

L'examen histopathologique de la musculature intestinale détaillée, a mis en évidence une desquamation générale. Cette desquamation était caractérisée par une nécrose sévère de la couche longitudinale externe (Figure 2D). Quant à la couche musculaire interne, elle présentait des ulcérations focales (Figure 2D).

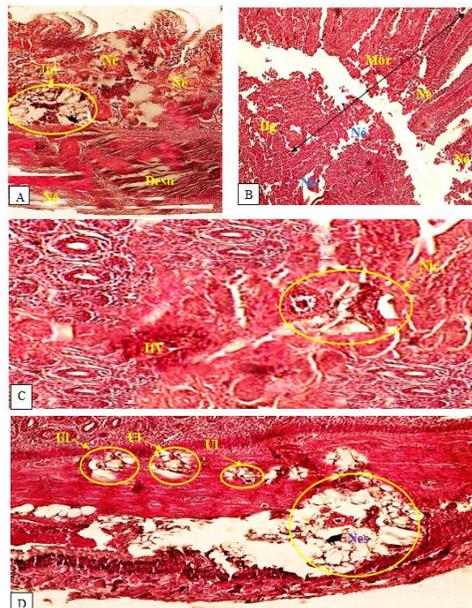


Figure 2. Histopathologie de l'intestin

A : Histopathologie de la paroi intestinale ; **B :** Histopathologie des villosités intestinales ; **C :** Histopathologie du chorien intestinal ; **D :** Histopathologie de la musculature intestinale
Né : Nécrose ; **Desq :** Desquamation ; **Nes :** Nécrose sévère ; **Ul :** Ulcération ; **Dg :** Dégénérescence ; **Mor :** Mortification ; **IfV :** Infiltration Vasculaire ; **Nic :** Nécrose et infiltration dans le chorien ; **Inf :** Infiltration. **Coloration :** Hémalum-éosine. **Grossissement :** **A, B, C, D X 200**

4- Discussion

L'examen macroscopique a permis de mettre en évidence les principaux signes d'infection observés au niveau du tractus digestif des poulets, dominés par la présence de liquide d'ascite dû à la dégradation de la grappe ovarienne avec un tractus digestif congestionné dans la cavité thoraco-abdominale et les pétéchies. Ces signes pourraient illustrés à suffisance, l'effet du virus de la MN comme déjà démontré dans les travaux de Sylla *et al.* (2003). Les résultats ici obtenus sur cette infection, ajoutés aux données de la littérature pourraient confirmer que les lésions de cette pseudo-peste aviaire siègent surtout sur l'appareil digestif et affectent de façon constante l'intestin des animaux (Bonou, 1987).

L'examen microscopique des différents segments du tractus digestif, mettant en évidence de façon générale des nécroses et desquamation dû à l'action du virus au niveau de leurs différentes structures concorde avec les constats de Changming *et al.* (2019). L'examen détaillé de la paroi, plus précisément la muqueuse mettant en évidence une mortification totale, une dégénérescence, des nécroses, des infiltrations vasculaires et une inflammation, corroborent avec les travaux de Gómez et Aguirre (2008). Par ailleurs, la musculature après examen détaillé présentant une nécrose sévère et des ulcérations focales ont été aussi enregistrées par EL-Morshidy *et al.* (2021). Cependant, ces données ici enregistrées diffèrent à celles mentionnées dans les travaux de Nakamura *et al.* (2008) par la mise en évidence que des nécroses modérées.

Conclusion

L'étude anatomo-hystopathologique du tractus digestif des poulets bicyclettes a permis de détecter des foyers et des plages du virus de la maladie de Newcastle, des modifications dégénératives sévères caractérisées par des nécroses, une desquamation et infiltration chez des variétés des fermes ivoiriennes. Les résultats de cette étude pourraient contribuer à la lutte contre cette peste aviaire qui sévit à toutes les saisons de l'année en se référant aux différents signes cliniques enregistrés. Ils pourraient constituer une base de moyen de diagnostic immédiat et réduire le diagnostic différentiel ultérieur.

Remerciements

Ce travail est le résultat d'une collaboration fructueuse entre plusieurs personnes que nous tenons à remercier pour leur participation active à sa réalisation ; en particulier :

- ✓ Madame **D'ALMEIDA Marie-Anne Kayi**, Professeur Titulaire, Directrice du Laboratoire de biologie cellulaire,
- ✓ Monsieur **DJAMAN Allico Joseph**, Professeur Titulaire de Biochimie-Parasitologie, chef de du Département de Biochimie

- médicale et fonctionnelle de l'Institut Pasteur de Côte d'Ivoire (IPCI),
Directeur du Laboratoire pharmacodynamie-Biochimique,
- ✓ Monsieur **MIESSAN Jean Jacques**, Docteur au Laboratoire des Sciences et techniques de l'Université de San-pédro,
 - ✓ Monsieur **KOUASSI Komenan Daouda**, Docteur au Laboratoire des Sciences et techniques de l'Université de San-pédro,
 - ✓ Madame **KOUAKOU Akissi Viviane**, Attachée de Recherche à l'Institut Pasteur de Côte d'Ivoire (IPCI),
 - ✓ Monsieur **YOE Emmanuel Gnonsoakala**, Docteur au Laboratoire de Biologie cellulaire à l'Université Félix Houphouët- Boigny,
 - Monsieur **KOFFI Tanoh**, Technicien du GERME à la retraite.

Conflits d'intérêt: Pour la présente étude il n'y a pas de conflit d'intérêt pour les auteurs

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

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

Études animales

Pour les présents travaux, avant toute action sur le terrain et sur les animaux en question, nous avons eu l'approbation de certains acteurs impliqués dans l'aviculture, ce sont :

- Dans la ville d'Odiénné du chef de zone ANADER, des techniciens chargés de l'élevage des volailles et du président des éleveurs.
- A Agnibilékrou, du chef de zone ANADER par intérim, du technicien chargé de l'élevage et du président des techniciens vétérinaires.

Pour les manipulations des volailles nous avons bénéficié de l'aide des techniciens vétérinaires qui ont mis à notre disposition leur Laboratoire.

Contribution des auteurs

Pour la réalisation des présents travaux, Messieurs **YORO Mahn Camille** et **YOE Emmanuel Gnonsoakala** sont intervenus en tant qu'acteurs directs depuis l'échantillonnage jusqu'à la rédaction du manuscrit. Messieurs **KOUASSI Komenan Daouda** et **KONATE Fahadama**, ont participé à l'interprétation des coupes histologiques. Professeur **D'ALMEIDA Marie-Anne Kayi**, Directeur des présents travaux et professeur **DJAMAN Allico Joseph**, Co-Directeur, ont tous deux contribué à l'encadrement, à la validation des résultats et à la rédaction de la version finale du manuscrit.

References:

1. Al-Azawy, AK, Al-Ajeeli, K S et Ismail, A, (2018). Isolement et identification d'un isolat sauvage du virus de la maladie de Newcastle provenant d'un élevage de poulets de chair dans la province de Diyala : étude virologique et histopathologique. *Le journal irakien de médecine vétérinaire*, 42 (2) :41-49 doi :10.30539/ijvm.
2. Chomienne, JP, (2019). Filières de production animale en côte d'ivoire : Dynamiques et projets de développement. Rapport de Stage réalisé du 23 avril au 26 juillet 2019 au Service Économique Régional- Pôle Affaires Agricoles A l'Ambassade de France en Côte d'Ivoire. Pour l'obtention du Certificat (CEAV). 56p
3. D'alméida, MA, 2017.- Biologie de la reproduction et embryologie descriptive des Crustacés.
4. Editions Universitaires Européennes. OmniScriptum Publishing Group, 4, industrial street, 3100 Balti, Republic of Moldova. p 209.
5. EL-Morshidy, Y, Abdo, W, Elmahallawy, E K., Abd EL-Dayem, GA, El-Sawak, A, El-Habashi, N, El-Habashi, N, Mosad, SM, Lokman, M S, Albrakati, A et Abou AS. (2021). Pathogenèse du génotype vélogène VII.1.1 Virus de la maladie de Newcastle isolé à partir de poulet en Égypte via différentes voies d'inoculation : Étude moléculaire, histopathologique et immunohistochimique. *Animaux*, 11 :35-67. doi: 10.3390/ani11123567.
6. Faisal, RA, Sajjad, UR, Muhammad, AA et Anas, SQ. (2020).- Étude comparative de la protection contre la maladie de Newcastle chez les jeunes poulets de chair auxquels l'interféron alpha naturel de poulet a été administré par voie orale et intramusculaire. *Mosphere*, 5(4) : - 585-590, doi: 10.1128/mSphere.00585-20.
7. Fletcher, PDV, Sherwin, IC, Dennis, VU, Kazumi, S, Kazutoshi, S, Hiromitsu, K et Tomoko T. (2020). Caractérisation moléculaire et pathologique de l'adénovirus aviaire isolé des oviductes de poules pondeuses dans l'est du Japon. *International Journal of Poultry Science*, 99(5), :- 2459-2468 doi: 10.1016/j.psj.2019.12.059.
8. Hadjira N. (2018). Analyse multivariée de la conformation et la composition des œufs chez quatre espèces avicoles locales. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en agronomie à l'Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem d'Algérie 58p.
9. Maminiaina O. (2011). Caractérisation des virus de la maladie de Newcastle (APM-1), circulant sur les hautes terres de Madagascar. Thèse de Doctorat en science de la vie à l'université d'Antananarivo de Madagascar : faculté des sciences département de biochimie fondamentale et appliquée 225p.

10. Moiseyeva, IG, Romanov, MN, Nikiforov, AA, Sevastyanova A, et Semyenova, SK. (2003). Evolutionary relationships of red Jungle Fowl and chicken breeds. *Genetics, selection and Evolution*, 35 :- 403-423, doi : 10.1186/1297-9686-35-5-403.
11. Nakamura, K, Nonhtsu, NT, Yamamoto, Y, Maamada, Mase, M, et Jeami, K. (2008). Études pathologiques et immunohistochimiques de la maladie de Newcastle (ND) chez le poulet de chair Poulets vaccinés avec la ND : encéphalite non purulente sévère et Pancréatite nécrosante. *Pathologie vétérinaire*, 45, - : 928–933, doi 10.11604/Pami.2008.25.147.9324.
12. Sylla, M, Traoré, B, Sidibé, S, Keita S, Diallo, FC, Koné B, Ballo, M, Sangaré, M et Koné NG. (2003). Épidémiologie de la maladie de Newcastle en milieu rural au Mali. *Revue : Elevage Médecine Vétérinaire, Pays tropical*, 56 (1-2), - : 7-12, doi 10.19182/remvt.9878.
13. Touzet, C. (2007). Particularités cliniques et difficultés thérapeutiques rencontrées chez les oiseaux et les reptiles de compagnie-apports de la pharmacovigilance et étude de cas. Thèse de doctorat à l'université Claude –Bernard-Lyon. 240p.
14. FAO. (2006). Réseau international pour le développement de l'aviculture familiale. *Bull. RIDAF*, 16 (1), - : 75p.
15. Van, TM et Dyke, GJ. (2004). Calibration of galliform molecular clocks using multiple fossils
16. and genetic partitions. *Molecular. Phylogenetic.* (30), - : 74-86, doi 10.1016/S1055-7903(03)00164-7.
17. Yapi-gnaore, CV, Loukou, NE, Kayang, B, Rognon, X, Tixier-Biochard, M, Toure, G, Coulibaly, Y, N'guetta, ASP, et Youssao, Y. 2010, -Diversité phénotypique et morphométrique des poulets locaux (*Gallus Gallus*) de deux zones agro écologiques de côte d'ivoire. *Cahier Agricultures*, 19, - : 5439-445, doi.org/10.1684/arg.2010.0436.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Comportements Préventifs de la Mère et Morbidité Palustre des Enfants de Moins de Cinq ans au Burkina Faso

Coulibaly Moussa, MA

Université Joseph Ki-Zerbo,

Institut Supérieur des Sciences de la Population (ISSP), Burkina Faso

Boly Dramane, PhD

Université Joseph Ki-Zerbo,

Centre Universitaire de Kaya, Ouagadougou, Burkina Faso

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p157](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p157)

Submitted: 02 May 2023

Accepted: 09 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Coulibaly M. & Boly D. (2023). *Comportements Préventifs de la Mère et Morbidité Palustre des Enfants de Moins de Cinq ans au Burkina Faso*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 157. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p157>

Résumé

Au Burkina Faso, le paludisme reste un problème majeur de santé publique. Il constitue la principale cause de consultation, d'hospitalisation et de décès dans les formations sanitaires, en particulier chez les enfants de moins de 5 ans. La présente étude a pour objectif d'analyser l'influence des comportements préventifs de la mère sur la morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans au Burkina Faso. L'étude a eu recours aux données de l'Enquête sur les Indicateurs du Paludisme (EIP) réalisée en 2017-2018 au Burkina Faso. Pour l'analyse explicative, une régression logistique multiniveau a été réalisée. Les résultats montrent qu'aucun comportement préventif de la mère n'est un facteur de morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans. Cependant, l'âge de l'enfant et le nombre de Moustiquaire Imprégnée d'Insecticide (MII) dans le ménage ont une influence sur les comportements préventifs de la mère et la morbidité palustre des enfants. Par ailleurs, le niveau de vie du ménage, le milieu de résidence et le degré d'endémicité ont une influence sur la morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans. Au regard de ces résultats, il est recommandé aux décideurs politiques de prendre en compte la norme de l'OMS où une moustiquaire doit être utilisée par au plus 2 personnes pendant les campagnes de distribution des MII. Il a été aussi recommandé de poursuivre les efforts pour améliorer le

niveau de vie des ménages. Ces interventions de lutte antipaludique doivent plus cibler les enfants âgés de 24 à 59 mois, particulièrement en milieu rural dans la zone hyper endémique.

Mots-clés: Enfants de moins de cinq ans, comportements préventifs, Paludisme, Burkina Faso

Maternal Preventive Behaviours and Malaria Morbidity in Children under Five in Burkina Faso

Coulibaly Moussa, MA

Université Joseph Ki-Zerbo,

Institut Supérieur des Sciences de la Population (ISSP), Burkina Faso

Boly Dramane, PhD

Université Joseph Ki-Zerbo,

Centre Universitaire de Kaya, Ouagadougou, Burkina Faso

Abstract

Malaria remains a major public health problem in Burkina Faso. It is the main cause of consultations, hospitalisation and death in health facilities, particularly among children under 5 years of age. The aim of this study is to analyse the influence of mothers' preventive behaviour on malaria morbidity in children under five in Burkina Faso. The study used data from the Malaria Indicator Survey (MIS) conducted in 2017-2018 in Burkina Faso. For the explanatory analysis, a multilevel logistic regression was performed. The results show that no preventive behaviour by the mother is a factor in malaria morbidity in children under five years of age. However, the age of the child and the number of Insecticide-Treated Mosquito Nets (ITNs) in the household had an influence on the preventive behaviour of the mother and the malaria morbidity of the children. In addition, the household's standard of living, area of residence and degree of endemicity have an influence on malaria morbidity in children under five. In light of these results, it is recommended that policy-makers take account of the WHO standard whereby a mosquito net should be used by no more than 2 people during ITN distribution campaigns. It was also recommended that efforts be continued to improve household living standards. These malaria control interventions should be targeted more at children aged between 24 and 59 months, particularly in rural areas in the hyper-endemic zone.

Keywords: Children under five, preventive behaviour, malaria, Burkina Faso

Introduction

Le paludisme est transmis d'homme à homme par l'intermédiaire d'un vecteur biologique, un moustique du genre Anophèles (étymologiquement, du grec « a » privatif et « Opheles » utile, autrement dit insecte dénué d'utilité) (Carnevale & Robert, 2009). Selon le rapport de 2022 sur le paludisme dans le monde, le nombre de cas de paludisme est estimé à 228 millions dans le monde en 2018 à 247 millions en 2021 soit une augmentation de 19 millions de cas sur la période 2018-2021 (OMS, 2022). Il ressort également de ce rapport que le nombre de décès dus au paludisme a augmenté passant de 405 000 décès en 2018 à 619 000 décès en 2021(OMS, 2022).

La région africaine de l'OMS est la région du monde la plus touchée. En 2021, 95 % de tous les cas de paludisme (234 millions de cas) et 96 % de tous les décès dus au paludisme (593 000 décès) ont été enregistrés dans cette région (OMS, 2022). De plus, quatre pays de cette région représentent près de la moitié de tous les cas de paludisme dans le monde : le Nigeria (26,6%), la République démocratique du Congo (12,3%), l'Ouganda (5,1%) et le Mozambique (4,1%). De plus, le Burkina Faso représente 3,3 %, le Mali 3,1 % et le Ghana 2,2 % (OMS, 2022). Les enfants de moins de 5 ans constituent le groupe de population le plus vulnérable. Ainsi, ils représentent près de 80 % de tous les décès dus au paludisme dans la région africaine de l'OMS en 2021(OMS, 2022).

Les efforts consentis dans la lutte contre le paludisme ont contribué à réduire l'incidence et la mortalité liée à la maladie sur la période 2010 à 2018 dans la région africaine de l'OMS. Ainsi, l'incidence des nouveaux cas de paludisme a baissé de 22 % entre 2010 et 2018 avec 294 cas pour 1 000 en 2010 contre 229 en 2018. Par ailleurs, la mortalité liée à cette maladie a aussi diminué entre 2010 et 2018, passant de 533 000 décès en 2010 à 380 000 en 2018 soit une baisse de 29 % sur la période (OMS, 2019). Cependant, l'incidence du paludisme et le taux de mortalité dans la région Afrique ont augmenté durant la première année de la pandémie, de 2019 à 2020, avant de diminuer entre 2020 et 2021 (OMS, 2022). En effet, l'incidence de la maladie a augmenté, passant de 225,5 en 2019 à 233,6 en 2020, avant de diminuer à nouveau pour atteindre 229,4 en 2021. Le taux de mortalité (décès pour 100 000 habitants exposés au risque de paludisme) a également augmenté, passant de 56,3 en 2019 à 60,4 en 2020, puis est redescendu à 58,2 en 2021 (OMS, 2022). Malgré ces progrès, la baisse de la mortalité liée au paludisme et de l'incidence des cas dus à cette maladie ont été perturbées par la pandémie de COVID-19.

Malgré les efforts consentis dans la lutte contre le paludisme dans le monde, la maladie reste un problème majeur de santé publique au Burkina Faso. En effet, il constitue la principale cause de consultation, d'hospitalisation et de décès dans les formations sanitaires, en particulier chez

les enfants de moins de 5 ans (Ministère de la santé, 2019). Dans son rapport de 2018 sur le paludisme dans le monde, l'OMS classe le Burkina Faso au 6^e rang concernant le nombre de cas d'infection palustre diagnostiqués en 2017 (OMS, 2018). En 2021, le pays occupe toujours le même rang (6^e).

Par ailleurs, les différences entre régions dans la transmission de cette maladie existent en raison de la qualité de l'environnement et de la diversité climatique (Bouba Djourdebbé, 2015; Brissy et al., 2017; Diouf et al., 2015; Gunawardena et al., 1998; Kaboré, 2019; Nkoussa, 2012; Ouédraogo et al., 2018; Ouldabdallahi et al., 2015; Samadoulougou et al., 2014). Dans un contexte climatique et environnemental propice à la prolifération des moustiques, le comportement d'une population face à une maladie peut jouer un rôle aussi important. C'est dans cette logique que cette étude s'est penchée sur la question des comportements des populations burkinabè en matière de paludisme, notamment ceux en lien avec la prévention de la mère chez l'enfant, personne la plus proche de ce dernier.

L'intérêt de mettre en relief les comportements préventifs de la mère se justifie par plusieurs raisons : d'une part, le dramatique constat de morbidité et de mortalité palustre peut en partie être expliqué par le manque de considération des aspects sociaux et comportementaux dans la lutte pour le contrôle du paludisme (Franckel, 2004) du moment où les femmes sont décrites comme « mères et gardiennes d'enfants » (Ribera et al. 2007) ; d'autre part, l'examen de toutes les activités antipaludiques menées jusqu'ici montre que peu de place et d'attention accordées à la communauté en général et plus particulièrement aux mères pourraient jouer dans la prévention du paludisme chez l'enfant (Kiniffo et al., 2000).

Approche comportementale et de la morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans

Cette approche met en évidence l'influence des différentes attitudes des mères pour prévenir le paludisme. De nombreuses études portant sur les comportements préventifs en relation avec le paludisme ont mis en évidence un certain nombre d'actions et d'attitudes venant de la mère et qui impactent la santé de l'enfant. Il s'agit notamment : l'utilisation de la moustiquaire imprégnée d'insecticide (MII), le traitement préventif intermittent pendant la grossesse (TPIg) et chez l'enfant, le nettoyage des environs et l'utilisation des insecticides.

Utilisation de la Moustiquaire Imprégnée d'Insecticide (MII)

L'utilisation de la Moustiquaire Imprégnée d'Insecticide (MII) est recommandée par l'OMS comme mesure de protection individuelle dans la lutte contre le paludisme. De nombreuses études ont démontré son efficacité pour la protection des jeunes enfants contre le paludisme (Sachs, 2006;

Apouey et al., 2017). Ainsi, pour Sachs (2006), la meilleure prévention contre le paludisme consiste en l'utilisation de la moustiquaire imprégnée d'insecticide. En plus d'éviter les piqûres de moustiques, l'utilisation de moustiquaires imprégnées permet de réduire la population de vecteurs du paludisme puisque les moustiques périssent lorsqu'ils entrent en contact avec l'insecticide (Apouey et al., 2017). Outre la diminution de la population de vecteurs du paludisme, l'utilisation des MII est un outil de lutte efficace dans la prévention et la réduction de la morbidité liée au paludisme, en particulier chez les jeunes enfants (Ouattara, 2013). Cependant, la moustiquaire imprégnée n'est pas souvent utilisée par la population, car elle est parfois détournée de sa fonction initiale de lutte anti-vectorielle (Some & Zerbo, 2007; Brissy et al., 2017). Par exemple, Some & Zerbo (2007) ont trouvé que la moustiquaire est souvent utilisée pour protéger, dans certaines communautés du département de Gaoua (Burkina Faso), les cadavres contre les mouches ou pour servir d'abris lors des funérailles. Brissy et al. (2017) montrent que les moustiquaires sont réaffectées parfois pour la vaisselle, la protection des parcelles agricoles intra-urbaines et des produits agricoles dans les quartiers de la ville de Bouaké en Côte d'Ivoire. C'est dans cette logique que Trape (2001) pense que la promotion de l'utilisation de la MII est aussi bien importante dans la lutte contre le paludisme.

Nettoyage des environs

L'insalubrité du ménage peut favoriser un risque sanitaire chez l'enfant. Parmi les risques sanitaires induits par cette insalubrité du ménage, figure le paludisme (Bouba Djourdebbé et al., 2015; Brissy et al., 2017; Mendo & Nguidjol, 2018; Kaboré, 2019). Le plus souvent, c'est la mère qui s'occupe activement du travail à effectuer dans la maison et le nettoyage des environs. Donc, le fait qu'elle garde la maison propre est un moyen de prévention du paludisme chez son enfant. Les travaux de Kaboré (2019) allant dans ce sens ont montré que les enfants dont les mères gardent l'environnement du ménage propre ont moins de risque d'être impaludés que ceux dont les mères ne prennent pas en compte la propreté de l'environnement comme moyen de prévention du paludisme. Dans la même veine, Brissy et al., (2017) montrent que le désordre à l'intérieur des maisons exiguës offre un cadre favorable pour le maintien des anophèles exposant ainsi les membres du ménage aux risques paludéens. De plus, les eaux usées qui stagnent dans la cour, les eaux pluviales qui stagnent dans les caniveaux à ciels ouverts favorisent la multiplication des gîtes de reproduction des anophèles exposant le ménage au risque du paludisme (Brissy et al., 2017). Le risque d'agression anophélienne est également plus élevé dans les habitations disposant des jardins potagers non entretenus dans le ménage (Bouba Djourdebbé et al., 2015). Dans ces

habitations, la pelouse sert d'abris aux populations anophéliennes (Brissy et al., 2017).

Traitement Préventif Intermittent pendant la grossesse (TPIg) et chez l'enfant

Le Traitement Préventif Intermittent pendant la grossesse (TPIg) consiste à l'administration intermittente et systématique d'antipaludiques : sulfadoxine-pyriméthamine (SP) chez les femmes enceintes à titre prophylactique (Aubry & Gaüzère, 2020). La plupart des études qui ont tenu compte de la prise d'un TPI l'ont fait pour appréhender les attitudes et pratiques de prévention de la femme enceinte vis-à-vis du paludisme. Néanmoins, quelques études ont fait le lien entre la prise du traitement préventif intermittent pendant la grossesse (TPIg) et la recherche de soins préventifs par les mères en cas de paludisme pour les enfants de moins de cinq ans. Ainsi, Nkoussa (2012) a montré que le recours à un TPI par la mère s'est révélé déterminant dans la prévalence du paludisme chez les enfants. Les femmes sont décrites comme « mères et gardiennes d'enfants » (Ribera et al., 2007), et une femme qui y recourt pendant sa grossesse pour se protéger contre le paludisme est plus à même d'adopter ces attitudes en matière de prévention du paludisme vis-à-vis de son enfant (Nkoussa, 2012). En d'autres termes, il est plus aisé pour une femme qui a eu l'habitude à se protéger du paludisme pendant sa grossesse de mieux protéger son enfant contre le paludisme après sa naissance. Cependant, les perceptions des femmes enceintes en matière de prévention du paludisme peuvent être influencées positivement au cours des consultations prénatales sans être cependant totalement intégrées après l'accouchement dans la protection de leurs enfants contre le paludisme (Nkoussa, 2012).

En ce qui concerne le traitement préventif intermittent des enfants, l'OMS a recommandé la chimiothérapie saisonnière comme stratégie complémentaire de prévention antipaludique pour le Sahel en 2012 (OMS, 2013). Il est basé sur l'administration, de façon intermittente, d'un médicament antipalustre pendant la première année de vie. Actuellement, le médicament de choix du Traitement Préventif intermittent infantile (TPIi) est la Sulfadoxine-Pyriméthamine (SP) dosée à 500 mg de sulfadoxine et 25 mg de pyriméthamine. Il vise à prévenir le paludisme de façon intermittente en permettant à l'enfant de continuer à développer une immunité naturelle. Le TPIi est administré lors des vaccinations de routine dans les formations sanitaires, couplées avec le Programme Élargi de Vaccination (PEV) (De Sousa & Affo, 2011). Cette stratégie prévoit l'administration d'un traitement d'un mois d'amodiaquine et de SP à tous les enfants de moins de 5 ans pendant la saison de forte transmission. Le Traitement Préventif Intermittent chez les enfants (TPIe) réduit la prévalence de l'infection palustre (Aubry & Gaüzère,

2020). Aussi, Aponte et al. (2009) ont montré que la mise en œuvre du TPIi réduit l'incidence du paludisme chez les enfants, des cas d'anémie et des cas d'hospitalisations associés à une parasitémie positive.

Utilisation des insecticides (serpentins fumigènes, aérosol, répulsif, etc.)

Les serpentins fumigènes sont très utilisés. Une fois allumés, ils brûlent lentement et régulièrement et diffusent de l'insecticide qui tue ou tient les moustiques à distance par un effet aérien. Lorsque la concentration en insecticide est suffisante, il peut y avoir un effet létal (Carnevale & Robert, 2009). Ces produits sont énormément répandus dans les pays pauvres, car ils sont accessibles et à bon marché (Pages et al., 2007). Drabo et al. (2004) montrent que les gens utilisent les serpentins parce qu'ils rencontrent des difficultés en utilisant le moustiquaire. Leur maison étant étroite, ce qui ne leur donne pas la possibilité d'attacher la moustiquaire pour toujours et à cause des risques d'incendie. Doannio et al. (2006) montrent que les serpentins fumigènes et les bombes insecticides sont utilisés en raison de leur accessibilité financière et de leur disponibilité sur le marché local.

Selon Pages et al. (2007) des outils complémentaires de protection individuelle sont disponibles et largement utilisés contre des vecteurs comme les diffuseurs d'insecticides, les bombes insecticides, des plaquettes thermo diffuseurs, les serpentins ou les répulsifs (appliqués sur la peau ou sur les habits). L'utilisation de ces méthodes de lutte contre les vecteurs par les femmes dans la maison peut être un moyen efficace de prévenir le paludisme chez leurs enfants de moins de cinq ans.

Aspects méthodologiques de l'Etude

Les données utilisées dans cette étude proviennent de l'Enquête sur les Indicateurs du Paludisme menée au Burkina Faso, de novembre 2017 à mars 2018 (EIPBF 2017-2018). La population cible de l'étude est constituée des enfants âgés de moins de 5 ans ayant effectué le test de la goutte épaisse et dont les informations sur leurs mères ont été recueillies. L'échantillon de l'étude est constitué de 5 211 enfants âgés de 6-59 mois, dont 50,7 % de sexe masculin et 40,3 % de sexe féminin. Cependant, l'analyse des données repose sur 5 174 enfants à cause des non-réponses de la variable dépendante.

La variable dépendante de la présente étude est l'accès palustre chez l'enfant au moment de l'enquête. C'est une variable dichotomique comportant deux modalités :

- Impaludé, si le résultat du test de la goutte épaisse est positif. Cela signifie que l'enfant a le paludisme.
- Non impaludé, si le résultat du test de la goutte épaisse est négatif, ce qui signifie que l'enfant n'a pas le paludisme.

Deux variables indépendantes principales relatives aux comportements préventifs de la mère pour prévenir le paludisme chez l'enfant sont retenues sur la base de la revue empirique. Il s'agit de l'utilisation de la moustiquaire chez l'enfant, et le nettoyage des environs du ménage. Le choix de ces variables a été motivé par leur disponibilité et leur qualité dans la base de données. Le comportement préventif de la mère renseigne sur l'ensemble des dispositions prises par la mère pour prévenir le paludisme chez son enfant. Le choix des variables de contrôle retenues dans le cadre de cette étude se justifie par l'importance de ces variables dans la littérature, mais aussi de leur disponibilité et de leur qualité dans la base de données. Il s'agit du milieu de résidence, du degré d'endémicité, la religion de la mère, ethnique de la mère, le niveau de vie du ménage, la taille du ménage, le nombre de MII dans le ménage, l'instruction de la mère, l'âge de la mère, l'exposition de la mère aux messages sur le paludisme, l'âge de l'enfant. Quatre (4) variables ont été construites à savoir le degré d'endémicité, la proportion des enfants qui ont dormi sous une MII dans la Zone de Dénombrement (ZD), la proportion des femmes qui nettoient les environs du ménage dans la ZD et la connaissance du paludisme par la mère.

Methode d'Analyse statistique des donnees

Étant donné que la variable dépendante est qualitative et dichotomique, le modèle logit a été utilisé. La mise en œuvre de ce modèle de régression est basée sur une approche multiniveau (appelé aussi modèles hiérarchiques linéaires, ou encore modèles à coefficients aléatoires). Elle a permis de mettre en évidence l'incidence des comportements préventifs de la mère ainsi que ses déterminants sur la morbidité palustre chez les enfants de moins de cinq ans avec les mécanismes par lesquels certaines variables influencent ces comportements préventifs. Le seuil choisi pour l'analyse explicative est de 5 %. Ce modèle a permis d'identifier les déterminants individuels et contextuels qui influencent les comportements préventifs de la mère et la morbidité palustre des enfants de moins de 5 ans au Burkina Faso. L'équation du modèle complet s'écrit :

$$\text{Logit}(Y_{ijk}) = \text{Ln}\left[\frac{P(Y_{ijk} = 1)}{1 - P(Y_{ijk} = 1)}\right] = \beta_0 + \beta_1 x_{ijk} + \beta_2 x_{jk} + \beta_3 x_k + v_k + u_{jk} + e_{ijk} \quad \text{Avec} \quad v_k \sim N(0, \sigma_v^2), \quad u_{jk} \sim N(0, \sigma_u^2)$$

$e_{ijk} \sim N(0, \frac{\pi^2}{9})$. L'indice i désigne les observations de niveau 1, j celles de niveau 2 et k celles de niveau 3. Ainsi, Y_{ijk} est la morbidité palustre de l'enfant i appartenant au ménage j de la communauté k.

La régression logistique estime la probabilité ou le risque pour qu'un enfant âgé de 6 à 59 mois soit atteint du paludisme. Elle estime l'effet net des variables associées à l'accès palustre des enfants de moins de cinq ans. Le seuil de significativité retenu concernant les variables et leurs catégories est

aussi égal à 5 %. Pour mieux interpréter les résultats, les Odds Ratios ou rapport de chance (OR) ont été utilisés. Un OR inférieur à 1 dans un groupe signifie que les enfants de ce groupe ont (1-OR) % moins de risque de contracter le paludisme par rapport au groupe de référence (groupe possédant la modalité ou la fréquence la plus élevée). Lorsqu'il est supérieur à 1, on dira plutôt que les enfants de cette catégorie ont plus de risque d'être impaludés.

Resultats

Facteurs liés aux caractéristiques de la communauté

Les variables relatives aux caractéristiques de la communauté dans cette étude sont le milieu de résidence, le degré d'endémicité, l'ethnie, la proportion des femmes qui nettoient les environs dans la communauté et la proportion des enfants qui ont dormi sous une MII dans la communauté. Ces variables ont été introduites successivement du modèle M4.12 au Modèle M4.16 (Tableau 1). Le milieu de résidence a été introduit au modèle M4.12, le degré d'endémicité au modèle M4.13, la proportion des femmes qui nettoient les environs dans la communauté au modèle M4.14, la proportion des enfants qui ont dormi sous une MII dans la communauté au modèle M4.15 et l'ethnie au modèle M4.16. Aucune variable n'influence la relation entre les comportements préventifs de la mère et la morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans au Burkina Faso. Cependant, le milieu de résidence et le degré d'endémicité ont un effet sur la morbidité palustre des enfants.

Effet du milieu de résidence

Le milieu de résidence a un effet significatif sur l'état de morbidité palustre des enfants au seuil de 1 %. Les enfants vivant en milieu urbain ont 71 % moins de risque d'être impaludés que leurs homologues vivant en milieu rural. Cette différence est significative au seuil de 1 %. L'influence du milieu de résidence est directe puisque son effet est resté significatif au seuil de 1 % malgré le contrôle des autres variables. Le contrôle de l'effet des comportements préventifs de la mère sur la morbidité palustre chez l'enfant par le milieu de résidence montre que le risque d'être impaludé des enfants qui ont dormi sous une MII et ceux qui n'y ont pas dormi est resté presque identique par rapport au modèle précédent (M4.11). De même, le risque d'avoir le paludisme n'a pratiquement pas varié par rapport au modèle M4.11 pour les enfants dont les mères gardent l'environnement du ménage propre et ceux dont les mères ne nettoient pas les environs du ménage. Ces résultats révèlent que le milieu de résidence n'influence pas la relation entre les comportements préventifs de la mère sur la morbidité palustre chez l'enfant.

Degré d'endémicité

Le degré d'endémicité exerce une influence significative sur l'état de morbidité palustre des enfants au seuil de 1 %. Les enfants résidant dans la zone hyper endémique ont 1,88 fois plus de risque d'être impaludés que ceux résidant dans la zone endémique. Le risque de morbidité dû au paludisme chez les enfants résidant dans la zone hypo endémique n'est pas significativement différent de celui des enfants de la zone endémique. Malgré le contrôle des autres variables, l'effet de la variable degré d'endémicité est resté significatif au seuil de 5%, donc l'influence de cette variable est directe. L'introduction de la variable zone endémique n'a pas eu d'effet sur l'utilisation de la MII chez l'enfant puisque le risque d'être impaludé est resté presque identique pour les enfants qui n'ont pas dormi sous une MII au modèle précédent (M4.12) ; de même pour les enfants dont les mères ne nettoient pas les environs du ménage comme moyen de prévention du paludisme. Donc, le degré d'endémicité n'influence pas la relation entre les comportements préventifs de la mère et la morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans.

Facteurs liés aux caractéristiques du ménage

Les variables relatives aux caractéristiques du ménage dans cette étude concernent la taille du ménage, le nombre de MII dans le ménage et le niveau de vie du ménage. Ces variables ont été introduites successivement du modèle M4.9 au modèle M4.11 (Tableau 1). La taille du ménage a été introduite au modèle M4.9, le nombre de MII au modèle M4.10 et le niveau de vie du ménage au modèle M4.11. Il ressort des résultats que le nombre de MII dans le ménage influence la relation entre les comportements préventifs de la mère et la morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans. Par ailleurs, le niveau de vie du ménage s'est révélé déterminant de la morbidité palustre.

Effet du niveau de vie du ménage

Le niveau de vie exerce une influence significative sur l'état de morbidité palustre des enfants au seuil de 1 %. Les enfants vivant dans les ménages riches ont 60 % moins de risque d'être impaludés par rapport aux enfants vivant dans les ménages pauvres. Cependant, les enfants vivant dans les ménages à niveau de vie moyen ont un risque d'être impaludés qui ne diffère pas significativement des enfants vivant dans les ménages à niveau de vie pauvre. En ce qui concerne les comportements préventifs de la mère, l'introduction du niveau de vie du ménage n'a pas eu d'effet sur ces comportements c'est-à-dire le risque d'être impaludés est resté presque identique quel que soit le type de comportement.

Effet du nombre de MII dans le ménage

Le nombre de MII dans le ménage a un effet significatif au seuil de 5 % sur la morbidité palustre chez les enfants de moins de cinq ans. Les enfants issus des ménages qui ont plus de 4 MII ont 1,87 fois plus de risque d'être impaludés que leurs homologues qui résident dans les ménages qui possèdent 2 à 4 MII. Les enfants résidant dans les ménages possédant moins de 2 MII ont un risque d'être impaludés qui ne diffère pas significativement des enfants vivant dans les ménages qui ont 2 à 4 MII. L'introduction de la variable nombre de MII dans le ménage au modèle M4.10 a fait augmenter de 5,5 points le risque d'être impaludé pour les enfants qui n'ont pas dormi sous une MII par rapport au modèle M4.10 ($1,121-1,066=5,5$). Cela signifie que le nombre de MII dans le ménage augmente l'effet de l'utilisation de la MII sur la morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans. Par contre, pour le nettoyage des environs, le risque est resté identique pour les enfants dont les mères gardent l'environnement du ménage propre et ceux dont les mères ne nettoient pas les environs du ménage.

Facteurs liés aux caractéristiques individuelles de la mère et de l'enfant

Les variables relatives aux caractéristiques individuelles de l'enfant et de sa mère ont été introduites du modèle M4.2 au modèle M4.8 (Tableau 1). L'âge de l'enfant a été introduit au modèle M4.2, le sexe de l'enfant au modèle M4.3, l'âge de la mère au modèle M4.4, la connaissance du paludisme par la mère au modèle M4.5, l'exposition de la mère aux messages sur le paludisme au modèle M4.6, l'instruction de la mère au modèle M4.7 et la religion de la mère au modèle M4.8. Parmi toutes les variables individuelles introduites, seul l'âge de l'enfant a eu un effet significatif sur la relation entre les comportements préventifs de la mère et la morbidité palustre des enfants.

Effet de l'âge de l'enfant

L'âge de l'enfant a un effet significatif sur son état de morbidité palustre au seuil de 1 %. Les enfants âgés de 6 à 23 mois ont 41 % moins de risque d'avoir un accès palustre que leurs homologues âgés de 24 à 59 mois. L'âge de l'enfant est resté significatif depuis son introduction au modèle M4.16, ce qui laisse croire qu'il a une influence directe sur l'état de morbidité palustre des enfants. L'introduction de cette variable au modèle M4.3 a fait baisser le risque d'être impaludé chez les enfants qui n'ont pas dormi sous une MII. Le risque est resté presque identique chez les enfants dont les mères ne gardent pas l'environnement immédiat du ménage propre. Cela signifie que l'âge de l'enfant médiatise partiellement l'effet de l'utilisation de la MII sur l'état de morbidité palustre chez l'enfant.

Tableau 1. Résultats des modèles de régression logistique multiniveau (rapports de cote)

Variables/Modalités	Effets nets des variables															
	M4.1	M4.2	M4.3	M4.4	M4.5	M4.6	M4.7	M4.8	M4.9	M4.10	M4.11	M4.12	M4.13	M4.14	M4.15	M4.16
Utilisation de la MII	ns	Ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns
Utilise	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.
N'utilise pas	1,147 ns	1,115n s	1,113n s	1,120n s	1,123n s	1,109n s	1,098n s	1,098n s	1,066n s	1,121n s	1,128n s	1,127n s	1,132n s	1,127n s	1,114n s	1,103ns
Nettoyage des environs	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Nettoie	0,904 ns	0,899n s	0,899n s	0,898n s	0,910n s	0,913n s	0,934n s	0,936n s	0,930n s	0,927n s	0,929n s	0,926n s	0,925n s	0,946n s	0,948n s	0,957ns
Ne nettoie pas	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.
Âge de l'enfant		***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
6-23 mois		0,586* **	0,586* **	0,577* **	0,575* **	0,576* **	0,580* **	0,582* **	0,582* **	0,580* **	0,588* **	0,588* **	0,586* **	0,586* **	0,587* **	0,587** *
24-59 mois		réf.														
Sexe de l'enfant			ns													
Masculin			réf.													
Féminin			0,943n s	0,940n s	0,944n s	0,940n s	0,944n s	0,940n s	0,939n s	0,944n s	0,956n s	0,957n s	0,952n s	0,952n s	0,951n s	0,950ns
Âge de la mère				ns	Ns	ns	*	*	**	**	*	*	*	*	*	ns
15-24 ans				1,232n s	1,217n s	1,209n s	1,268*	1,277*	1,353* *	1,351* *	1,293*	1,277*	1,278*	1,278*	1,277*	1,258ns
25-34 ans				réf.												
35-49 ans				1,069n s	1,069n s	1,073n s	1,038n s	1,036n s	0,997n s	0,987n s	0,986n s	0,994n s	0,991n s	0,991n s	0,990n s	0,982ns
Connaissance du paludisme					*	*	ns									
Bonne					0,805*	0,822*	0,839n s	0,835n s	0,831n s	0,835n s	0,844n s	0,851n s	0,864n s	0,867n s	0,869n s	0,871ns
Moins bonne					réf.											
Exposition aux messages sur le paludisme						ns										
Exposée						réf.										
Non exposée						1,216n s	1,188n s	1,195n s	1,200n s	1,197n s	1,192n s	1,198n s	1,164n s	1,170n s	1,169n s	1,180ns

Variables/Modalités	Effets nets des variables															
	M4.1	M4.2	M4.3	M4.4	M4.5	M4.6	M4.7	M4.8	M4.9	M4.10	M4.11	M4.12	M4.13	M4.14	M4.15	M4.16
Instruction de la mère							***	***	***	***	*	ns	ns	ns	ns	ns
Sans niveau							réf.									
Primaire							0,781ns	0,769ns	0,780ns	0,781ns	0,848ns	0,882ns	0,873ns	0,874ns	0,873ns	0,866ns
Secondaire et plus							0,470**	0,460**	0,472**	0,465**	0,617*	0,676ns	0,672ns	0,671ns	0,670ns	0,668ns
Religion de la mère								ns								
Musulmane								réf.								
Catholique								1,228ns	1,235ns	1,241ns	1,233ns	1,233ns	1,220ns	1,227ns	1,227ns	1,210ns
Autres religions								1,234ns	1,245ns	1,246ns	1,210ns	1,203ns	1,114ns	1,116ns	1,112ns	1,071ns
Taille du ménage									*	ns						
Petite taille									0,890ns	0,920ns	0,925ns	0,945ns	0,952ns	0,951ns	0,951ns	0,950ns
Taille moyenne									réf.							
Grande taille									1,362*	1,262ns	1,313ns	1,274ns	1,261ns	1,257ns	1,253ns	1,256ns
Nombre de MII dans le ménage										*	**	**	**	**	**	**
Moins de 2 MII										0,946ns	0,929ns	0,938ns	0,916ns	0,915ns	0,913ns	0,908ns
2 à 4 MII										réf.						
Plus de 4 MII										1,678*	1,872*	1,782*	1,859*	1,851*	1,860*	1,873**
Niveau de vie du ménage											***	***	***	***	***	***
Pauvre											réf.	réf.	réf.	réf.	réf.	réf.
Moyen											0,905ns	0,929ns	0,901ns	0,906ns	0,910ns	0,918ns
Riche											0,259**	0,431**	0,392**	0,395**	0,396**	0,404**
Milieu de résidence											***	***	***	***	***	***
Urbain											0,298**	0,296**	0,296**	0,300**	0,294**	0,294**

Variables/Modalités	Effets nets des variables															
	M4.1	M4.2	M4.3	M4.4	M4.5	M4.6	M4.7	M4.8	M4.9	M4.10	M4.11	M4.12	M4.13	M4.14	M4.15	M4.16
Rural												réf.	réf.	réf.	réf.	réf.
Degré d'endémicité													***	***	***	***
Hyper endémique													1,801* **	1,821* **	1,797* **	1,882** *
Endémique													réf.	réf.	réf.	réf.
Hypo endémique													0,889n s	0,914n s	0,920n s	0,892ns
Proportion des femmes qui nettoient les environs														ns	ns	ns
Élevée														0,827n s	0,849n s	0,957ns
Faible														réf.	réf.	réf.
Proportion des enfants qui ont dormi sous la MII															ns	ns
Élevée															réf.	réf.
Faible															1,118n s	1,073ns
Ethnie de la mère																ns
Bobo/dioula/senoufo																0,728ns
Lobi/dagara/gourounsi/bissa																1,404ns
Mossi/gourmantche																réf.
Peulh/touareg/bella/autres ethnies																1,094ns
Chi2 Wald	2,104 ns	24,336 ***	24,647 ***	26,804 ***	29,966 ***	32,210 ***	42,184 ***	43,887 ***	48,674 ***	52,121 ***	78,663 ***	89,586 ***	96,707 ***	97,031 ***	97,340 ***	102,286 ***

Discussion des resultats

Influence des comportements préventifs de la mère

Utilisation de la MII chez l'enfant

L'utilisation de la moustiquaire imprégnée chez l'enfant n'influence pas l'état de morbidité palustre des enfants. Ce résultat est contraire aux attentes puisque plusieurs études montrent que la MII constitue un moyen efficace de lutte contre le paludisme dans les zones endémiques (Carnevale et al., 1987; Carnevale & Robert, 2009; Lengeler et al., 1998; Ouattara, 2013). Certains auteurs à l'instar de Hajison et al. (2018) ont trouvé que les enfants qui dorment sous une moustiquaire courent moins de risque d'infection au paludisme que ceux qui ne dorment pas sous une moustiquaire. Ce résultat va plutôt dans le même sens de la conclusion des travaux des auteurs comme Zongo et al. (2015) au Burkina Faso, et Diallo (2016) en Guinée et Kaboré (2019) au Burkina. En effet, Zongo et al. (2015) ont montré au Burkina Faso que la MII n'a pas contribué à la réduction de la prévalence du paludisme chez les enfants entre 2010 et 2014. L'absence de relation entre l'usage de la moustiquaire imprégnée et l'accès palustre de l'enfant constatée dans la présente étude soulève des questions importantes concernant l'utilisation correcte de la moustiquaire par les mères des enfants de moins de 5 ans. En cas d'utilisation incorrecte, les moustiques peuvent avoir accès à l'intérieur de la moustiquaire avant même que l'enfant ne rentre se coucher. Dans le contexte burkinabè, cette absence de relation pourrait s'expliquer par plusieurs raisons. D'abord, chez près de 91 % des enfants, les données sur le paludisme ont été collectées en janvier-février-mars, période complètement située en dehors de la saison de haute transmission du paludisme au Burkina Faso (INSD et al., 2018). Donc le risque de transmission du paludisme étant faible en cette période, cette situation expliquerait la différence non significative constatée entre les enfants qui ont dormi sous une MII et ceux qui n'y ont pas dormi. Par ailleurs, la période de collecte, située en dehors de la saison de haute transmission du paludisme, pourrait induire un comportement de négligence des bonnes habitudes/pratiques d'utilisation du MII.

Ensuite, une autre explication de l'absence de relation entre l'usage de la moustiquaire imprégnée et l'accès palustre de l'enfant pourrait être la diversification des moyens de protection contre le paludisme tels que le traitement préventif intermittent chez les enfants ainsi que l'usage des insecticides (pulvérisation intra-domiciliaire, l'utilisation de serpentins, fumigènes diffuseurs/crèmes des répulsifs). Les insecticides sont beaucoup utilisés dans des ménages pour des raisons de manque de moyen ou encore de chaleur dans la MII. L'inadaptation de la MII à l'environnement tel que l'espace très restreint, le manque de place pour accrocher le filet de l'enfant peut également favoriser l'utilisation de ces insecticides par les mères pour protéger leurs enfants contre le paludisme.

Enfin, cette absence de relation pourrait s'expliquer par le fait que l'usage de la MII n'est pas encore universel dans le pays malgré les campagnes de distribution gratuite. D'après le rapport de l'EIPBF 2017-2018, environ 44 % de la population des ménages ont dormi sous une MII la nuit ayant précédé l'enquête (INSD et al., 2018). On estime pourtant que les moustiquaires imprégnées ne peuvent avoir un effet masse que si le taux de couverture est de l'ordre de 80 % (et plus) dans une communauté (Carnevale & Robert, 2009).

Nettoyage des environs du ménage

Tout comme l'utilisation de la MII, les analyses révèlent que le nettoyage des environs du ménage par la mère n'influence pas l'état de morbidité palustre des enfants. Ce résultat se différencie par celui obtenu par Kaboré (2019) au Burkina Faso. Cet auteur a observé que les enfants dont les mères gardent l'environnement du ménage propre ont moins de risque d'être impaludés que ceux dont les mères ne prennent pas en compte la propreté de l'environnement comme moyen de prévention du paludisme. Ce résultat est contraire à nos attentes puisque la présence d'eau stagnante, les touffes d'herbes et les dépôts d'ordures dans le ménage favorisent la survie des moustiques et donc la transmission du paludisme (Brissy et al., 2017). Dans le contexte burkinabé, ce résultat peut s'expliquer par la période de collecte où 91% des données ont été collectées en janvier-février-mars (INSD et al., 2018), période située dans la saison sèche et en dehors de la saison de haute transmission du paludisme où il y'a moins d'eau stagnante, moins de touffes d'herbe réduisant ainsi le risque de transmission du paludisme lié à l'environnement du ménage.

Facteurs liés aux caractéristiques de la communauté

Milieu de résidence

Les résultats de l'étude montrent que le milieu de résidence exerce un effet significatif sur l'état de morbidité palustre des enfants. Les enfants vivant en milieu urbain courent moins de risque d'être impaludés comparativement aux enfants vivant en milieu rural (Sandie, 2014 ; Barry, 2015 ; Diallo, 2016, Ouédraogo et al. 2018 ; Kaboré, 2019). Les risques élevés de contracter le paludisme en milieu rural s'expliquent par les conditions favorables qu'offre ce milieu au développement des moustiques (Pages et al., 2007). Les espaces ruraux sont des espaces à risque anophélien, c'est-à-dire des espaces où l'on a plus de risque de se faire piquer par des anophèles (Daval, 2006). Par ailleurs, des études soulignent que l'urbanisation limite le risque paludéen puisqu'elle entraîne une artificialisation de l'environnement, ce qui a pour effet de réduire les gîtes larvaires (Gazin, 1991; Pages et al., 2007). La pollution des eaux de surface observable dans les villes gêne le développement des anophèles (Loizzo & Tabarly, 2012; Fournet et al., 2015). L'urbanisation implique

également une évolution des comportements sanitaires qui peut se traduire par une prévention plus efficace (utilisation d'insecticides, de moustiquaires, de traitements préventifs), une meilleure information et un meilleur accès aux établissements de santé (Loïzzo & Tabarly, 2012).

Degré d'endémicité

Le degré d'endémicité exerce une influence significative sur l'état de morbidité palustre des enfants. Les résultats des analyses montrent que les enfants qui résident dans la zone hyper endémique ont plus de risque d'avoir le paludisme contrairement à ceux de la zone endémique. En effet, quand la transmission est forte, l'essentiel de la morbidité due au paludisme est concentré chez les jeunes enfants. Lorsque la transmission est faible, les différences entre les classes d'âge s'atténuent, mais l'incidence cumulée des accès palustres n'est guère modifiée tant que la transmission reste supérieure à deux piqûres d'anophèles infectées chaque année. Ce n'est que pour les niveaux très faibles de transmission, de 0,01 à une piqûre d'anophèle infectée par personne tous les deux à cinq ans, que l'incidence des accès de paludisme dans une communauté est directement fonction du niveau de la transmission (Nkoussa, 2012). Il est ainsi évident qu'aucune population n'aurait pu survivre en Afrique tropicale si la létalité des accès de paludisme ne diminuait pas rapidement avec la répétition des infections. Dans les régions d'Afrique où la transmission est forte, les décès par paludisme sont rares après l'âge de cinq ans (Trape, 2001).

Facteurs liés aux caractéristiques du ménage

Le niveau du ménage

Le niveau de vie du ménage exerce une influence significative sur la survenue du paludisme chez les enfants. Les analyses montrent que les enfants vivant dans les ménages riches ont moins de risque d'être impaludés par rapport aux enfants vivant dans les ménages pauvres. Ces résultats convergent dans le même sens que ceux de Barry (2015), Fournet et al. (2015), Saïdou (2018) et Kaboré (2019). Ces auteurs ont montré que les enfants des ménages pauvres courent plus de risque d'avoir le paludisme par rapport aux enfants des ménages riches. Dans la littérature, il ressort que le niveau de protection des ménages contre le paludisme est corrélé à leurs niveaux de revenu (Brissy et al., 2017). Dans le contexte burkinabè, ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les ménages constituent la principale source de financement de la santé. Dans un tel contexte, les ménages à niveau de vie élevé seront les plus enclins à satisfaire leurs besoins en matière de lutte contre le paludisme. Il ressort de nos analyses que le niveau de vie médiatise l'instruction de la mère. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que le niveau d'instruction élevé de la femme lui donne plus de chance d'accès à un emploi salarié. Ce qui

augmente son indépendance en termes de revenus. En effet, ce revenu qu'elle gagne lui donne une certaine capacité à acquérir des biens et services favorables au maintien de la santé des enfants particulièrement le renforcement de la capacité de prémunition du ménage contre les moustiques vecteurs du paludisme et réduire le risque de transmission palustre chez les enfants. Également, le niveau de vie du ménage a augmenté partiellement la significativité du nombre de MII dans le ménage. Cela peut s'expliquer par le fait que plus le ménage à un niveau de vie élevé, plus ce ménage pourra se procurer facilement les MII pour protéger les enfants contre le paludisme.

Nombre de MII dans le ménage

Comme le niveau de vie du ménage, le nombre de MII dans le ménage exerce une influence significative sur l'état de morbidité palustre des enfants. Les résultats des analyses montrent que les enfants issus des ménages qui ont plus de 4 MII ont plus de risque d'être impaludés que leurs confrères qui résident dans les ménages qui possèdent 2 à 4 MII. Cette variable est très peu testée dans les études sur le paludisme. Mais néanmoins, l'explication qu'on peut donner dans le contexte burkinabé à ce résultat est que les ménages où il y'a plus de 4 MII sont des ménages de grande taille. Ainsi, le ratio population du ménage par nombre de MII est supérieur à 2 personnes par MII. Alors que la norme recommandée par l'OMS est qu'une moustiquaire soit utilisée par au plus deux personnes (OMS, 2008). Dans ce genre de situation, les personnes âgées du ménage sont privilégiées au détriment des enfants se retrouvant alors exposés au risque élevé d'être impaludé.

Facteurs liés aux caractéristiques individuelles de la mère et de l'enfant

Âge de l'enfant

L'âge de l'enfant a un effet significatif sur la relation entre les comportements préventifs de la mère et la morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans. Les résultats de l'étude montrent que les enfants âgés de 6 à 23 mois ont moins de risque d'avoir un accès palustre que leurs homologues âgés de 24 à 59 mois. Plusieurs études ont montré que parmi les enfants de moins de 5 ans, les plus jeunes couraient moins de risque de paludisme que les plus âgés (Othingué, 2005; Kaboré, 2019). Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les mères ont tendance à accorder moins de soins aux enfants plus âgés, ce qui les rend vulnérables au paludisme (Diallo, 2016). Aussi, les enfants plus jeunes possèdent des anticorps anti-palustres qui leur ont été transmis par leurs mères (Carnevale & Vaugelade, 1987; Le Hesran, 2000) qui les rendent moins vulnérables au paludisme par rapport aux enfants plus âgés.

Liimites de l'Etude

Cette étude comporte des limites importantes à mentionner. L'absence de certaines variables (par exemple des variables relatives à l'occupation de la mère, les moyens utilisés par les populations pour lutter contre les larves et les modifications de l'environnement, le Traitement Préventif Intermittent chez l'enfant (TPIe)) dans la base de données, qui pourraient mieux expliquer la relation entre les comportements préventifs de la mère et la morbidité palustre des enfants. Par ailleurs, l'unité primaire de sondage, utilisée généralement dans les enquêtes correspond dans cette étude au niveau communautaire. Ces unités sont conçues à partir des zones de dénombrement des recensements de la population pour les besoins de l'échantillonnage (Boco, 2011). Par conséquent, elles peuvent ne pas matérialiser correctement une réalité sociale, culturelle, économique ou sanitaire. Ceci pourrait remettre donc en cause la mise en évidence de la relation entre les comportements préventifs de la mère et la morbidité palustre des enfants.

Conclusion et recommandations

La présente étude avait pour objectif d'analyser l'influence des comportements préventifs de la mère sur la morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans au Burkina Faso. En utilisant les données de l'Enquête sur les Indicateurs du Paludisme (EIP) réalisée en 2017-2018, il est ressorti qu'aucun comportement préventif de la mère n'est un facteur de la morbidité palustre. Cependant, le nombre de MII et l'âge de l'enfant sont les variables qui influencent les comportements préventifs de la mère sur la morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans. Par ailleurs, le niveau de vie, le milieu de résidence et les zones endémiques influencent la morbidité palustre chez les enfants de moins de cinq ans au Burkina Faso.

En termes de recommandations politiques, il est important de prendre en compte la norme de l'OMS où une moustiquaire doit être utilisée par au plus 2 personnes pendant les campagnes de distribution des MII. Cela permettra de tenir compte des ménages de grande taille où le ratio population du ménage par le nombre de MII est supérieur à 2 personnes par MII. Il est aussi important de poursuivre les efforts pour améliorer le niveau de vie des ménages. De plus les interventions de lutte antipaludique doivent plus cibler les enfants âgés de 24 à 59 mois, particulièrement en milieu rural dans la zone hyper endémique.

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

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

Disponibilité des données : Toutes les données sont anonymes et disponibles gratuitement pour une demande en ligne. L'autorisation d'utiliser les données a été demandée à Measure DHS/ ICF International, qui l'a accordée.

References:

1. APONTE J. J., SCHELLENBERG D., EGAN A., BRECKENRIDGE A., CARNEIRO I., CRITCHLEY J., DANQUAH I., DODOO A., KOBBE R., & LELL B. (2009), Efficacy and safety of intermittent preventive treatment with sulfadoxine-pyrimethamine for malaria in African infants: A pooled analysis of six randomised, placebo-controlled trials, *The Lancet*, Vol. 374 n° 9700, pp. 1533–1542.
2. APOUEY B. H., PICONE G., WILDE J., COLEMAN J., & KIBLER R. (2017), Paludisme et anémie des enfants en Afrique subsaharienne : Effet de la distribution de moustiquaires, *Revue économique*, Vol. 68 n°2, pp. 163–197.
3. AUBRY P., & GAÜZÈRE B.-A. (2020), *Paludisme : Actualité 2019*, Institut de Médecine Tropicale, Document pédagogique, Université de Bordeaux (France), 30 p.
4. BARRY T. S. (2015), *Disparités régionales de la morbidité palustre chez les enfants de moins de cinq ans en Guinée*, Mémoire de Master en Démographie, Université Yaoundé II Soa, IFORD, 140 p. +annexes.
5. BOCO A. G. (2011), *Déterminants individuels et contextuels de la mortalité des enfants de moins de cinq ans en Afrique au sud du Sahara : Analyse comparative des enquêtes démographiques et de santé*, Thèse de doctorat en Démographie, Université de Montréal, Canada, 249 p. +annexes.
6. BOUBA DJOURDEBBÉ F. (2015), *Facteurs environnementaux immédiats et santé des enfants dans les zones de l'Observatoire de population de Ouagadougou (Burkina Faso)*, Thèse de doctorat en Démographie, Université de Montréal, Canada, 210 p. +annexes.
7. BOUBA DJOURDEBBÉ F., DOS SANTOS S., LEGRAND T., & BASSIAHI SOURA A. (2015), Influence des facteurs environnementaux et démographiques dans la cooccurrence de la diarrhée et de la fièvre chez les enfants dans cinq quartiers périphériques de Ouagadougou (Burkina Faso), *Cahiers québécois de démographie*, Vol. 44, n°1, pp. 35–64.
8. BRISSY O. A., KRAMO Y. V., & KOUASSI K. (2017), Les facteurs de risques écologiques et socio-économiques associés au paludisme dans les quartiers de la ville de Bouake, *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, n°1, p. 122-136.

9. CARNEVALE P., & ROBERT V. (2009). Les anophèles : *Biologie, transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle*, Marseille (France), IRD, 402 p.
10. CARNEVALE P., & VAUGELADE J. (1987), *Paludismes, morbidité palustre et mortalité infantile et juvénile en Afrique sub-saharienne*, Organisation mondiale de la Santé, Document de travail, Genève (Suisse), 20 p.
11. DAVAL C. R. (2006), Les maladies parasitaires en milieu urbain : Intérêt et limites de l'analyse spatiale. L'exemple de Mbandjock au Cameroun, *Espace populations sociétés*, n°2006/2-3, pp. 381–392.
12. DE SOUSA A., & AFFO A. M. (2011), Acceptabilité du Traitement préventif intermittent infantile du paludisme au sein du système sanitaire et en milieu communautaire au Bénin : Acteurs et stratégies, *Sciences sociales et santé*, Vol. 29, n°4, pp. 69–94.
13. DIALLO D. (2016), *Disparités régionales de la morbidité palustre chez les enfants de 6-59 mois au Mali : Recherche des facteurs explicatifs*, Mémoire de Master en Démographie, Université Yaoundé II Soa, IFORD, 95p. +annexes.
14. DIOUF I., DEME, A., FONSECA, B. R., CISSE, M., NDIONE, J. A., & GAYE, A. T. (2015), *Détermination des paramètres du paludisme au Sénégal à partir de données météorologiques de station et de réanalyses*, pp. 133–139, (Communication au XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie « Modélisation et variabilités » Liège, 1^{er} au 4 juillet 2015).
15. DOANNIO J. M. C., KONAN Y. L., AMALAMAN K., & ATTIAH J. (2004), Connaissances, attitudes et pratiques des populations vis-a-vis des moustiques dans la zone urbaine et périurbaine de Bouaké et dans les villages de Kafiné et de Kabolo (Côte-d'Ivoire, Afrique de l'Ouest), *Anthropologie Médicale. Bull Soc Pathol Exot*, Vol. 66 n°1, pp. 295–301.
16. DRABO, K., TARNAGDA, Z., ZEBE, A., SERI, L., OUEDRAOGO, J. B., KABORE, I., ROUAMBA, J., & GUIGUEMDE, T. R. (2004). Représentations et pratiques en matière de paludisme chez les personnes en charge des enfants de moins 5 ans en milieu rural de la province du Houet. *Sciences et techniques, Sciences de la santé*, Vol. 27 n°1.
17. FOURNET F., KASSIÉ D., DABIRÉ R. K., & SALEM G. (2015), Analyse de la distribution socio-spatiale du paludisme dans une ville moyenne ouest africaine, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). *Dynamiques environnementales. Journal international de géosciences et de l'environnement*, n°36, pp. 146-165.

18. FRANCKEL A. (2004), *Les comportements de recours aux soins en milieu rural au Sénégal. Le cas des enfants fébriles à Niakhar*, Thèse de doctorat en Démographie, Université de Nanterre (France), 466 p. +annexes.
19. GAZIN P. (1991), Le paludisme en Afrique au sud du Sahara : Comparaison entre les milieux urbains et ruraux, *Cahiers d'études et de recherches francophones/Santé*, Vol. 1, n°1, pp.33–38.
20. GUNAWARDENA D. M., WICKREMASINGHE A. R., MUTHUWATTA L., WEERASINGHA S., RAJAKARUNA J., SENANAYAKA T., KOTTA P. K., ATTANAYAKE N., CARTER R., & MENDIS K. N. (1998), Malaria risk factors in an endemic region of Sri Lanka, and the impact and cost implications of risk factor-based interventions, *The American journal of tropical medicine and hygiene*, Vol. 58, n°5, pp. 533–542.
21. HAJISON P. L., FERESU S. A., & MWAKIKUNGA B. W. (2018), Malaria in children under-five : A comparison of risk factors in lakeshore and highland areas, Zomba district, Malawi, *PLoS one*, Vol. 13, n°11.
22. INSD, PNL, & ICF INTERNATIONAL. (2018), *Enquête sur les Indicateurs du Paludisme au Burkina Faso (EIPBF) 2017-2018*, Rapport d'enquête, Ouagadougou (Burkina Faso), 159 p.
23. KABORÉ S. T. (2019), *Disparités régionales de la morbidité palustre des enfants de moins de cinq ans au Burkina Faso*, Mémoire de Master en Démographie, Université Yaoundé II Soa, IFORD, 188p. + annexe.
24. KINIFFO I. R., AGBO-OLA L., ISSIFOU S., & MASSOUBODJI A. (2000), Les mères des enfants de moins de cinq ans et le paludisme dans la vallée de Dangbo au Sud-Est du Bénin, *Médecine d'Afrique Noire*, Vol. 47, n°1, pp. 27–33.
25. LE HESRAN J.-Y. (2000), Les particularités du paludisme chez l'enfant, *Med Trop*, Vol. 60, n°1, pp. 92–98.
26. LENGELER C., ARMSTRONG-SHELLENBERG J., D'ALESSANDRO U., BINKA F., & CATTANI J. (1998), Relative versus absolute risk of dying reduction after using insecticide-treated nets for malaria control in Africa, *Tropical Medicine & International Health*, Vol. 3, n°4, pp. 286–290.
27. LOÏZZO C., & TABARLY S. (2012), Espaces et territoires du paludisme. Document pédagogique, Géographie de la santé : espace et sociétés, Géoconfluence. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/transv/sante/SanteDoc.htm> , Consulté le 28-08-2020
28. MENDO E., & NGUIDJOL J. B. (2018), Le paludisme des enfants de moins de cinq ans à Yaoundé (Cameroun) : Déterminants environnementaux et socioéconomiques, *Journal de gestion et d'économie médicales*, Vol. 36, n°5, pp. 346–366.

29. MINISTÈRE DE LA SANTÉ (2019), *Annuaire statistique de la santé 2018, Burkina Faso, Direction générale des études et des statistiques sectorielles*, Document de travail, Ouagadougou (Burkina Faso), 502 p
30. NKOUSSA S. (2012), *Comportements de la mère et prévalence du paludisme chez les enfants de moins de cinq ans au Cameroun*, Mémoire de Master en Démographie, Université Yaoundé II Soa, IFORD, 113p. + annexe.
31. OMS (2008), *Rapport sur la santé dans le monde 2008*, Document de travail, Genève (Suisse), 149p.
32. OMS (2018), *Rapport sur le paludisme dans le monde 2018*, Document de travail, Genève (Suisse), 165 p.
33. OMS (2019), *Rapport sur le paludisme dans le monde 2019*, Document de travail, Genève (Suisse), 232 p.
34. OMS (2022), *Rapport 2022 sur le paludisme dans le monde*, Document de travail, Genève (Suisse), 16 p.
35. OUATTARA A. F. (2013), *Moustiquaires imprégnées d'insecticides longue durée et tests diagnostiques rapides du paludisme : Implication dans le contrôle du paludisme au centre de la Côte d'Ivoire*, Thèse de doctorat en science naturelle, Université de Basel (Suisse), 151p. +annexes.
36. OULDABDALLAHI M., OULDBEZEID M., LEMRABOT M. A., OULDELVALLY A., OULDKHAIRI M. L., DIALW B., & BASCO L. (2015), Étude de la morbidité et espèces de *Plasmodium* dans les différentes zones géo-climatiques de la Mauritanie, *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, Vol. 108, n°2, pp. 112–116.
37. PAGES F., ORLANDI-PRADINES E., & CORBEL V. (2007), Vecteurs du paludisme : Biologie, diversité, contrôle et protection individuelle, *Médecine et maladies infectieuses*, Vol. 37, n°3, pp. 153–161.
38. RIBERA J. M., HAUSMANN-MUELA S., D'ALESSANDRO U., & GRIETENS K. P. (2007), Malaria in Pregnancy : What Can the Social Sciences Contribute? *PLoS Medicine*, Vol. 4, n°4, pp. 631-635.
39. SACHS J. D. (2006), Comment lutter avec efficacité contre le paludisme. Project Syndicate, The World's opinion page. <https://www.project-syndicate.org/commentary/getting-practical-in-controlling-malaria> , Consulté le 23-04-2020
40. SAÏDOU H. (2018), *Pauvreté, paludisme et réformes des systèmes de santé en Afrique : Trois études appliquées au Cameroun*, Thèse de doctorat en sciences économiques, Université Paris-Dauphine, Sciences et Lettres, 227 p. +annexes.
41. SAMADOULOUGOU S., MAHEU-GIROUX M., KIRAKOYA-SAMADOULOUGOU F., DE KEUKELEIRE M., CASTRO M. C., & ROBERT

- A. (2014), Multilevel and geo-statistical modeling of malaria risk in children of Burkina Faso, *Parasites & vectors*, Vol. 7, n°350, 13p.
42. SANDIE A. B. (2014), *Les déterminants de l'infection palustre chez les enfants de moins de 5 ans dans la région du nord Cameroun*, Mémoire de Master en Démographie, Université Yaoundé II Soa, IFORD, 99p. +annexes.
43. SOME D. T., & ZERBO R. (2007), Étiologie atypique du paludisme : Perceptions et stratégies locales de prévention dans le département de Gaoua, Burkina Faso, *Médecine tropicale*, Vol. 67, n°1, pp. 43–46.
44. TRAPE J.-F. (2001), Contre : Les limites des moustiquaires imprégnées dans la lutte contre le paludisme en Afrique tropicale, *Bull Soc Pathol Exot*, Vol. 94, n°2, pp. 174–179.
45. ZONGO P. (2009), *Modélisation mathématique de la dynamique de la transmission du paludisme*, Thèse de doctorat en Mathématiques appliquées et calcul scientifique, Université de Ouagadougou (Burkina Faso), 144 p. + annexe.

Effet Larvicide de l'Huile Essentielle d'*Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae) sur *Pectinophora gossypiella* S. et *Thaumatotibia leucotreta* M. (Lepidoptera), Ravageurs Carpophages du Cotonnier au Togo

Nafadjara Abouwaliou Nadio

Université de Kara, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture,
Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées, Togo
Université de Lomé, Ecole Supérieure d'Agronomie, Laboratoire de
Recherche sur les Agroressources et la Santé Environnementale, Togo

Bigala Gmasson

Université de Kara, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture,
Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées, Togo

Essolakina Magnim Bokobana

Université de Kara, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture,
Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées, Togo
Université de Lomé, Ecole Supérieure d'Agronomie, Laboratoire de
Recherche sur les Agroressources et la Santé Environnementale, Togo

Pikassalé Akantetou Kantetou

Institut Togolais de Recherche Agronomique, Lomé, Togo

Wiyao Poutaouli

Laboratoire de Biologie Animale et de Zoologie, Faculté des Sciences,
Université de Lomé, Lomé, Togo

Koffi Koba

Komla Sanda

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

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p181](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p181)

Submitted: 29 July 2023

Accepted: 17 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Nadio N.A., Gmasson B., Bokobana E.M., Kantetou P.A., Poutaouli W., Koba K. & Sanda K. (2023). *Effet Larvicide de l'Huile Essentielle d'Eucalyptus globulus Labill. (Myrtaceae) sur Pectinophora gossypiella S. et Thaumatotibia leucotreta M. (Lepidoptera), Ravageurs Carpophages du Cotonnier au Togo*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 181.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p181>

Résumé

L'usage massif des pesticides chimiques en protection phytosanitaire présente un danger énorme sur la santé publique et sur l'environnement. Il s'impose de trouver des moyens de protection écologique respectueux de l'environnement. Dans cette étude, l'activité insecticide de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* a été évaluée au laboratoire et en milieu réel contre deux ravageurs importants du cotonnier, *Pectinophora gossypiella* et *Thaumatotibia leucotreta*. Les larves de ces ravageurs ont été exposées d'abord à l'effet toxique des différentes concentrations de l'huile essentielle par test de contact et par ingestion au laboratoire. Les taux de mortalité enregistrés ont été comparés aux témoins absolus et de référence. Les résultats ont montré que l'huile essentielle d'*E. globulus* a exercé une activité insecticide importante sur les larves. En effet, l'huile essentielle a entraîné un taux de mortalité de 100 et 99% à la dose 1 μ l/ml respectivement sur *P. gossypiella* et *T. leucotreta* après 24 heures d'exposition au test de contact. Avec le test d'ingestion, les taux de mortalité ont été 36 et 30,78% respectivement sur *P. gossypiella* et *T. leucotreta*. En milieu réel, les résultats des traitements à base des formulations d'huile essentielle d'*E. globulus* en comparaison avec l'insecticide de référence ont montré que les infestations des populations de *P. gossypiella* et *T. leucotreta* ont été plus faibles dans les modalités de traitement à base d'huile essentielle de *E. globulus* à 1 μ l/ml (TE3). L'analyse sanitaire des capsules vertes a montré une réduction du nombre de ravageurs de 6,25 \pm 1,29 *T. leucotreta* par plant dans les parcelles témoins absolus à 3,29 \pm 0,52 dans les parcelles à traitement TE3. Il a été observé également une réduction du nombre de 9,04 \pm 1,38 *P. gossypiella* par plant (témoin absolu) à 4,13 \pm 0,39 (TE3). Les rendements moyens élevés en coton graine ont été de 1933,10 \pm 0,29Kg et 1927,08 \pm 0,12Kg/ha respectivement avec le témoin référence TV et TE3. Il a été faible dans les parcelles témoins absolus avec 1197,92 \pm 0,33Kg/ha. L'extrait d'*E. globulus* possède une activité insecticide potentielle au laboratoire comme au champ.

Mots-clés: Larvicide, cotonnier, *Pectinophora gossypiella*, *Thaumatotibia leucotreta*, huile essentielle, *Eucalyptus globulus*, Togo

Larvicidal Effect of the Essential Oil of *Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae) on *Pectinophora gossypiella* S. and *Thaumatotibia leucotreta* M. (Lepidoptera), Carpophagous Pests of Cotton in Togo

Nafadjara Abouwaliou Nadio

Université de Kara, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture,
Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées, Togo
Université de Lomé, Ecole Supérieure d'Agronomie, Laboratoire de
Recherche sur les Agroressources et la Santé Environnementale, Togo

Bigala Gmasson

Université de Kara, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture,
Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées, Togo

Essolakina Magnim Bokobana

Université de Kara, Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture,
Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées, Togo
Université de Lomé, Ecole Supérieure d'Agronomie, Laboratoire de
Recherche sur les Agroressources et la Santé Environnementale, Togo

Pikassalé Akantetou Kantetou

Institut Togolais de Recherche Agronomique, Lomé, Togo

Wiyao Poutaouli

Laboratoire de Biologie Animale et de Zoologie, Faculté des Sciences,
Université de Lomé, Lomé, Togo

Koffi Koba

Komla Sanda

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

Abstract

The massive use of chemical pesticides in plant protection poses an enormous threat to public health and the environment. We need to find ecological protection methods that respect the environment. In this study, the insecticidal activity of *Eucalyptus globulus* essential oil was evaluated in the laboratory and in the field against two major cotton pests, *Pectinophora gossypiella* and *Thaumatotibia leucotreta*. The larvae of these pests were first exposed to the toxic effect of different concentrations of the essential oil by contact test and by ingestion in the laboratory. The mortality rates recorded were compared with absolute and reference controls. The results showed that the essential oil of *E. globulus* exerted significant insecticidal activity on the larvae. Indeed, the essential oil caused a mortality rate of 100 and 99% at the

dose of 1µl/ml respectively on *P. gossypiella* and *T. leucotreta* after 24 hours of exposure to the contact test. With the ingestion test, the mortality rates were 36 and 30.78% respectively on *P. gossypiella* and *T. leucotreta*. In the real environment, the results of treatments based on formulations of essential oil of *E. globulus* in comparison with the reference insecticide showed that infestations of *P. gossypiella* and *T. leucotreta* populations were lower in treatment modalities based on essential oil of *E. globulus* at 1µl/ml (TE3). Health analysis of the green bolls showed a reduction in the number of pests from 6.25 ± 1.29 *T. leucotreta* per plant in the absolute control plots to 3.29 ± 0.52 in the TE3 treatment plots. There was also a reduction in the number of *P. gossypiella* from 9.04 ± 1.38 per plant (absolute control) to 4.13 ± 0.39 (TE3). High average yields of seed cotton were 1933.10 ± 0.29 Kg and 1927.08 ± 0.12 Kg/ha respectively with the TV and TE3 reference controls. It was low in the absolute control plots with 1197.92 ± 0.33 Kg/ha. *E. globulus* extract has potential insecticidal activity both in the laboratory and in the field.

Keywords: Larvicide, cotton, *Pectinophora gossypiella*, *Thaumatotibia leucotreta*, essential oil, *Eucalyptus globulus*, Togo

Introduction

Le coton occupe une place importante dans la formation du produit intérieur brut (PIB) et le revenu des producteurs (MAEP, 2013). Il a joué un rôle essentiel dans le développement économique de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest et reste encore aujourd'hui une source importante de revenus pour de nombreux exploitants agricoles. Le coton est cultivé depuis plus d'un siècle en Afrique de l'Ouest et cette région compte une industrie textile traditionnelle non négligeable depuis plus de 50 ans (PR-PICA, 2013). Malgré les problèmes économiques auxquels ce secteur est confronté sans cesse, les facteurs écologiques influencent également la productivité cotonnière. En effet, en culture cotonnière, la faune entomologique constitue un des facteurs les plus importants dans les baisses de productivité et de rendement. La maîtrise des arthropodes ravageurs représente donc une opération importante dans la production cotonnière (Matthews, 1989). Au Togo, l'entomofaune nuisible du cotonnier est assez diversifiée et dominée essentiellement par les Lépidoptères carpophages: *Helicoverpa armigera* Hübner (Noctuidae), *Earias spp* (Noctuidae), *Diparopsis watersi* Rothschild (Noctuidae), *Thaumatotibia leucotreta* Meyrick (Tortricidae), *Pectinophora gossypiella* Saunders (Gelechiidae) et phyllophages : *Haritalodes* (Syllepte) *derogata* Fabricius (Crambidae), *Cosmophila flava* Fabricius (Noctuidae), *Spodoptera littoralis* Boisduval (Noctuidae) (Tozoou et al, 2014). Cependant, l'extension géographique de cette culture, son alternance ou son association avec les cultures maraîchères et vivrières et son amélioration génétique ont

pour conséquences, l'évolution de la diversité du faciès parasitaire (Poutouli et Maldès, 2000 ; Poutouli et al., 2011) avec un impact économique de certains ravageurs considérés comme mineurs il y a quelques années. Parmi ces ravageurs, il y a la mouche blanche : *Bemisia tabaci* Gennadius (Aleyrodidae), le puceron : *Aphis gossypii* Glover (Aphididae) et des hétéroptères (punaises) (Akantetou et al., 2014). Ils sont très polyphages (Poutouli, 1992), et mobiles pour passer assez facilement d'une culture à une autre. Plusieurs espèces de Miridae, de Pyrrhocoridae et de Pentatomidae deviennent un facteur entomologique important par rapport à leur densité et aux dégâts qu'ils causent au cotonnier, aux autres plantes cultivées et ceci, à tous les stades de développement. Ce qui entraîne une baisse de la productivité cotonnière dans plusieurs zones de production.

D'après la Direction de la Nouvelle Société Cotonnière du Togo (NSCT), « la campagne cotonnière 2020-2021 a été un coup dur pour le Togo, qui n'a produit que 67 000 tonnes de coton, soit une baisse de 43 % par rapport à l'année précédente (116 000 tonnes) et l'un des facteurs importants de cette baisse est lié aux attaques des ravageurs ». Pour remédier à ce problème depuis des années les pesticides chimiques de synthèse ont été utilisés, et ces derniers ont des conséquences néfastes sur l'environnement, la santé humaine, appauvrissent également les sols et ont un effet néfaste sur les insectes pollinisateurs. Ce qui nous amène à opter pour une approche intégrée qui consiste à l'utilisation des pesticides biologiques dans la lutte contre ces nuisibles de culture comme *Pectinophora gossypiella* et *Thaumatotibia leucotreta* qui représentent des ravageurs carpophages redoutables du cotonnier au Togo. Cette étude vise à évaluer les activités larvicides de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* sur *Pectinophora gossypiella* et *Thaumatotibia leucotreta* au laboratoire et en milieu réel. Spécifiquement, il s'agit d'évaluer au laboratoire les sensibilités de *P. gossypiella* et de *T. leucotreta* à l'huile essentielle d'*E. globulus* et de déterminer au champ l'efficacité biocontrôle des formulations insecticides à base de l'huile essentielle de *E. globulus* sur ces chenilles endocarpiques.

Matériel et Méthodes

Cadre de l'étude

Les travaux de bioessais ont été réalisés au Laboratoire des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées (LaSABA) de l'Institut Supérieur des Métiers de l'Agriculture (ISMA) de l'Université de Kara. Les tests expérimentaux en culture cotonnière ont été réalisés à la Station d'Expérimentation Agronomique de Kabou de coordonnées géographiques 9°27'0" N et 0°49'0" E (Figure 1). Avec un sol de type ferrugineux tropical, la zone Kabou jouit d'un climat sub-sahélien avec une saison pluvieuse (de mai à octobre) et une saison sèche (de novembre à avril). La pluviométrie moyenne

annuelle est de 1180 mm d'eau (Données de la Station météorologique de la région de la Kara).

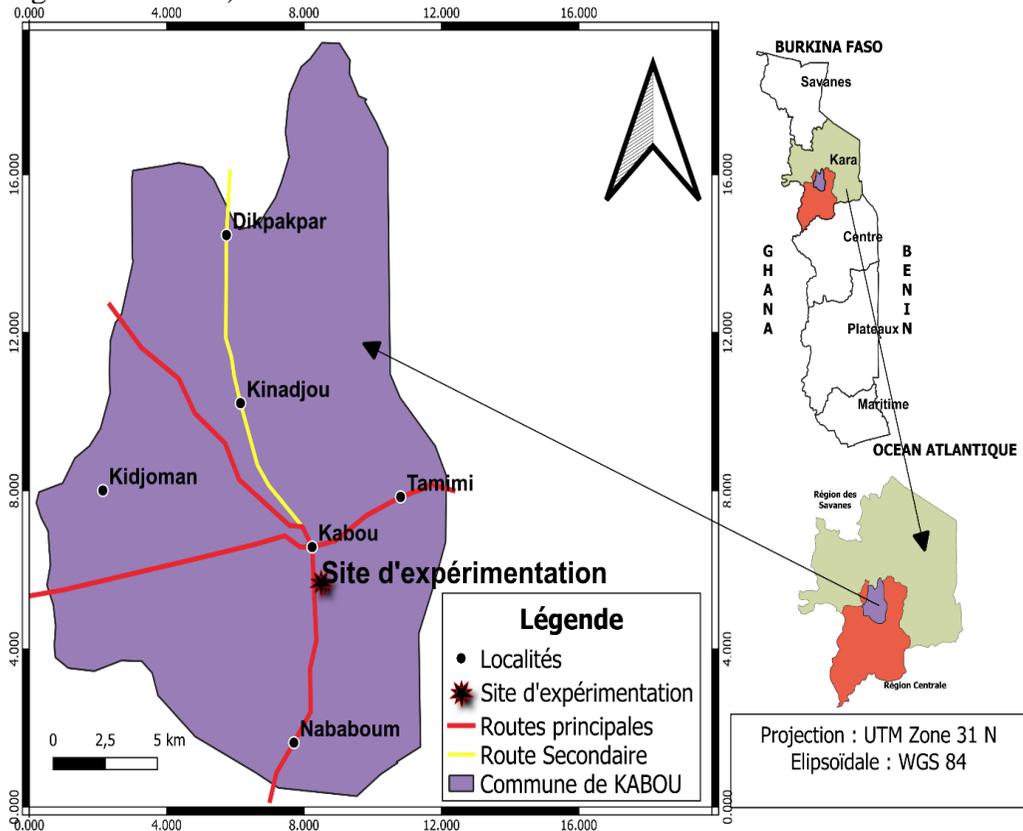


Figure 1. Carte de la zone d'expérimentation Source : Carte originale élaborée

Matériel végétal

Les feuilles fraîches d'*E. globulus* ont été récoltées et utilisées pour l'extraction de leur huile essentielle. Les essais ont été faits sur *Gossypium hirsutum*, variété STAM 190 vulgarisée par les institutions agronomiques en milieu paysan.

Matériel entomologique

Les larves de *P. gossypiella* et de *T. leucotreta* ont été utilisées pour les essais au laboratoire et l'infestation d'une parcelle expérimentale a été faite de manière naturelle sans aucune action humaine. L'élevage en masse des larves de *P. gossypiella* et de *T. leucotreta* a été réalisé. Les masses d'œufs des papillons ont été collectées et maintenues sur leur support naturel (organe du plant). Ces derniers ont été incubés dans les boîtes d'élevage de dimensions 9 cm de diamètre sur 5,5 cm de hauteur. Après éclosion, les larves du premier stade des deux papillons ont été nourries de feuilles fraîches et tendres du

cotonnier. Ces feuilles ont été d'abord lavées à l'eau potable puis laissées sécher avant d'être servies aux larves.

Produits insecticides utilisés

Les traitements phytosanitaires ont été faits avec des formulations à base d'huile essentielle d'*E. globulus* et des insecticides chimiques de synthèse à formulations binaires lambda-cyhalothrin 30g/l + abamectine 28g/l EC et acétamiprid 32g/l + lambda-cyhalothrin 30g/l utilisées à 0,5L par hectare (doses vulgarisées).

Méthodologie

Extraction de l'huile essentielle d'E. globulus

L'huile essentielle d'*E. globulus* utilisée pour le bioessai a été obtenue par la technique d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau de la biomasse séchée à l'ombre pendant 2 semaines.

Tests biologiques

Test de contact

Des tests préliminaires de stabilisation de l'émulsion aqueuse de l'huile essentielle de *E. globulus* ont été réalisés et le mélange ayant présenté une stabilité ou une homogénéité parfaite a constitué la solution mère à partir de laquelle nous avons fait les différentes dilutions pour les tests insecticides. La dose zéro, constituée de l'eau distillée et de l'émulsifiant (savon) sert de témoin absolu et le témoin positif, un insecticide chimique de synthèse, lambda-cyhalothrin 30g/l + abamectine 28g/l EC et acétamiprid 32g/l + lambda-cyhalothrin 30g/l.

L'activité insecticide de ces préparations a été déterminée par la méthode de contact direct entre substance et les insectes traités. A cet effet, une gamme de doses d'émulsions aqueuses des préparations de 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 et 1 $\mu\text{l.ml}^{-1}$ a été établie. Un lot de 20 larves (*P. gossypiella* et de *T. leucotra*) a été placé dans chaque boîte de Pétri en présence d'organes florifères et de morceaux de feuilles de cotonnier mouillés pour les maintenir au frais. A l'aide d'une micro seringue, 40 μl de chaque concentration a été déposé sur chaque larve ; les boîtes ont été aussitôt refermées puis laissées à la température du laboratoire (Température ambiante : 28 °C; humidité relative 80%) pour les différentes observations.

Le comptage des larves mortes a été fait après 24 h d'exposition. Cette opération est répétée cinq (5) fois pour chaque concentration. Les taux moyens de mortalité ont été déterminés et corrigés par la formule d'Abbott (Abbott, 1925).

$$Mc = \frac{(Mo - Mt)}{(100 - Mt)} \times 100$$

Où : **Mc** = mortalité corrigée en % ; **Mt** = mortalité observée dans la boîte témoin ; **Mo** = mortalité observée dans l'essai

Test d'ingestion

Les tests d'ingestion *in vitro* ont été effectués selon la méthode Insecticide Resistance Action Committee (Porter, 2009) adaptée. Les jeunes capsules et feuilles fraîches saines de cotonniers collectées ont été trempées pendant 5 secondes dans les différentes doses d'émulsions aqueuses de l'huile essentielle de *E. globulus* (0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 et 1 μ l.ml⁻¹). Les capsules et feuilles saines de cotonniers trempées ont été séchées à l'air libre 5 à 10 minutes avant de les introduire dans des boîtes contenant vingt (20) larves de *P. gossypiella* ou de *T. leucotra* pendant 24 heures. Les boîtes avec leurs contenus ont été placées dans les conditions de laboratoire (Température ambiante : 28 °C ; humidité relative 80%) pour les différentes observations. Le comptage des larves mortes a été fait également après 24 h d'exposition comme dans le cas des tests de contact. Cette opération est répétée aussi cinq (5) fois pour chaque concentration. Les taux moyens de mortalité ont été également déterminés par la formule d'Abbott (1925).

Test en station expérimentale

Dispositif expérimental

C'est un dispositif en bloc de Fisher à 4 répétitions comportant chacune 5 traitements (objets) : trois (3) traitements (TE1, TE2 et TE3) correspondent à différentes concentrations d'insecticide biologique à base d'huile essentielle d'*E. globulus*; un (1) traitement avec l'insecticide commercial vulgarisé (TV) et le dernier traitement qui constitue le témoin absolu (ST) ne reçoit aucun traitement insecticide. Le traitement TE1 correspond à la concentration faible d'émulsions aqueuses d'*E. globulus* (0,6ml/L), TE2 à la concentration moyenne (0,8ml/L) et TE3 à la forte concentration (1ml/L). L'insecticide commercial est lambdacyhalothrin 30g/l + abamectine 28g/l EC et acétamiprid 32g/l + lambdacyhalothrin 30g/l. Chaque traitement (objet) est composé de 5 lignes de 6 m de long et dont les 3 lignes centrales seules ont été traitées. Une répétition ou une parcelle élémentaire de superficie 24m² a été séparée de sa voisine par une distance de 1,5 m. Les lignes ont été séparées de 0,8m.

Conduite de l'essai

Le nettoyage et le labour sur la parcelle ont été effectués environ 3 semaines avant le semis. Le schéma de semis adopté est celui qui a été

recommandé jusqu'alors en milieu paysan (0,8m x 0,3 m). La dose de semis exécutée a été de 5 graines par poquet. Le démariage a eu lieu trois semaines après le semis pour avoir 2 plants par poquet.

Deux types de fumure minérale ont été apportés : le NPKSB (12-20-18-5-1) et l'Urée (46 % d'azote) aux doses respectives de 150 et 50 kilogrammes à l'hectare. Le premier apport de fumure a lieu au moment du démariage (21^{ème} jour après le semis) et le deuxième au moment du buttage (41^{ème} jour après semis).

Observation et collecte des données

Les observations et collectes des données ont consisté à la récolte hebdomadaire des capsules des lignes centrales de chaque traitement élémentaire pour l'analyse sanitaire des capsules. Cette activité s'est déroulée sur une période de 12 semaines. Deux (2) des 3 lignes centrales traitées de chaque parcelle élémentaire ont été utilisées pour faire l'analyse sanitaire des capsules vertes (ASCV) (Figure 1). Le dénombrement de *P. gossypiella* et de *T. leucotreta* par traitement a été fait au laboratoire après analyse sanitaire de ces organes fructifères récoltés.

La récolte a été faite sur la 3^{ème} ligne centrale restante de chaque parcelle élémentaire traitée. Le coton-graine a été regroupé par objet à la fin des récoltes puis pesé. Ces échantillons de coton issus des capsules mures à la récolte ont été répartis en coton blanc et en coton jaune. Ces différents échantillons ont été pesés et le pourcentage moyen du coton jaune (indice de jaune) a été évalué.



Figure 1. Analyse sanitaire des capsules vertes (Source : Photos originales des travaux)

Traitement des données

L'analyse statistique des moyennes des taux de mortalité, du nombre moyen de *P. gossypiella* et de *T. leucotreta* et des capsules vertes a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA 6.0. Les rendements à l'hectare et l'indice de jaune ont été calculés et comparés statistiquement au niveau de chaque essai. Le test de Duncan au seuil de 5 % a permis de discriminer les groupes homogènes de moyennes des différentes données.

Résultats

Sensibilité de P. gossypiella et de T. leucotreta à l'huile essentielle d'E. globulus

Test de contact

Les taux moyens de mortalités cumulés et corrigés des insectes en fonction de la concentration des substances testées sont présentés dans le tableau 1. Il apparaît dans tous les cas de figure, une augmentation de ces taux moyens. La toxicité des solutions a augmenté avec l'élévation de la concentration, il s'agit d'un effet dose-réponse. Par contact, le taux moyen de mortalité de *P. gossypiella* a évolué de 0% (témoin absolu) à 100% ($1\mu\text{L}\cdot\text{ml}^{-1}$) avec l'huile essentielle et l'insecticide de synthèse.

L'analyse de la variance (ANOVA) a montré une différence significative en fonction des différentes concentrations des produits testés au seuil de 5 % selon le test de Duncan ($p=0,00002$). En revanche pour les concentrations de 0,8 et $1\mu\text{l}\cdot\text{ml}^{-1}$ de l'huile essentielle et l'insecticide vulgarisé, il n'y a pas eu de différence significative entre leur taux de mortalité sur *P. gossypiella*.

Les taux moyens de mortalité de *T. leucotreta* ont varié en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle et de l'insecticide vulgarisé testés. Après l'analyse de ces résultats, l'ANOVA a montré une différence significative en fonction des différentes concentrations des produits testés au seuil de 5 % selon le test de Duncan ($p=0,00000014$). A $1\mu\text{l}\cdot\text{ml}^{-1}$, il n'y a pas de différence significative entre les taux de mortalité de l'huile essentielle d'eucalyptus et de l'insecticide de synthèse (IS) et également aux concentrations de 0 et $0,2\mu\text{l}\cdot\text{ml}^{-1}$ de l'huile essentielle.

L'huile essentielle d'*E. globulus* a entraîné une augmentation significative de la mortalité des ravageurs. On a remarqué qu'à une même concentration de l'huile essentielle, le taux moyen de mortalité a été plus élevé sur *P. gossypiella* que sur *T. leucotreta*. En effet, la concentration de $0,2\mu\text{l}\cdot\text{ml}^{-1}$ a induit un taux moyen de mortalité de 16,31 % et 9,15% respectivement sur *P. gossypiella* et *T. leucotreta* (Tableau 1) après 24h d'exposition. On peut déduire que *P. gossypiella* a été plus sensible à l'extrait aqueux d'*E. globulus* que *T. leucotreta*.

Tableau 1. Taux moyen de mortalité de *P. gossypiella* et de *T. leucotreta* après le test de contact

Concentrations des produits $\mu\text{L.mL}^{-1}$	Taux de mortalité (%)	
	<i>T. leucotreta</i>	<i>P. gossypiella</i>
0	0,00 ± 0,00 a	0,00±0,00 a
0,2	9,15 ± 4,15 a	16,31±4,27 b
0,4	48,84 ±8,99 b	50,36±5,00 c
0,6	61,15 ±9,45 c	73,78±7,00 d
0,8	84,52 ± 5,00 d	93,94±8,20 e
1	99 ± 2,23e	100±0,00 e
IS	99 ± 2,23e	100±0,00 e

A l'intérieur d'une même colonne, les moyennes affectées d'une même lettre ne diffèrent pas statistiquement entre elles (test de Duncan, $p \leq 0,05$)

Test d'ingestion

L'analyse des résultats montre que la mortalité des larves des deux ravageurs a augmenté avec la concentration en huile essentielle (Tableau 2). Il ressort de l'ensemble des résultats que l'huile essentielle d'*E. globulus* a induit un pourcentage moyen de mortalité allant de 4,05 à 30,78% sur *T. leucotreta* contre 9 à 36% sur *P. gossypiella* pendant 24h d'exposition respectivement à $0,2\mu\text{L.mL}^{-1}$ et à $1\mu\text{L.mL}^{-1}$. Avec l'insecticide de synthèse, les taux moyens de mortalité ont été de 32,84% et 38% respectivement sur *T. leucotreta* et sur *P. gossypiella*.

La comparaison des taux moyens de mortalités des ravageurs a montré que l'huile essentielle a augmenté de façon significative la mortalité des insectes par rapport au témoin absolu. Pour toutes les concentrations d'huile essentielle utilisées, le taux moyen de mortalité a été plus élevé dans le cas de *P. gossypiella* que dans celui de *T. leucotreta* (Tableau 2). Donc *P. gossypiella* a été plus sensible également à l'huile essentielle au test d'ingestion.

Tableau 2. Taux moyen de mortalité de *P. gossypiella* et de *T. leucotreta* après le test d'ingestion

Concentrations des produits $\mu\text{L.mL}^{-1}$	Taux de mortalité (%)	
	<i>T. leucotreta</i>	<i>P. gossypiella</i>
0	0 a	0 a
0,2	4,05 ab	9 ab
0,4	10,26 b	20 bc
0,6	18,524 c	23 bc
0,8	24,52 cd	31 c
1	30,78 d	36 c
IS	32,84 d	38 c

A l'intérieur d'une même colonne, les moyennes affectées d'une même lettre ne diffèrent pas statistiquement entre elles (test de Duncan, $p \leq 0,05\%$) ($p=0,00085$ avec *P. gossypiella* et $P=0,00064$ avec *T. leucotreta*).

Test de biocontrôle des formulations insecticides à base de l'huile essentielle d'E. globulus en station expérimentale

Les résultats ont montré que le nombre moyen de *P. gossypiella* et *T. leucotreta* par plant varie en fonction des différents traitements (Tableau 3). Avec les traitements ST, TE1, TE2, TE3, et TV, le nombre moyen de chenilles a été respectivement 9,04 ; 7,54 ; 6,63 ; 4,13 et 3,08 chenilles/plant pour *T. leucotreta*. Les traitements qui ont permis d'obtenir un nombre moyen faible de *T. leucotreta* ont été TE3 (4,13 chenilles/plant) et TV (3,08 chenilles/plant). Avec *P. gossypiella*, le nombre moyen de chenilles par plant en fonction des différents traitements a été de 6,25 ; 5,67 ; 6,63 ; 3,29 et 2,71 chenilles/plant respectivement avec ST, TE1, TE2, TE3 et TV. Egalement les traitements TE3 et TV ont réduit le nombre de *P. gossypiella* sur les plants.

A chaque dose d'huile essentielle d'eucalyptus traité, le nombre moyen de ravageur obtenu a été plus faible avec *P. gossypiella* qu'avec *T. leucotreta*. Statistiquement sur les deux ravageurs, le traitement TE3 a démontré un potentiel insecticide identique que TV. Ils ont permis d'avoir un nombre moyen faible de chenilles par plant dans toutes les parcelles élémentaires.

Tableau 3. Nombre moyen de *P. gossypiella* et *T. leucotreta* par plant en fonction des traitements

Traitements	Nombre moyen d'insectes par plant	
	<i>T. leucotreta</i>	<i>P. gossypiella</i>
ST	9,04±1,38a	6,25±1,29a
TE1	7,54±0,88b	5,67±0,65a
TE2	6,63±0,21b	6,63±0,21a
TE3	4,13±0,39c	3,29±0,52b
TV	3,08±0,56c	2,71±0,81b

A l'intérieur d'une même colonne, les moyennes affectées d'une même lettre ne diffèrent pas statistiquement entre elles (test de Duncan, $p \leq 0,05$)

Analyse sanitaire des capsules vertes

Les pourcentages moyens des capsules vertes saines et des capsules percées en fonction des différents traitements ont été présentés dans la figure 2. Les pourcentages moyens des capsules saines ont été faibles dans les parcelles du témoin absolu (2,5%) et ont augmenté en fonction de la concentration dans les parcelles à traitements de formulations d'huile essentielle. En effet, ce pourcentage moyen a été de 19,5 ; 32 et 46 % respectivement avec TE1 ; TE2 et TE3. Dans le cas de TV, ce pourcentage moyen de capsules saines a été élevé (49,5%). L'analyse de ces résultats par ANOVA a montré une différence significative entre les différents traitements utilisés. Par contre les effets des traitements TE3 et TV ont été statistiquement similaires. Le pourcentage moyen des capsules percées a été élevé dans le témoin absolu (71,9%). Avec les traitements TE3 à l'essence d'*E. globulus*, ce pourcentage moyen a diminué (23%). Dans le traitement TV, ce

pourcentage moyen de capsules percées a été faible (19,5%) et statistiquement similaire à celui de TE3 (23%) (Figure 2).

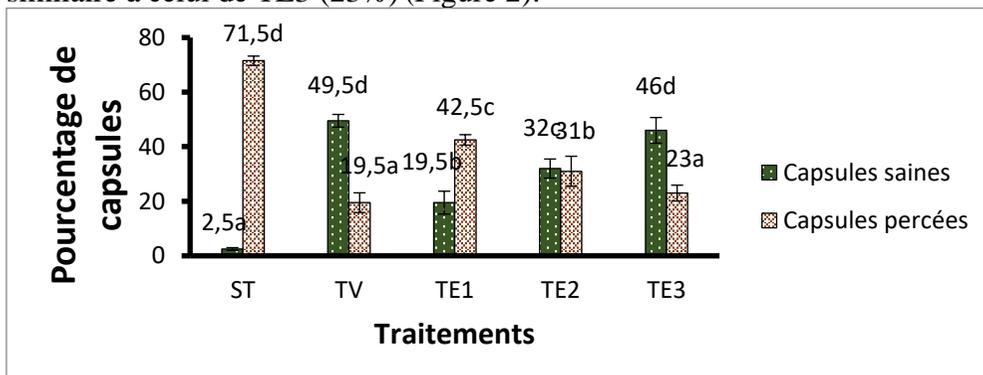


Figure 2. Pourcentages moyens des capsules saines et des capsules percées en fonction des différents traitements

Les histogrammes portant une lettre commune ne sont pas significativement différents selon le test de Duncan au seuil de 5% à l'intérieur de chaque type de données (capsules saines et des capsules percées)

Rendement moyen en coton-graine et indice de jaune

Les rendements moyens en coton-graine et le pourcentage moyen du coton jaune (indice de jaune) sont présentés dans le tableau 4. Les rendements moyens en coton graine obtenus dans les différentes parcelles ont varié en fonction des divers traitements. Avec les traitements à base des émulsions à l'huile essentielle, l'augmentation de la dose a amélioré le rendement moyen en coton graine. En effet, avec les traitements TE1, TE2, TE3 les rendements moyens ont été respectivement de 1427,08 ; 1864,58 et 1927,08 Kg par hectare tandis qu'il a été de 1197,92 Kg/ha avec le témoin absolu. Le rendement du témoin de référence (1933,10 Kg/ha) a été statistiquement identique à celui du traitement à la dose élevée TE3 de la formulation aqueuse d'*E. globulus*. Les pourcentages de coton jaune dans les parcelles traitées au biopesticide à base d'*E. globulus* ont été faibles par rapport au pourcentage du témoin absolu ST (Tableau 4). Au niveau du témoin de référence cet indice jaune reste également faible (2,7%) et sans différence significative avec celui de TE3 (3,24%).

Tableau 4. Rendement moyen en coton graine et indice de jaune

Traitement	Rendement (en Kg/ha)	Indice de jaune (en %)
ST	1197,92±0,33a	8,03 d
TV	1933,10±0,29cd	2,70 a
TE1	1427,08±0,15b	6,09 bc
TE2	1864,58±0,46c	4,47 b
TE3	1927,08±0,12cd	3,24 a

A l'intérieur d'une même colonne, les moyennes affectées d'une même lettre ne diffèrent pas statistiquement entre elles.

Discussion

L'activité insecticide de l'huile essentielle d'*E. globulus* a été évaluée à travers les taux moyens de mortalités de *P. gossypiella* et *T. leucotreta*. L'huile essentielle à des concentrations de 0,8 et 1µl.ml⁻¹ a eu des effets similaires que l'insecticide de synthèse. Les résultats de l'analyse de variance ont indiqué que la mortalité de *P. gossypiella* et *T. leucotreta* a été significativement dépendante de la concentration ($p=0,00002$). En effet, l'évolution de la mortalité des larves des insectes a été faite suivant l'augmentation de la concentration de l'huile essentielle. Ainsi, après 24 heures d'exposition des larves au test de contact à la concentration de 0,4µl.ml⁻¹, une mortalité moyenne d'environ 50% a été obtenue sur *P. gossypiella* et sur *T. leucotreta*. Par contre au test d'ingestion, tous les taux moyens de mortalité induisent par les concentrations n'ont pas atteint les 50% de mortalité sur *P. gossypiella* et *T. leucotreta*. Le potentiel insecticide de l'huile essentielle d'*E. globulus* a été plus élevé avec le test de contact. Ces faibles taux de mortalité remarqué au niveau du test d'ingestion pourraient s'expliquer par le refus de certaines larves de se nourrir et le stress de changement de milieu de vie. Au test de terrain en station expérimentale, la densité des populations de *P. gossypiella* et *T. leucotreta* dans les capsules des cotonniers a été réduit par tous les traitements des formulations d'émulsions aqueuses de l'huile essentielle d'*E. globulus* et de l'insecticide de synthèse permettant ainsi, l'augmentation du rendement en coton-graine dans toutes les parcelles traitées (TE1=1427,08Kg/ha; TE2=1864,58Kg/ha; TE3=1927,08Kg/ha et TV=1933,10Kg/ha par à rapport au témoin absolu ST =1197,92Kg/ha). La réduction des attaques sur les capsules par plant est compensée par la diminution du nombre de chute de ces capsules, si bien que les rendements et la qualité (réductions des indices jaunes) du coton graine ont été améliorés.

L'activité insecticide de l'huile essentielle d'*E. globulus* a été démontré par plusieurs études comme les travaux de Taleb-Toudert (2015) où l'essence d'*E. globulus* a induit 100% de mortalité sur les adultes de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera), après 96 heures d'exposition à la dose de 4µl /l. Cette toxicité de l'huile essentielle a été révélée également par les travaux de Bokobana et al. (2022) sur *Sitophilus zeamais* et *Tribolium. castaneum* après 24 heures d'exposition. Les résultats sont en accord avec ceux des travaux de Aiboud (2011) qui ont indiqué le potentiel insecticide des huiles essentielles de Myrte, Eucalyptus, Origan et clous de girofle sur *C. maculatus*. Selon ces travaux un taux de mortalité de 100% a été obtenu chez les jeunes larves de 12 jours exposés à ces huiles à la dose de 0,4µl/L et les larves de plus de 18 jours résistent mieux aux traitements que les larves de 12 jours. De plus, les travaux de Taib (2015) sur l'huile essentielle d'*E. globulus* et de *Rosmarinus officinalis* contre la bruche du haricot, *Acanthoscelides*

obtectus Say (Coleoptera, Bruchidae) ont indiqué le pouvoir insecticide de ces deux plantes. En effet, l'ingestion de ces huiles essentielles a entraîné une mortalité de 100% à la dose de 8 μ L après 12 heures d'exposition. Les mêmes travaux ont montré que ces huiles ont aussi une activité répulsive sur les adultes d'*A. obtectus* avec un taux de 99% à l'*Eucalyptus* et un taux de 77% à l'huile de romarin. L'étude sur l'efficacité de l'huile essentielle d'eucalyptus réalisée par Tunc et al. (2000) a montré que l'huile essentielle a provoqué une mortalité de 18% sur *Tribolium confusum* après 96 heures d'exposition. Il en est de même avec les travaux de Benazzeddine (2010) qui ont démontré que cette huile essentielle a exercé une mortalité de 72,63% sur *T. confusum*. Les travaux de Russo et al., (2018) ont montré que l'huile essentielle d'*E. globulus* a été plus toxique sur *Gynaikothrips ficorum* M. (CL₅₀= 0,031 μ L) et *Aphis nerii* B. (CL₅₀= 0,099 μ L) sur des disques filtrants après 12 heures d'exposition. D'autres travaux comme ceux de Boukeroui (2020) ont montré que l'huile essentielle d'*E. globulus* a des effets insecticides sur le xylophage de cèdre de l'Atlas (*Scolytus numidicus* Bris) qui est un insecte de forêt. L'effet insecticide d'*E. globulus* et de *Globularia alypum* par contact a été également révélé dans les travaux de Abid (2019) sur *Tribolum castaneum*. Selon cet auteur une mortalité de 22 ; 30 ; 51 et 67 % des adultes a été obtenue après 24 heures d'exposition à l'HE d'*E. globulus* par contact respectivement aux doses de 2, 4, 8 et 16 μ L. Cette toxicité à ces doses a démontré une efficacité insecticide de l'huile essentielle d'*E. globulus*.

Bittner et al. (2008) ont testé l'efficacité des huiles essentielles de cinq plantes aromatiques sur les *Acanthoscelides obtectus* et *Sitophilus zeamais*. Les résultats issus de ces travaux ont prouvé que l'huile extraite d'*E. globulus* et de *Thymus vulgaris* (Lamiacées) ont été toxiques sur *S. zeamais*. Ghenaiet et Aouidet (2016) ont réalisé des tests de toxicité appliqués sur les adultes de *Rhyzopertha dominica* avec des différentes concentrations d'*E. globulus* 25, 50, 75, 100 et 125 μ L. Après 24 heures d'exposition, ils ont obtenu une mortalité de 41% jusqu'à 100% avec une relation dose-réponse, donc un pouvoir insecticide puissant avec une concentration létale CL₅₀ qui est de 33,39 μ L. Les résultats des travaux obtenus corroborent également avec ceux de Kumar et al. (2012). En effet ces auteurs ont mis des larves et des pupes des mouches domestiques en présence de l'huile essentielle d'*E. globulus* et ils ont constaté que la mortalité des larves et pupes a augmenté en fonction de la concentration.

D'autres chercheurs ont effectué des tests de toxicité avec des composés isolés à partir des huiles essentielles d'*E. globulus* sur les œufs, larves et adultes d'insectes. Yang et al. (2004) ont prouvé une activité ovicide et aldulticide des terpénoides contre *Pediculus humanus capitis* (Anoplura, Peticulidae). Ces résultats ont été prouvés par les travaux de Regnault-Roger (1997) signalant que plusieurs monoterpénoides sont aphicides, utiles contre

Rhopalosipum padi (Homoptera, Aphicidae). Les travaux de Koziol (2015) indiquant que la présence de 1,8-cinéole dans l'huile essentielle d'*E. globulus* va lui conférer des propriétés mucolytique, antibactérienne, répulsives et insecticides. Ainsi on peut en déduire que les activités larviques observées dans nos travaux pourraient être dues aux molécules bioactives de plusieurs monoterpénoides. Les résultats de nos travaux de recherches sur les propriétés insecticides de l'huile essentielle d'*E. globulus* sont confirmés par plusieurs études et cela constitue un pas de plus dans la lutte phytosanitaire durable contre les ravageurs de cultures.

Conclusion

L'utilisation non rationnelle des pesticides chimiques de synthèse dans la protection phytosanitaire du cotonnier au Togo constitue une menace pour l'environnement et le système de production agricole. En effet une fois libérées dans la nature, ces molécules chimiques de synthèse ont un impact négatif sur la santé de l'utilisateur et des consommateurs, sur la biodiversité du sol et constituent une menace pour les auxiliaires. Cette étude réalisée au laboratoire et en milieu réel contre deux ravageurs carpophages majeurs du cotonnier a montré que l'huile essentielle d'*E. globulus* possède une potentielle activité insecticide permettant une augmentation du rendement en coton graine.

Au test de contact et d'ingestion, les fortes concentrations de l'huile essentielle d'*E. globulus* ont induit de forts taux moyens de mortalité similaires à ceux de l'insecticide de synthèse vulgarisé. Au champ expérimental, comparativement aux nombres de chenilles par plant dans les témoins absolus ($9,04 \pm 1,38$ de *T. leucotreta* et $6,25 \pm 1,29$ de *P. gossypiella*), le traitement TE3 a permis de réduire la présence de ces ravageurs sur les cotonniers absolus ($4,13 \pm 0,39$ de *T. leucotreta* et $3,29 \pm 0,52$ de *P. gossypiella*) et donc de diminuer les dégâts sur les plants de cotonniers. La réduction du nombre moyen de ravageurs par plant a été compensée par la diminution du nombre moyen des capsules trouées, si bien que les rendements moyens ont été améliorés avec des indices jaunes faibles. Les résultats obtenus dans la présente étude pourraient contribuer à l'amélioration quantitative et qualitative de la production du coton. Au vu de ces résultats, cette huile essentielle peut être utilisée dans des formulations phytosanitaires contre les ravageurs en culture cotonnière dans une optique de protection durable de culture.

Conflits d'intérêt : Nous, auteurs, déclarons que nous n'avons pas de conflit d'intérêt.

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

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

Paternité : Nafadjara Abouwaliou NADIO, Bigala GMASSON, Essolakina Magnim BOKOBANA, Pikassalé AKANTETOU, Wiyao POUTOULI, Koffi KOBA, Komla SANDA ont contribué à part égale aux travaux et à la rédaction de cette publication.

References:

1. Abbott, W. S. (1925). A method for computing the effectiveness of an insecticide Journal. Ecological Entomology. 18: 265-267.
2. Abid, S. (2019). Effet insecticide des huiles essentielles de *Eucalyptus globulus* L. et *Globularia alypum* L. sur *Tribolium castaneum* Herbst. Département des Sciences Agronomiques. Université Akli Mouhand Oulhadj Bouira. Algérien ; 97p
3. Aiboud, K. (2011). Etude de l'efficacité de quelques huiles essentielles à l'égard de la bruche de niébé *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae) et impacts des traitements sur la germination des graines de *Vigna unguiculata*, Mémoire de Magister en sciences ecologie. U.M.M.T.O.58p.
4. Akantetou, K. P., Zovodu, K. K., Gnofam, N., Ayeva, B., Kpemoua, K. E. & Lombo, Y. (2014). Préparation Du Sol, Semis Et Apport D'engrais En Culture Cotonnière Au Togo. Fiche technique. ITRA, 6p
5. Benazzeddine, S. (2010). Activité insecticide de cinq huiles essentielles vis-à-vis de *Sitophilus oryzae* (Coleoptera ; Curculionidae) et *Tribolium confusum* (Coleoptera ; Tenebrionidae). Thèse de Magister. Université d'Algérie. 88p
6. Bittner, M., Casanueva, M. E., Arbert, C., Aguilera, M., Hernandez, V., & Becerra, J. (2008). Effects of essential oils from five plants species against the Références bibliographiques 35 granary weevil *Sitophilus zeamais* and *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera). Journal of the Chilean Chemical Society 53:1455-1459.
7. Bokobana, E. M., Nadio, N. A., Eloho, K., Akantétou, P., Tozoou, P., Koba, K. & Sanda, K. (2022) : Insecticidal activity of the essential oil of *Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae) on *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae) and *Tribolium castaneum* Herbst, corn pests in storage. International Journal of Green and Herbal Chemistry. Vol.11, No.2, 193-200

8. Boukeroui, N. (2020). Etude de l'activité insecticide d'*Eucalyptus globulus* sur le xylophage de cèdre de l'Atlas *S.colyptus numidicus* Bris. Mémoire académique. Université de Blida. 98p
9. Ghenaiet, I. & Aouidet, S. (2016). Etude de l'impact des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* sur *Rhyzopertha dominica*: Aspect toxicologique et bio marqueur. Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie .Université de Larbi Tébessi. Tébessa. Algérie.
10. Koziol, N. (2015). Huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus*, d'*Eucalyptus radiata* et de *Corymbia citriodora* : qualité, efficacité et toxicité. Sciences pharmaceutiques. hal-01733789
11. Kumar, P., Mishra, S., Malik, A., & Satya, S. (2012). Compositional Analysis And Insecticidal Activity Of *Eucalyptus globulus* (Family:Myrtaceae) Essential Oil Against Housefly (*Musca Domestica*). Acta Tropica. Vol. 122, N° 2, Pp. 212-218
12. MAEP, (2013). (Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche). Document d'orientation stratégique de la filière coton au Togo, 60p.
13. Matthews, G. A, (1989). Cotton insect pests and their management. Longman Scientific and Technical, New York (USA), 199p
14. Porter, A. 2009. IRAC Susceptibility Test Methods Series – Method No: 007. Version: 3.http://www.irac-online.org/content/uploads/Method_007_v3_june09.pdf
15. Poutouli, W. & Maldès, J. M. (2000). Quelques hétéroptères phytophages et prédateurs associés à la succession des cultures de maïs, cotonnier et niébé au Togo. J.Rech. Sci. Univ. Benin (Togo) 4(1) : 52-58.
16. Poutouli, W., Silvie, P., & Aberlenc, H. P. (2011). Hétéroptères phytophages et prédateurs d'Afrique de l'Ouest (p. 80). Éditions Quae.
17. Poutouli, W. (1992). Plantes hôtes secondaires des Hétéroptères recensés sur coton, maïs, niébé au Togo. Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent., 57(3a) : 627-636.
18. PR-PICA, (Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique), (2013). Rapport synthèse des activités de recherche du Programme Régional de Protection Intégrée du Cotonnier en Afrique 2007-2012, 49p.
19. Regnault-Roger, C. & Hamraoui, A. (1997). Comparaison des activités insecticides des monoterpènes sur deux espèces d'insectes ravageurs des cultures : *Ceratitis capitata* et *Rhopalosiphum padi* Acta Botanica Gallica : 4, 413-417

20. Russo, S., Grass, M. Y., Fontana, H. C. & Leonelli, E. (2018). Activité insecticide de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* contre *Aphis nerii* (Broyer) et *Gynaikothrips ficorum* (Marchal)
21. Taib, H. (2015) Etude de l'activité insecticide des huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* L. et de *Rosmarinus officinalis* L. à l'égard de la bruche du haricot *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera, Bruchidae). Thesis de Université Mouloud Mammeri. 86p
22. Taleb-Toudert, K. (2015). Extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatiques provenant de la région de Kabylie (Nord Algérien). Evaluation de leur effet sur la bruche de niébé *Callosobruchus maculatus* (Coléoptéra : Bruchidae). Thèse de Doctorat d'Etat en Science Biologique. U. M.M.T.O. 160p.
23. Tozou, P., Poutouli, W., Akantetou, P. K., Ayeva, B., Nadio, N. A., Bokobana, M. E., & Sanda, K. (2014). Evaluation des dégâts des punaises (Heteroptera) sur les capsules vertes de cotonnier en fonction des traitements chimiques au Togo. Science de la vie, de la terre et agronomie REV. CAMES 2 (2) : 28-34.
24. Tunc, I., Berger, B. M., Erler, F. & Dagli, F. (2000). Ovicidal activity of essential oils from five plants against two stored-product insects, Journal Stored Products Research N° 36, pp 161-168
25. Yang, Y. C., Choi, H. Y., Choi, W., Clark, J. M. & Ahn, Y. J. (2004). Ovicidal and adulticidal activity of *Eucalyptus globulus* leaf oil terpenoids against *Pediculus humanus capitis* (Anoplura: Pediculidae). Journal of Agriculture and Food Chemistry, 52, 2507-2511.



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Dynamique du Littoral de Vridi-Port-Bouët (Abidjan, Côte d'Ivoire) : Caractérisation Géomorphologique et Sédimentologique

Mamadou Toure

UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières
Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire

Aby Atsé Mathurin Saimon

Centre de Recherches Océanologiques (CRO), Côte d'Ivoire

Yao Alexis N'Guessan

UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières
Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p200](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p200)

Submitted: 16 August 2023

Accepted: 17 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Toure M., Mathurin Saimon A.A. & Y.A. N'Guessan (2023). *Dynamique du Littoral de Vridi-Port-Bouët (Abidjan, Côte d'Ivoire) : Caractérisation Géomorphologique et Sédimentologique*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 200.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p200>

Résumé

Cette étude porte sur la caractérisation géomorphologique et sédimentologique du secteur littoral de Vridi-Port-Bouët pour une révision des connaissances acquises en vue d'une meilleure compréhension des réponses morphologiques dans un contexte mondial de changement climatique sur un domaine littoral fortement dynamique. Pour ce faire, trois campagnes bimestrielles de levés topographiques de 7 profils cross shore de plage ont été réalisées à l'aide d'un niveau de chantier. Des sédiments ont été prélevés sur 4 profils à différents niveaux de l'estran (haut, mi et bas estran) dans le but de déterminer la granulométrie et la morphoscopie des grains de sables le long de ce secteur de côte. La vitesse du courant de dérive et le volume de sédiments transportés ont été déterminés à partir de la formule de Kaczmarek et al. (2005). De façon générale, l'ensemble des profils réalisés montre que certaines zones sont en érosion et d'autres plus ou moins stables. En effet, les profils C1, C2 et C7 présentent une instabilité du trait de côte avec une érosion

significative de l'estran. Le secteur de plage au niveau du profil C6 est relativement stable.

Les sables sont très grossiers à grossiers et modérément à bien classés. Le skewness indique une symétrie granulométrique de l'échantillon pour les échantillons prélevés sur les sites 1 et 3. Sur le site 2, on a une symétrie vers les éléments fin. Les échantillons du site 4 présentent une asymétrie vers les éléments grossiers. Les grains de quartz évoluent de sub-anguleux non usés à arrondis et émoussés en passant du canal de Vridi au phare de Port-Bouët. On en déduit que la taille des grains diminue dans le sens de la dérive littorale. La vitesse du courant induit par la dérive littorale est évaluée à 0,65 m/s. Cela entraîne un transport sédimentaire latéral de 0,02305 m³/s.

Mots-clés: Littoral, Géomorphologie, Sédimentologie, Dérive littorale, Transport sédimentaire

Dynamics of the Vridi-Port-Bouët Coastline (Abidjan, Côte d'Ivoire): Geomorphological and Sedimentological Characterization

Mamadou Toure

UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières
Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire

Aby Atsé Mathurin Saimon

Centre de Recherches Océanologiques (CRO), Côte d'Ivoire

Yao Alexis N'Guessan

UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières
Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire

Abstract

This study covers the geomorphological and sedimentological characterization of the coastal area of Vridi-Port-Bouët to revise the knowledge acquired with a view to a better understanding of morphological responses in a global context of climate change in a highly dynamic coastal zone. To this extent, three bimonthly topographic surveys of 7 cross-shore beach profiles were carried out using a construction level. Sediments were collected from 4 profiles at different levels of the foreshore (high, mid, and low foreshore) in order to determine granulometry and morphoscopy of sand grains along this stretch of coastline. The speed of the drift current and the volume of sediment transported were determined using the formula of Kaczmarek et al. (2005). Generally speaking, all the profiles produced show

that some areas are eroding when others are more or less stable. Profiles C1, C2, and C7 show an unstable coastline, with significant erosion of the foreshore. The beach area on profile C6 is relatively stable. The sands are very coarse to coarse in size and moderately to well-graded. Skewness indicates particle size symmetry for samples taken at sites 1 and 3. On site 2, there is a symmetry towards fine elements. Samples from site 4 show asymmetry towards coarse elements. Quartz grains move from being sub-angular and unworn to rounded and blunt as they move from the Vridi canal to the Port-Bouët lighthouse. This suggests that grain size decreases in the direction of longshore drift. The current velocity induced is estimated at 0.65 m/s. This results in lateral sediment transport of 0.02305 m³/s.

Keywords: Coastline, Geomorphology, Sedimentology, Longshore drift, Sediment transport

Introduction

Le littoral ivoirien se caractérise aussi bien par la biodiversité unique de ses milieux naturels (lagune, mangrove, forêt dense humide ou marécageuses, falaises, etc.) que par l'ampleur et l'intensité des pressions humaines qui s'y exercent. A l'image de ce qui se passe à l'échelle du monde depuis plusieurs décennies, son évolution est marquée par des déséquilibres de plus en plus nombreux et des dégradations de plus en plus évidentes. Le périmètre littoral entre le canal de Vridi et le phare de Port-Bouët (**Figure 1**), situé au sud d'Abidjan, reflète bien cette évolution. Sur ce périmètre, plusieurs aménagements (canal de Vridi, hôtels, installations industrialo-portuaires) et des bidonvilles contribuent à la modification du paysage et la dynamique sédimentaire avec son corollaire de modification du trait de côte. En outre, ce secteur subit l'effet périodique de tempêtes et houles exceptionnelles dont la dernière, en date de juillet 2018, a entaillé la côte d'un talus d'érosion de plus de 4 m et un recul drastique du trait de côte de -2,9 m en une marée nocturne (Saimon, 2019).

Le littoral de Port-Bouët demeure dans l'unité morphologique du littoral ivoirien, l'un des littoraux en proie à une érosion de son trait de côte et de son estran (Abé, 2005 ; Koffi, 2017 ; Saimon, 2017). Le contexte de changement climatique global, par sa transcription dans la recrudescence des événements de tempête sur un littoral adossé à une multitude d'activités industrialo portuaires qui s'opèrent en amont constitue un caractère exacerbant dans la réponse morphologique naturelle de ce secteur littoral. Le littoral de Vridi Port-Bouët nécessite donc un suivi et une actualisation permanente de ces connaissances morpho-sédimentaires. La présente étude, qui a été initiée dans ce sens, contribue à la caractérisation morpho-sédimentaire de ce secteur littoral. Pour se faire, elle se propose de :

- reconstituer la morphologie de la plage à partir de levés topographiques ;
- faire la granulométrie et la morphoscopie des sables prélevés ;
- déterminer la vitesse du courant de dérive et le volume de sédiments transportés.

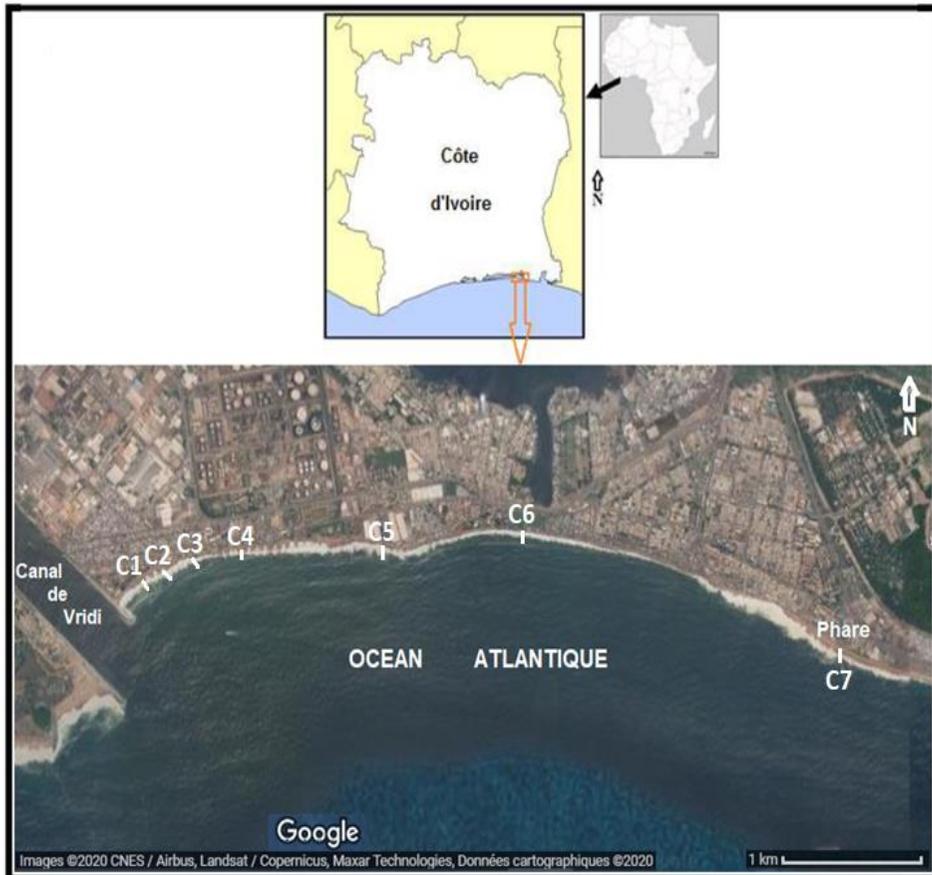


Figure 1. Présentation de la zone d'étude et localisation des profils cross shore sur l'image Google Earth (date de l'image : 05/04/2020)

Présentation de la zone d'étude

Le littoral de Vridi Port-Bouët, située entre le système lagunaire Ebrié et l'océan Atlantique, présente une côte basse sableuse dont l'essentiel du relief est situé pratiquement au niveau de la mer (Touré et *al.*, 2012). Ce secteur du littoral, séparant la mer du système lagunaire, présente un cadre géophysique complexe et est d'âge Holocène (Tastet, 1979). Les caractéristiques morphologiques (**Figure 2**) de ce secteur littoral tiennent d'une part au changement de direction du trait de côte qui passe de la direction W-WSW à la direction E-ESE, et d'autre part à l'existence d'un canyon sous-

marin profond dit du "Trou-Sans-Fond". Concernant les paramètres océaniques, ce sont ceux d'une côte microtidale (0,5-1,5 m de marnage) et d'une houle régulière de SSW qui atteint le rivage avec une période de 10-11 s et une hauteur significative de 1-1,18 m (Touré et *al.*, 2012). La dérive littorale engendrée par la houle est de direction W-E et joue un rôle important dans la redistribution des sédiments sur le littoral ivoirien. Depuis l'ouverture du canal de Vridi en 1950, le transit sédimentaire est interrompu au niveau de celui-ci. La totalité du sable en provenance de l'ouest s'écoule dans le canyon sous-marin du "Trou-Sans-Fond" (Tastet et *al.*, 1985 ; Diabaté, 1996 ; Affian, 1997). Les vents locaux sont essentiellement d'ouest à sud-ouest et de sud à sud-ouest, avec des vitesses comprises entre 2,7 m/s et 3,9 m/s (Varlet, 1958, in Yacé, 1987).

La variabilité saisonnière de l'état de mer distingue une période de faibles agitations de novembre à avril et une période de grande houle de mai à septembre où plus de 20% des hauteurs de vagues sont supérieures à 2 m (Koffi et *al.*, 2014).

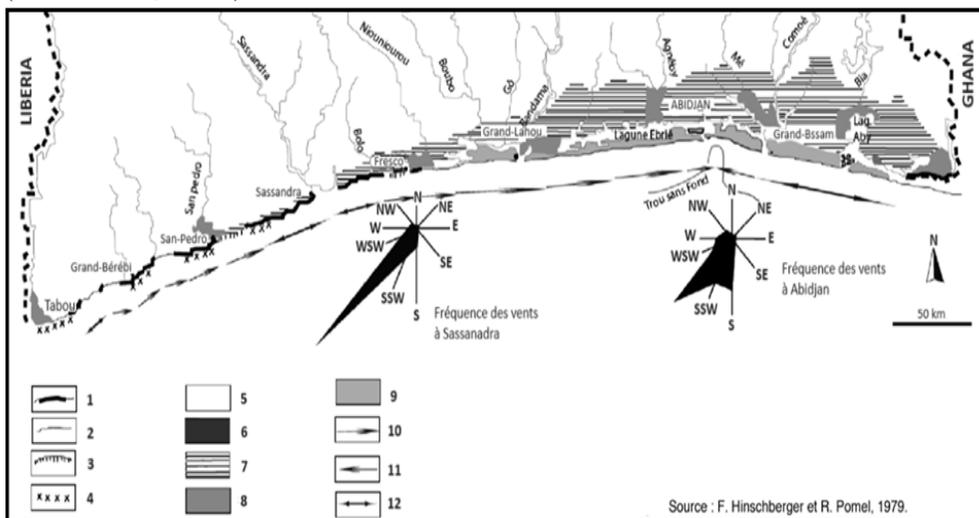


Figure 2. Esquisse géomorphologique du littoral ivoirien

1 : section de côte élevée ; 2 : section de côte basse ; 3 : falaises vives ; 4 : plates-formes à écueils ; 5 : socle cristallin et métamorphique ; 6 : argiles glauconieuses (Paléocène) ; 7 : sables et grès du « Continental Terminal » (plio-)quaternaire ; 8 : argiles et sables fluvio-lagunaires (Quaternaire) ; 9 : sables des cordons marins (Quaternaire récent) ; 10 : dérive littorale dominante vers l'est ; 11 : dérive littorale dominante vers l'ouest ; 12 : dérive alternée et courants d'arrachement.

Méthodes

Suivi de la morphologie littorale

L'étude repose sur un réseau de sept (7) stations, notés de C1 à C7, implantés le long de la plage, entre le canal de Vridi et le phare de Port-Bouët, où des levés topographiques ont été régulièrement effectués (**Figure 1**). Elle

porte sur un suivi de trois campagnes menées à intervalle bimestriel. Les profils sont calés sur des repères de référence formés de deux ou trois bornes selon les sites. Les coordonnées x et y des bornes repères ont été relevées à l'aide d'un GPS Garmin (MAP 64S). Les profils cross shore ont été levés à l'aide d'un niveau de chantier fixé sur son trépied et d'une mire de 4 m conformément à la méthode décrite par Ibe et Quélenec (1989). Les levés, effectués à marée basse pour explorer une largeur maximale de la plage, ont été réalisés sur trois périodes à un pas de temps bimestriel.

Les bilans sédimentaires ont été établis à partir de la détermination des superficies érodées et/ou engraisées par la méthode des trapèzes et des triangles (Brabant, 2003) pour quantifier précisément les mouvements sédimentaires dans le profil et les dynamiques associées.

Analyse Sédimentologique

Pour l'analyse granulométrique, les échantillons ont été prélevés manuellement dans la couche superficielle de sédiments pendant les levés topographiques sur quatre (4) profils le long du secteur d'étude (C1 ; C3 ; C5 et C7). Le choix du nombre de profils ayant fait l'objet d'échantillonnage sédimentologique se justifie par le fait que, contrairement à la morphologie, les variations longitudinales de faciès granulométriques ne sont pas fréquentes et sont inexistantes dans un intervalle de moins de 150 m.

L'analyse granulométrique a été faite selon la méthodologie classique décrite par Saaidi (1991) et Folk & Ward (1957). L'étude morphoscopique a été réalisée à la loupe binoculaire (type leica EZ4) sur des grains de quartz dans les fractions moyennes comprises entre 250-500 μm (Parfenoff et al., 1970). Les interprétations sont basées sur les travaux de Pettijohn (1949) et de Cailleux (1947).

Vitesse du courant de dérive et transport sédimentaire

L'observation des directions de houles s'est faite à partir d'images satellitaires de Google Earth et des données de houles du SHOM (data.shom.fr). Ces directions de houles couplées à la taille des grains de quartz le long de la zone d'étude ont permis d'indiquer parfaitement la direction de la dérive littorale.

La vitesse du courant induit par la dérive littorale et la charge du transport sédimentaire ont été obtenues à partir des formules de Kaczmarek et al. (2005). Ce sont :

- pour la vitesse du courant induit par la dérive littorale

$$V = 0,25 \cdot k_v \cdot \sqrt{\gamma \cdot g \cdot H_b} \cdot \sin 2\alpha$$

Avec : k_v : constante empirique = 0,9 ; γ : indice de déferlement = 0,78 ; g : constante de pesanteur ($9,81 \text{ m/s}^2$) ; H_b : hauteur des vagues au déferlement ; α : angle d'incidence de la houle à la côte.

- pour la charge du transport sédimentaire :

$$Q = 0,023 \cdot (H_b^2 \cdot V) \quad \text{si } (H_b^2 \cdot V) < 0,15$$

$$Q = 0,00225 + 0,008 \cdot (H_b^2 \cdot V) \quad \text{si } (H_b^2 \cdot V) > 0,15 \quad \text{avec } Q \text{ en m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Résultats

Caractérisation géomorphologique

Les profils réalisés dans la période d'étude (mars à juillet 2019) couvrent la fin de la faible agitation et une bonne partie de la forte agitation marine. Les profils réalisés au niveau des stations C1 et C4 montrent que, de mars à mai 2019, la plage s'engraisse et s'érode de mai à juillet (**figure 3**). On note un recul du trait de côte dans cette période d'environ -4 m (**figure 4**). L'ensemble des mouvements sédimentaires se déroulent au mi et bas estran. Les pentes observées sont relativement fortes.

Au niveau de la station C2, le profil est continuellement en érosion de mars à juillet 2019. Il présente une forme concave caractéristique de plage en érosion (**figure 3**). Cette tendance érosionnelle se traduit aussi par un recul du trait de côte de l'ordre de -6 m (**figure 4**). Les pentes sont assez fortes. Le recul continu de la côte sur la période d'étude est aussi observable à la station C7. On note la présence de berme sur l'estran. Cette berme va aussi enregistrer l'érosion observée sur ces stations.

La station C3 est marquée par des mouvements variés sur l'estran. En effet, entre mars et mai, une partie de l'estran s'engraisse tandis que l'autre s'érode (**figure 3**). Après le mois de mai, le profil s'érode. L'ensemble des mouvements se déroulent au bas estran puisqu'ici le trait de côte est resté stable (**figure 4**). Les pentes sont assez fortes.

Les profils des stations C5 et C6 montrent que le bilan global des mouvements sédimentaire est plus ou moins à l'équilibre (**figure 3**). Sur la station C6, l'estran est même en léger engraissement avec des profils qui présentent une allure convexe. A ce niveau, le trait de côte est stable (**figure 4**). De façon générale, sur l'ensemble de ce secteur du littoral, on constate que l'essentiel des mouvements sédimentaires se déroulent aux mi et bas estrans. Le bilan sédimentaire confirme la tendance à l'érosion avec un recul moyen du trait de côte (TC) d'environ 4 m (**Figure 4**) sur l'ensemble de la zone d'étude. Cela conforte le fait que les plages microtidales à forte pente comme dans le cas de cette étude, s'érodent en période de forte agitation et s'engraissent en période de faible agitation. Cependant, au niveau des profils C3 et C6, le trait de côte (TC) est stable. Au niveau du profil C6, on observe

un léger engraissement qui traduit une plus ou moins stabilité de ce secteur de côte.

Caractérisation sédimentologique

Paramètres granulométriques

Les sédiments prélevés sur les différents sites (**tableau 1**) ont une moyenne comprise entre 1282,33 et 506,33 μm . Cela indique que ce sont des sables très grossiers pour les sites 1 et 3 et grossiers pour les sites 2 et 4. Les valeurs d'écart-types (σ) sont respectivement de 0,5 et 0,47 ϕ pour les sites 1 et 3 puis 0,55 et 0,52 ϕ pour les sites 2 et 4. On déduit de ces valeurs que les sites 1 et 3 sont pourvus de sables bien classés et les sites 2 et 4 sont constitués de sables modérément classés. Le calcul du skewness a permis de distinguer des sables marqués soit par une asymétrie vers les éléments fins, soit une asymétrie vers les éléments grossiers ou une symétrie granulométrique. En effet, les sables des sites 1 et 3, avec des skewness respectifs de 0,06 et -0,09 ϕ , sont marqués par une symétrie granulométrique à l'échantillon. Pour le site 2, les sables présentent une asymétrie vers les éléments fins avec un skewness de 0,17 ϕ . On déduit du skewness des sables du site 4, qui est de -0,29 ϕ , que ceux-ci ont une asymétrie vers les éléments grossiers.

Cette variation de l'indice d'asymétrie témoigne de l'influence de différentes sources d'apports sédimentaires et des courants de différentes intensités.

Morphoscopie des grains de quartz

La morphoscopie des quartz du site 1 montre des grains sub-anguleux et non usés (Figure 5). Certains grains sont mats. On en déduit que ces sédiments n'ont pas subi de transport. Ils sont issus certainement d'un remaniement de sédiments sur place ou une source d'approvisionnement très proche.

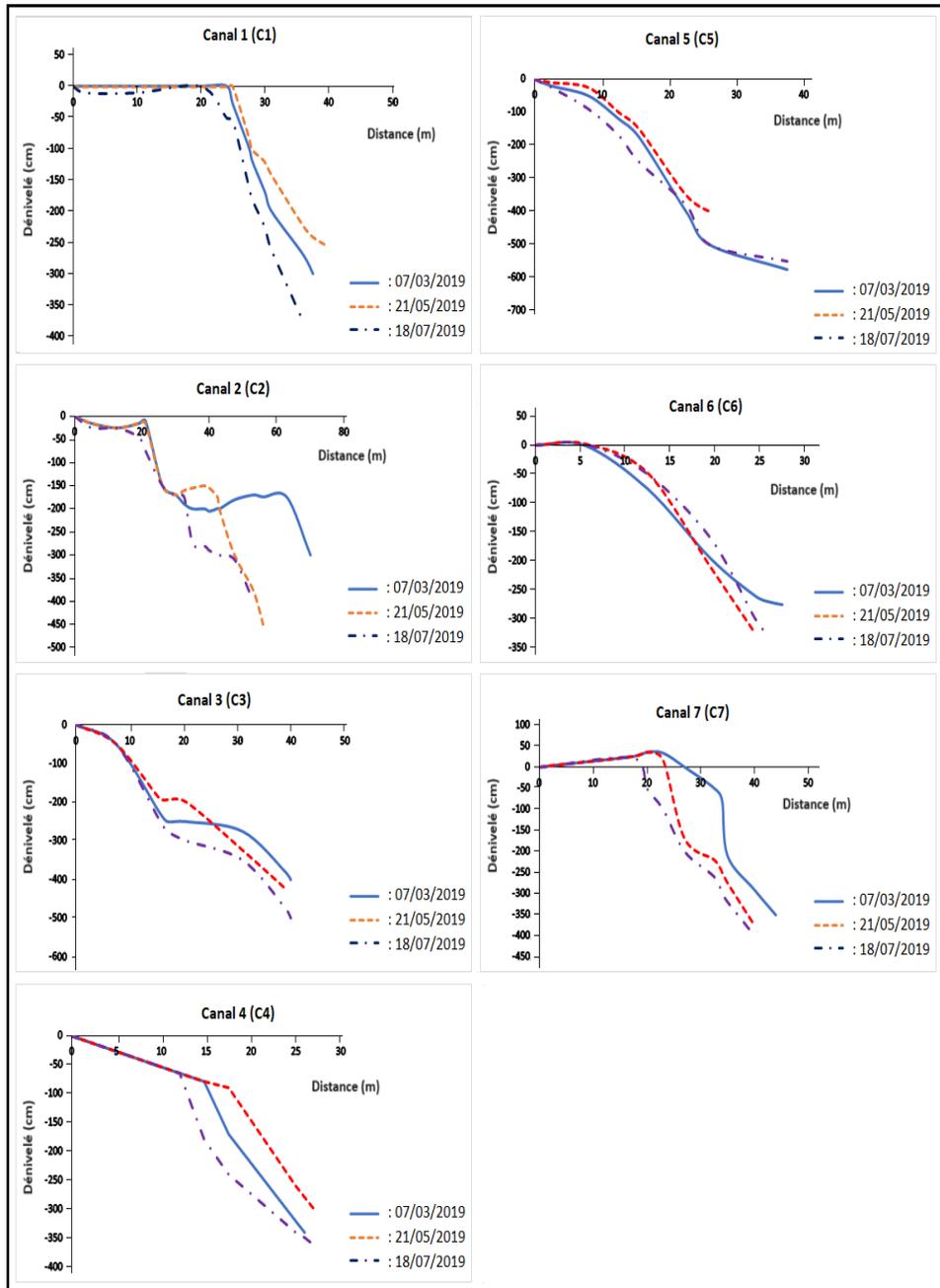


Figure 3. Variations morphologiques du secteur de plage canal de Vridi-Phare de Port-Bouët

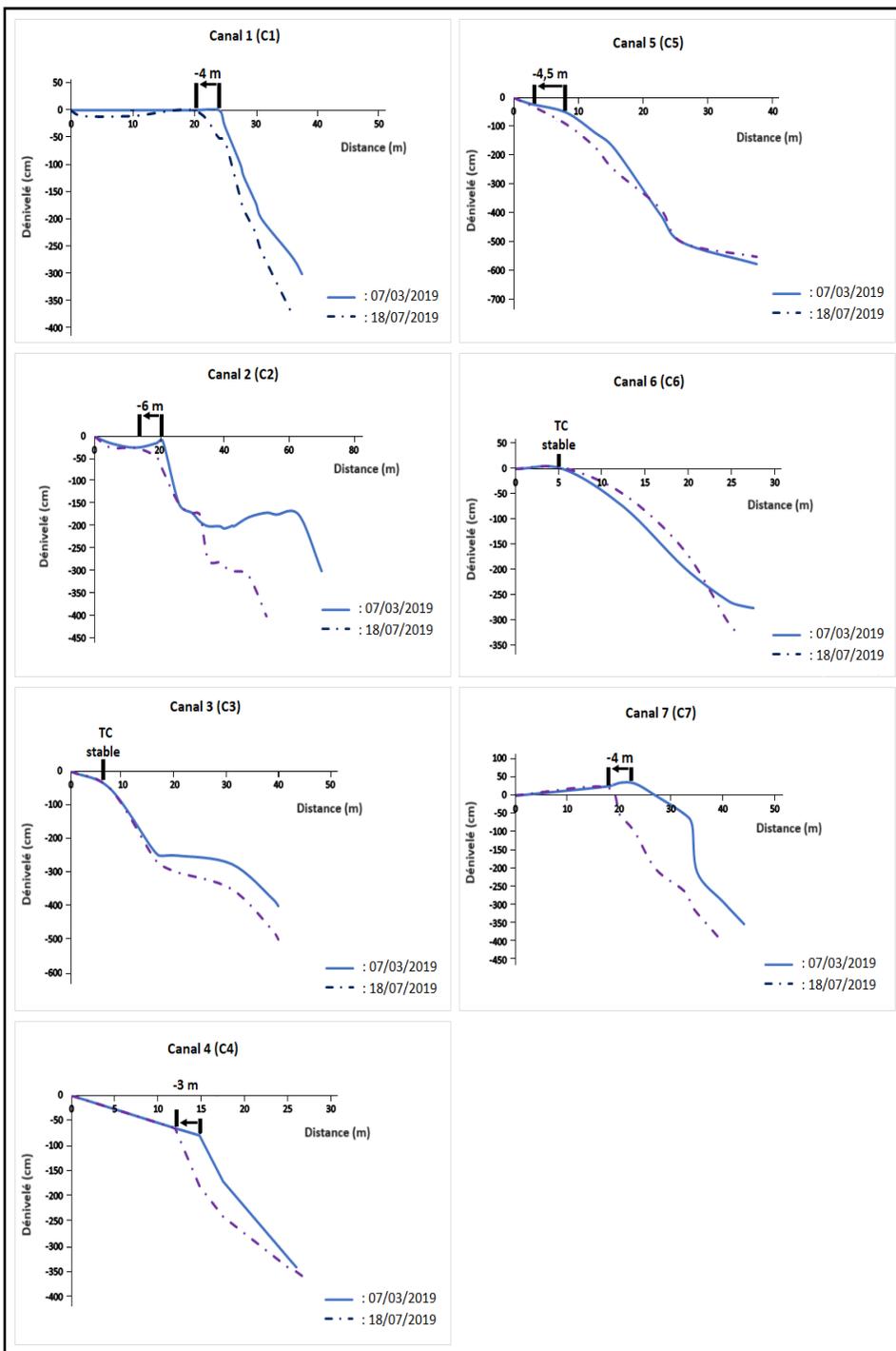


Figure 4. Dynamique du TC et bilan des mouvements sédimentaires sur la période d'étude

Tableau 1. Paramètres granulométriques et leurs interprétation

Sites	Mz (μm)	σ (Φ)	Sk (Φ)	Interprétations
1	1282,33	0,5	0,06	Sables très grossiers ; bien classés et symétriques
2	506,33	0,55	0,17	Sables grossiers ; modérément classés ; asymétrie vers les éléments fins
3	1155,67	0,47	-0,09	Sables très grossiers ; bien classés et symétriques
4	893,33	0,52	-0,29	Sables grossiers ; modérément classés ; asymétrie vers les éléments grossiers

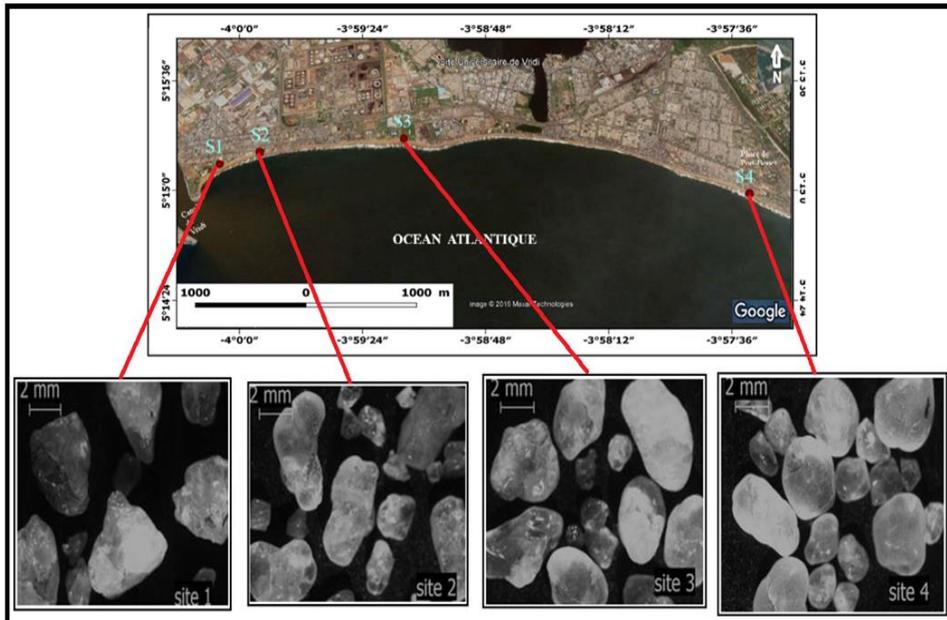


Figure 5. Caractéristiques morphoscopiques des grains de quartz entre le canal de Vridi et le phare de Port-Bouët

Les grains de quartz du site 2 sont sub-arrondis et émoussés luisants (Figure 5). Leur aspect est caractéristique d'un transport en milieu marin. La comparaison avec ceux du site 1 fait remarquer un polissage des bords et un changement d'aspect.

Le site 3 est caractérisé par des grains de quartz sub-arrondis et émoussés luisants comme sur le site 2 (Figure 5). Cependant une nette amélioration du polissage est observée.

Les grains de quartz observés au niveau du phare de Port-Bouët (site 4) sont les plus arrondis. Ils sont émoussés luisants (Figure 5). Cela témoigne de leur transport marin par la dérive littorale. On en déduit que les sables subissent une usure au cours de leur transport.

Cette évolution de la morphologie des grains de quartz suivant la dérive littorale suggère aussi que le transport des sédiments se fait d'ouest en est. Ce transport est dû aux courants induits par la houle. En effet, l'angle

d'incidence de la houle sur ce secteur étant oblique, il induit un courant de dérive ouest-est dominant.

Vitesse du courant induit par la dérive et transport sédimentaire

Vitesse du courant induit

La vitesse du courant induit par la dérive est fonction de la hauteur des vagues au déferlement et de l'angle d'incidence de la houle à la côte. Dans le secteur de côte Vridi-Port-Bouët, la houle arrive obliquement à la côte, avec un angle d'incidence d'environ 24°. La hauteur moyenne des vagues sur la période d'étude est de 2 m.

$$k_v = 0,9 \quad \gamma = 0,78 \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad H_b = 2 \text{ m} \quad \alpha = 24^\circ$$

$$V = 0,25 \times 0,9 \times \times$$

$$V = 0,65 \text{ m/s}$$

La vitesse du courant induit par la dérive littorale dans le secteur de côte Vridi-Port-Bouët, sur la période d'étude est évalué à 0,65 m/s.

Transport sédimentaire

La dérive va entraîner des sédiments dont le volume sera fonction de la vitesse du courant et de la hauteur des vagues.

$$Q = 0,00225 + 0,008(2^2 \times 0,65)$$

$$Q = 0,02305 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le volume de sédiments transporté par la dérive littorale sur la période d'étude est estimé à 0,02305 m³/s soit 23050 cm³/s.

Discussion

Cette étude montre que les différents secteurs de la portion du littoral entre le canal de Vridi et le phare de Port-Bouët n'ont pas le même comportement. Certains secteurs présentent une stabilité du trait de côte, tandis que d'autres sont généralement en érosion. Cette observation a été faite par Saimon (2017) à l'issue de ses travaux menés en 2015 sur cette portion littorale. Cela suggère que les plages ne donnent pas les mêmes réponses morphologiques face aux agents de forçage hydrodynamiques. Des paramètres physiques notamment la topographie sous-marine, la nature géologique du substratum en place et l'orientation de la direction du trait de côte pourraient, sans doute, contribuer à la réponse morphologique d'une plage. L'essentiel

des mouvements sédimentaires ont lieu aux mi et bas estrans avec une tendance à l'engraissement au bas estran au niveau du profil C6. Ce résultat est aussi décrit par Konan (2012) dans la présentation de ses travaux conduits entre 1998 et 2007 au phare de Port-Bouët. Il fait remarquer alors une stabilité du trait de côte. Cependant lorsqu'il conclue à une vitesse de recul de 0,5 m/an dans la baie de Port-Bouët, c'est l'expression d'un comportement morphologique assez diversifié de la zone qui est présenté. La présente étude stipule que la baie de Port-Bouët est une zone où la dynamique du trait de côte est assez variable entre stabilité et sévère, modérée ou faible érosion. Toutes les conclusions des travaux de Paskoff (1993), Affian et *al.* (2003), Abé (2005), Touré (2009) et Wognin et *al.* (2013) s'inscrivent dans ce contexte. En outre, la structure en baie de ce littoral, qui lui confère une concavité, influence fortement la réponse morphologique.

La distribution granulométrique dans la zone d'étude montre que les sables sont très grossiers à grossiers, modérément à bien classés avec une symétrie à l'échantillon ou vers les éléments grossiers à fins. Cette granulométrie est identique à celle décrite par Egoran (2014), Koffi (2017) et Saimon (2017). La taille des grains diminue dans le sens de la dérive littorale, comme l'a également observé Konan (2012). Les grains de quartz évoluant de sub-anguleux non usé à arrondi et émoussé en partant du canal de Vridi au phare de Port-Bouët met en évidence l'influence du transport par l'eau et du processus dynamique fluvio-marin (Konan et *al.*, 2016). La présence de grains de quartz sub-anguleux dans la baie de Port-Bouët est aussi confirmée par les travaux de Konan (2012).

Les travaux de Varlet (1958) avaient estimé la charge de la dérive littorale à 400 000 m³/an dans le secteur Sud-Est ivoirien, soit 0,0126 m³/s. Plus d'une soixantaine d'année plus tard, Koffi (2017), actualisant cette donnée dans le contexte actuel du changement climatique, a estimé la charge de la dérive littorale à 584 246 m³/an, soit 0,0185 m³/s. Les travaux de Koffi (2017) révèlent ainsi une nette augmentation de la charge de la dérive littorale de 46 % par rapport à l'estimation faite par Varlet (1958). Cette augmentation montre une dérive sédimentaire accrue au cours des soixante dernières années. La présente étude, plus récente, estime la charge de dérive littorale de 0,02305 m³/s, soit une augmentation de 24,6 % par rapport aux travaux de Koffi (2017). Cette valeur montre une charge de dérive toujours en nette croissance.

Conclusion

Cette étude montre que les différents secteurs de cette portion du littoral n'ont pas le même comportement morphologique. Certains secteurs présentent une stabilité du trait de côte, tandis que d'autres sont généralement en érosion. Le profil C1 présente un recul de -4 m du trait de côte sur la période d'étude. On observe une érosion du trait de côte de -6 m et -4 m respectivement

aux profils C2 et C7. Le profil C4 indique aussi une érosion générale de l'estran avec un recul de -3 m du trait de côte. Seuls les profils C3 et C6 indiquent une stabilité du trait de côte mais avec une érosion générale de l'estran au profil C3 et un relatif équilibre au profil C6. La somme du suivi morphologique dans une période considérablement réduite entre mars et juillet 2019 montrent une dominance du recul du trait de côte avec des valeurs assez grandes. Cela démontre qu'on est en présence d'une portion littorale en déficit sédimentaire d'où sa probable vulnérabilité à d'éventuel recul du trait de côte. La granulométrie dans la zone d'étude montre que les sables sont très grossiers à grossiers, modérément à bien classé avec une symétrie à l'échantillon ou vers les éléments grossiers à fins. On constate une diminution de la taille des grains de quartz dans le sens de la dérive littorale. L'examen morphoscopique indique que les grains de quartz évoluent de sub-anguleux non usé à arrondi et émoussé en passant du canal de Vridi au phare de Port-Bouët. La vitesse du courant induit la dérive littorale est évaluée à 0,65 m/s. Cela entraîne un transport sédimentaire de 0,02305 m³/s.

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

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

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Abé J. (2005). Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique sédimentaire du littoral ivoirien (Cas du littoral d'Abidjan). Essai de modélisation en vue d'une gestion rationnelle. Thèse de Doctorat d'Etat Sc. Nat. Université Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 337 p.
2. Affian K. (1997). Exemple de traitement numérique de données auxiliaires du type photographies aériennes : étude de la dynamique côtière en liaison avec le canyon du Trou Sans Fond au droit du port d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Actualité Scientifique, UREF, Réseau de Télédétection, 7e journées scientifiques Sainte-Foy, Québec, pp. 209-216.
3. Affian K., Digbéhi Z. B., Djagoua E. M., Kouamé K. F. et Ouattara A. (2003). Utilisation des techniques de photographie aérienne et de profil de plage pour le contrôle de l'érosion côtière sur les segments de côte à Abidjan et à Grand-Bassam (Côte d'Ivoire), Bioterre Rev. Inter. sci. de la vie et de la terre, Vol. 3, n°1, 2003, pp.53-67.

4. Brabant M. (2003). *Maîtriser la topographie : Des observations au plan*, 2e édition Eyrolles, 539 p.
5. Cailleux A. (1947). Distinction des sables marins et fluviatiles. *Bull. Soc Géol. Fr.*, 5e série, t. XV, pp. 375-404.
6. Diabaté A. (1996). Les conséquences de l'ouverture du canal de Vridi sur l'érosion géomorphologique du littoral : érosion et ensablement. *Cahiers de Géographie Tropicale*, 4, 26-43.
7. Egoran A. (2014). Caractéristiques granulométriques des plages d'Abidjan à Mondoukou avant et après la tempête d'août-septembre. *Mém. DEA, Université d'Abidjan*, 74p.
8. Folk R. L. et Ward W. C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sedim. Petrol.*, Tulsa (Okla.), 27 (1), pp. 3-26.
9. Ibe A. C. et Queleuennec R. E. (1989). *Méthodologie d'inventaire et de contrôle de l'érosion côtière dans la région de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Rapports et Etudes mers régionales*, PNUE, Nairobi, 107 p.
10. Kaczmarek L. M., Ostrowski R., Pruszek Z., Rozyński G. (2005). Selected problems of sediment transport and morphodynamics of a multi-bar nearshore zone. *Estuarine, Coast and Shelf Sci*, 62, pp 415–425.
11. Koffi K. Ph. (2017). *Contribution à l'étude de l'évolution morphosédimentaire du littoral ivoirien : remaniement sédimentaire à l'échelle multi-temporelle*. Thèse de Doctorat d'Etat Sc. Nat. Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 354p.
12. Koffi K. Ph., Hauphouot C., Yao K. S., Dangui N. P., Mondé S. et Aka K. (2014). Evolution à long terme (quarante dernières années) du trait de côte du périmètre littoral Est de Port-Bouët et projection d'une ligne de recul. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, n° 2, pp. 20.
13. Konan K. E. (2012). *Etude morphodynamique et sensibilité aux événements "exceptionnels" du cordon littoral sableux ivoirien à l'Est d'Abidjan (Abidjan-Aforenou)*. Thèse de Doctorat, Univ. Félix Houphouët Boigny, N° d'ordre : 729/2012, 182 p.
14. Konan K. E., Abe J., Aka K., Neumeier U., Nyssen J., Ozer A. (2016). "Impacts des houles exceptionnelles sur le littoral ivoirien du Golfe de Guinée", *revue Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, 22 (1), pp. 105-120.
15. Parfenoff A., Pomerol C. et Tourenq J. (1970). *Les minéraux en grains. Méthodes d'études et détermination*. Masson Ed. Paris, 575p.
16. Paskoff R. (1993). *Côtes en danger*, coll. "Pratiques de la Géographie", Paris, Masson, 250 p.

17. Pettijohn F. (1949). *Sedimentary Rocks - Happer Frères*. In: *Sedimentology*. With 177 figures and 17 tables. Translation Thomas Reimer. CHAMLEY H. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 285 p.
18. Saadi E. (1991). *Traité de sédimentologie. Pétrographie, environnements sédimentaires*, Editions Afrique Orient, 399 p.
19. Saimon A. A. M. (2017). *Apport du remaniement sédimentaire dans la caractérisation de la couche mobile à l'échelle du cycle de marée du secteur littoral d'Abidjan*. Thèse unique Université F.H.B de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire, 345p.
20. Saimon A. A. M. (2019). *Recul par à coup du trait de côte : Cas du périmètre littoral de Port-Bouët Phare*. F. tech. et doc. Vol. Volume 1 juillet 2019. pp 9-13.
21. Tastet J. P. (1979). *Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin)*. Thèse de doctorat en sciences géologiques, université de Bordeaux, 212 p.
22. Tastet J. P., Caillon L. et Simon B. (1985). *La dynamique sédimentaire littorale devant Abidjan. Impact des aménagements*. Rapport Université Nationale Côte d'Ivoire, PAA, 39 p.
23. Touré B., Kouamé K. F., Souleye W., Collet C., Affian K., Ozer A., Rudant J-P et Biémi J. (2012). *L'influence des actions anthropiques dans l'évolution historique d'un littoral sableux à forte dérive sédimentaire : la baie de Port-Bouët (Abidjan, Côte d'Ivoire)*. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 3, pp 113-126.
24. Touré M. (2009). *Applicabilité des mesures de protection du littoral aux côtes ivoiriennes* Thèse unique. Université Cocody, Abidjan, 184p.
25. Varlet F. (1958). *Le régime Atlantique près d'Abidjan, Côte d'Ivoire : Essai d'océanographie littoral*. *Etudes Eburnéennes*, t.7, 222 p.
26. Wognin A. I. V., Coulibaly A. S., Akobe A. C., Monde S. et Aka K. (2013). *"Morphologie et cinématique du trait de côte de Vridi à Grand-Bassam (Côte d'Ivoire)"*, *Journal of Environmental Hydrology*, Vol. 21, n°1, pp 1-10.

Effet des Prétraitements sur la Germination des Semences de *Azelia africana* Smith ex Pers. en Milieu Semi Contrôlé en Basse Casamance (Senegal)

Aly Diallo

Boubacar Camara

Arfang Ousmane Kémo Goudiaby

Babacar Ndiaye

Saran Diallo

Université Assane SECK, Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie (LAFE), Département d'Agroforesterie, UFR Sciences et Technologies, Ziguinchor, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p216](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p216)

Submitted: 01 July 2023

Accepted: 15 August 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Diallo A., Camara B., Kémo Goudiaby A.O., Ndiaye B. & Diallo S. (2023). *Effet des Prétraitements sur la Germination des Semences de Azelia africana* Smith ex Pers. en Milieu Semi Contrôlé en Basse Casamance (Senegal). European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 216. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p216>

Résumé

Azelia africana Smith ex Pers. est une espèce très prisée pour son importance socioéconomique au niveau des pays du Sahel, ce qui entraîne une forte pression anthropique sur elle. A cela, s'ajoute les conditions climatiques défavorables qui handicapent souvent la régénération de l'espèce ainsi que sa conservation en milieu naturel. L'objectif de cette étude est de contribuer à la connaissance des conditions de germination des graines de *A. africana*. Pour ce faire, les semences ont subi trois (3) types de traitement au laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie à savoir le trempage dans cinq (5) différentes concentrations d'acide sulfurique (H₂SO₄) (10 % ; 30 % ; 50 % ; 75 % et 98 %) à des durées différentes (5 mn ; 10 mn ; 30 mn et 60 mn), le trempage dans de l'eau tiède et la scarification mécanique. Les résultats révèlent que les meilleures germinations ont été obtenues respectivement à l'acide sulfurique (75 %) avec une durée de trempage de 30 mn pour la catégorie acide, l'eau tiède pour une durée de trempage de 12 h pour la catégorie eau tiède et la scarification mécanique à 1 mm. L'application des résultats obtenus

présenterait des intérêts majeurs dans la disponibilité en quantité et qualité d'individus de *A. africana* pour assurer la régénération de l'espèce et ralentir les risques de disparition dans certaines zones du monde.

Mots-clés: *Afzelia africana*, prétraitement, germination et acide

Effect of Pre-Treatments on Germination of *Afzelia africana* Smith ex Pers. Seeds in a Semi-Controlled Environment in Lower Casamance (Senegal)

Aly Diallo

Boubacar Camara

Arfang Ousmane Kémo Goudiaby

Babacar Ndiaye

Saran Diallo

Université Assane SECK, Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie (LAFE), Département d'Agroforesterie, UFR Sciences et Technologies, Ziguinchor, Sénégal

Abstract

Afzelia africana Smith ex Pers. is a species that is highly prized for its socio-economic importance in the Sahelian countries, which results in strong anthropic pressure on it. In addition to this, unfavourable climatic conditions often handicap the regeneration of the species as well as its conservation in the wild. The objective of this study is to contribute to the knowledge of the germination conditions of the *A. africana*'s seeds. To this end, the seeds under went three (3) types of treatment in the laboratory, namely soaking in five (5) different concentrations of sulphuric acid (H₂SO₄) (10%; 30%; 50%; 75% and 98%) at different durations (5min; 10min; 30min and 60min), soaking in warm water and mechanical scarification. The results reveal that the best germinations were obtained respectively with 75% acid with a soaking time of 30 min for the acid category, warm water with a soaking time of 12 h for the warm water category and mechanical scarification at 1mm.

Keywords: *Afzelia africana*, pre-treatment, germination and acid

Introduction

Environ 1,6 milliard de personnes dépendent des ressources forestières pour leurs moyens de subsistance, et 1,28 milliard d'entre eux, soit 80 %, vivent dans les pays en développement (FAO, 2008). L'Organisation des

Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO, 2007) a estimé dans le monde entier une déforestation près de 13 millions d'hectares, soit 0,7 % de la superficie forestière par an. Celle-ci est causée par l'augmentation du défrichement pour l'agriculture commerciale et de subsistance, l'exploitation forestière, le commerce du bois de chauffage et d'exploitation, les feux de forêt, l'expansion des établissements humains et de l'industrialisation. Les fruitiers forestiers, à usages multiples, sont exploités de manière extensive pour leurs fruits, leurs graines, le fourrage, le bois et la pharmacopée. Des problèmes de déforestation existant au niveau mondial, ils peuvent être ressentis plus localement par des millions de populations rurales dans les pays tropicaux qui en dépendent pour leur subsistance (Ochsner et al., 2001).

Les multiples utilisations de *Afzelia africana* Smith ex Pers. en Afrique de l'Ouest, en particulier l'utilisation des graines (agent épaississant, décoration, talisman etc.), ont entraîné une pression permanente sur les populations naturelles. L'espèce est très exploitée comme bois d'œuvre, bois de service et bois d'énergie. Les peuplements sont souvent également défrichés à des fins agricoles (Assogbadjo et al., 2010). C'est une espèce ligneuse polyvalente menacée par le manque de régénération naturelle. Ces différentes pressions anthropiques limitent non seulement la production en fruits de l'espèce, mais aussi entravent sa régénération en milieu naturel. En dehors de ces menaces, les graines de *Afzelia africana* manifestent une certaine dormance (Assogbadjo et al., 2010).

En outre, le taux de germination des graines dans la nature s'est avéré faible (Padonou et al., 2013). La germination des semences est l'une des plus importantes étapes du cycle de vie des plantes. La germination est touchée par l'ensemble des facteurs environnementaux affectant la croissance végétative. Elle nécessite une température favorable, de l'oxygène et de l'eau. Les semences de nombreuses espèces végétales ne peuvent pas germer malgré les conditions environnementales favorables requises pour la germination. Les principales raisons de ce problème, qui est appelée dormance des semences, sont la dureté et l'imperméabilité du tégument de la graine et la présence d'embryon dormant (Olmez et al., 2008). Dans ce cas, il est nécessaire de faire subir aux graines différents prétraitements pour obtenir un taux de germination satisfaisant (Dardour et al., 2014). La dormance (repos végétatif de la graine) peut être levée soit naturellement, soit artificiellement. Artificiellement, la dormance des graines est levée à travers des processus de prétraitements (simulation et application mécanique) pour rupture des téguments (Oboho & Ogana, 2012). Les prétraitements ont été utilisés par Nwoboshi (1982), Onyekwelu et Akindele (2002), Onyekwelu (2005) pour lever la dormance des semences pour de nombreuses espèces d'arbres tropicaux. Il s'agit des méthodes comme l'utilisation d'acide, le froid, l'eau, l'eau chaude, retrait de la couche de l'endocarpe. L'option d'utiliser l'une de ces méthodes par les

populations rurales doit être bien financièrement à leur portée ainsi que les modalités de fonctionnement. Cependant, peu d'études ont porté jusqu'à présent sur le comportement germinatif des semences de l'espèce *Azelia africana* en conditions contrôlées. C'est pourquoi, cette étude a été menée dans le but de trouver une solution pour lever de la dormance de l'espèce en vue d'obtenir une germination élevée, homogène et compenser la forte mortalité des individus. Il s'agit spécifiquement de tester l'effet de prétraitements sur la germination des semences de *A. africana* en vue de résoudre le problème de sa régénération naturelle.

Matériel et Méthodes

Présentation du site d'étude

L'essai a été mené au niveau du laboratoire et de la ferme expérimentale du département d'Agroforesterie de l'Université ASSANE SECK de Ziguinchor (UASZ). Elle est située à 12°32'15,488" de latitude Nord et de 16°16'40,89" de longitude Ouest (Figure 1) et est caractérisée par une pluviométrie moyenne comprise entre 1300 et 1500 mm par an (Ndiaye et al., 2018). Le climat est de type tropical qui appartient au domaine Sud soudanien côtier caractérisé par une longue saison sèche (Octobre à Mai), et une saison des pluieuses qui dure Quatre mois (Diatta et al., 2013). L'humidité relative est faible en Janvier, Février et Mars sous l'influence de l'harmattan. En Aout-Septembre l'air se rapproche de son point de saturation (Ndiaye et al., 2018).

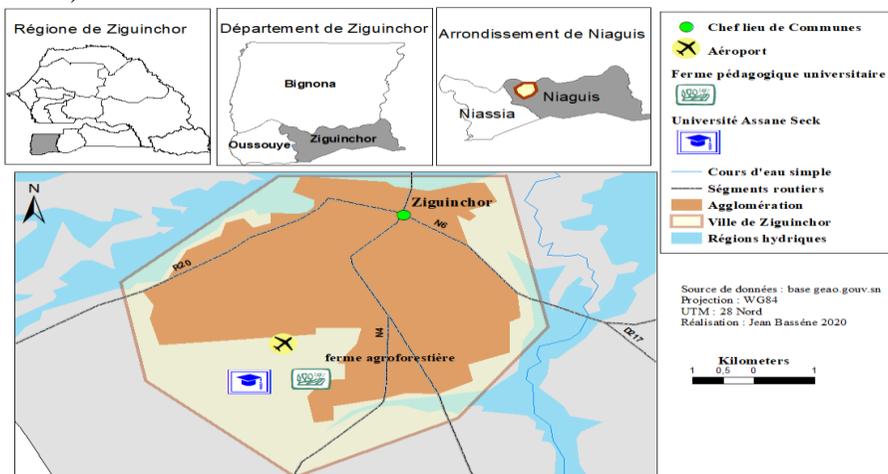


Figure 1. Carte de localisation du site (Ndiaye et al., 2018)

Matériel végétal

Le matériel utilisé est constitué de graines de *Azelia africana* récoltées dans la région de Ziguinchor et certifiées par le PRONASEF (Programme National de Semences Forestières).

Méthodes de prétraitement

Les graines de *A. africana* subissent trois (3) sortes de prétraitements : le trempage dans de l'eau tiède, le trempage dans de l'acide et une scarification à 1 mm. Dans tous les prétraitements, le témoin absolu est un lot de graines non trempées ni scarifiées.

Prétraitement 1 : Dans cette expérience, le traitement à l'eau tiède (entre 30 et 37°C) a impliqué un lot de 45 graines, soit 9 graines par durée de trempage (1 h, 6 h, 12 h et 24 h) réparties en trois graines par pot de germination contenant un substrat (coton hydrophile) :

Prétraitement 2 : Ce prétraitement permet d'évaluer l'effet de l'acide sulfurique (H_2SO_4) sur la germination des graines de *Afzelia africana*. Cinq (5) concentrations d'acide sulfurique (10, 30, 50, 75 et 98 %) et quatre (4) durées de trempage (5, 10, 30 et 60 minutes) sont comparées (tableau 1). Ces valeurs ont été retenues afin de déterminer les concentrations et les durées de trempage appropriés pour lever la dormance des graines. Nous nous sommes aussi appuyés sur les travaux de Amusa (2010). Ce prétraitement implique un total de 180 graines réparties en lot de 36 graines pour chaque concentration et 9 pour chaque durée avec 3 répétitions et pour chacune 3 graines.

Tableau 1. Concentrations et durées de trempage pour le prétraitement à l'acide sulfurique

Prétraitements	de	acide	acide	acide	acide	acide
		sulfurique (H_2SO_4) à 10 %	sulfurique (H_2SO_4) à 30 %	sulfurique (H_2SO_4) à 50 %	sulfurique (H_2SO_4) à 75 %	sulfurique (H_2SO_4) à 98 %
Durée de trempage		05 mn				
		10 mn				
		30 mn				
		60 mn				

Prétraitement 3 : Dans cette expérience, un lot de 9 graines de *Afzelia africana* est scarifié à l'aide d'une lame cutter. La scarification consiste à faire une incision superficielle et locale au niveau du pôle opposé à l'embryon de la graine à l'aide d'une lame afin d'enlever le tégument.

Après chaque prétraitement, les graines sont placées sur du coton hydrophile étalé dans des pots en plastique. Le coton est imbibé tous les jours durant l'expérience. Le relevé de germination a été fait tous les jours à partir du 2^{ème} jour après traitement.

A la suite de l'expérimentation au laboratoire, les meilleurs prétraitements identifiés sont appliqués en pépinière dans des gaines remplies de terreau pour déterminer leurs effets en milieu réel.

Collecte de données

Une graine est considérée comme ayant germé lorsque les cotylédons s'écartent pour laisser la radicule émerger (Diallo, 2002). Les observations sur

la germination sont faites pendant quinze (15) jours et les données collectées sont consignées dans une fiche. Ces données permettent de calculer le taux de germination correspondant au rapport entre le nombre de graines ayant germées et le nombre total de graines semées. La vitesse de germination est déterminée à partir de la durée médiane (DM).

➤ **Taux de germination :**

$$\text{Taux de germination} = \frac{\text{Nombre de graines ayant germé}}{\text{Nombre de graines semées}} * 100$$

➤ **Vitesse de germination :** elle est déterminée par la durée médiane

$$\text{Durée médiane} = T1 + \frac{0,5 - G1}{G2 - G1} (T2 - T1) \text{ (Lachiheb et al., 2004) Avec :}$$

G1 = pourcentage cumulé des graines germées dont la valeur est la plus proche de 50 % par valeur inférieure

G2 = pourcentage cumulé des graines germées dont la valeur est la plus proche de 50 % par valeur supérieure.

T1 = temps correspondant à G1

T2 = temps correspondant à G2

DM<5 : vitesse de germination rapide

Analyses statistiques

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance à un facteur (ANOVA) réalisée avec R 4.1.3.17. Lorsque les effets sont significatifs (p-valeur > 0,05), le test de Tukey est utilisé pour des comparaisons multiples de moyennes afin de détecter les différences significatives entre les taux de germination au seuil de 5 %.

Résultats et discussion

Résultats

L'analyse de variance a montré une différence très hautement significative entre les taux de germination obtenus avec les différents prétraitements (p-value < 0,05). En effet, l'acide (98 % 30 mn ; 75 % 5 mn et 10 mn ; 10 % 30 mn ; 30 % 5 mn), l'eau froide 12 h et la scarification 1 mm ont donné les meilleurs taux de germination (100 %). Le plus faible taux de germination a été obtenu avec l'acide 50 % 30 mn et 1 h (Tableau 2).

Tableau 2. Effet des prétraitements sur le taux germination

Prétraitements	Taux de germination (%)
Témoin	77,78±22,22 ab
Acide 10% 5mn	77,78±11,11 ab
Acide 50% 10%mn	44,44±29,40 ab
Acide 50% 30mn	11,11±11,11 b
Acide 50% 1H	11,11±11,11 b
Acide 75% 5mn	100±00,00 a
Acide 75% 10mn	100±00,00 a
Acide 75% 30mn	88,89±11,11 ab
Acide 75% 1H	100±00,00 a
Acide 98% 5mn	66,67±19,25 ab
Acide 98% 10mn	88,89±11,11 ab
Acide 98% 30mn	100±00,00 a
Acide 10% 10mn	44,44±11,11 ab
Acide 98% 1H	55,56±22,22 ab
Eau froide 1H	77,78±22,22 ab
Eau froide 6H	77,78±22,22 ab
Eau froide 12H	100±00,00 a
Eau froide 24H	55,56±22,22 ab
Eau froide 36H	88,89±11,11 ab
Scarification 1mm	100±00,00 a
Acide 10% 30 mn	100±00,00 a
Acide 10% 1H	66,67±19,25 ab
Acide 30% 5mn	100±00,00 a
Acide 30% 10mn	77,78±22,22 ab
Acide 30% 30mn	88,89±11,11 ab
Acide 30% 1H	77,78±22,22 ab
Acide 50% 5mn	88,89±11,11 ab
p =	000304 ***

Les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% ;
 *** : différence très significative au seuil de 1 %. Le témoin absolu est un lot de graines non trempées ni scarifiées.

Effet du prétraitement à l'eau tiède sur le taux et la vitesse de germination des graines de *Azelia africana*

Il ressort l'analyse de la figure 2 qu'avec l'eau tiède, la durée de trempage de 12 h enregistre le meilleur taux de germination (100 %) avec le temps de latence le plus court (2 jours) et une vitesse de germination DM = 7 jours comparé aux autres temps de trempage.

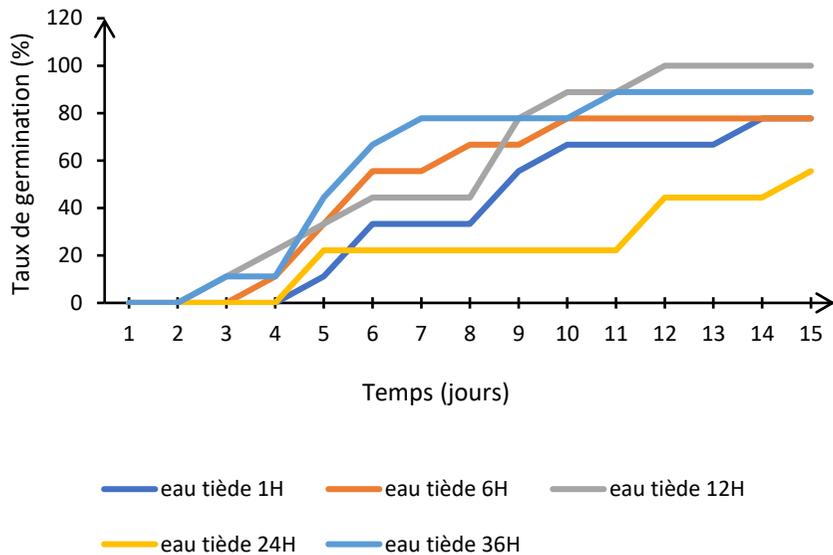


Figure 2. Germination des graines de *Afzelia africana* dans l'eau tiède en fonction du temps de trempage

Effet du prétraitement à l'acide sur le taux et la vitesse de germination des graines de *Afzelia africana* au labo

Pour les différentes concentrations d'acide, le taux de germination et le temps de latence (temps entre le prétraitement et la germination) varie en fonction de la durée de trempage. Les taux de germination les plus élevés (100 %) ont été obtenus avec les concentrations d'acide 10 %, 75 %, 98 % pour une durée de trempage 30 mn (figure 3a, figure 3d et figure 3e) et les concentrations 30 % et 50 % pour une durée de trempage de 5 mn (figure 3b et figure 3c). Comparé aux autres concentrations, l'acide 75 % enregistre le meilleur taux de germination (100 %) car ayant eu un temps de latence (3 jours) et une durée médiane (3 jours) plus courts. Les plus faibles taux de germination ont été obtenus les concentrations 10 %, 50 % et 98 % avec des durées de trempage plus longues (respectivement 10 mn, 1h et 1h).

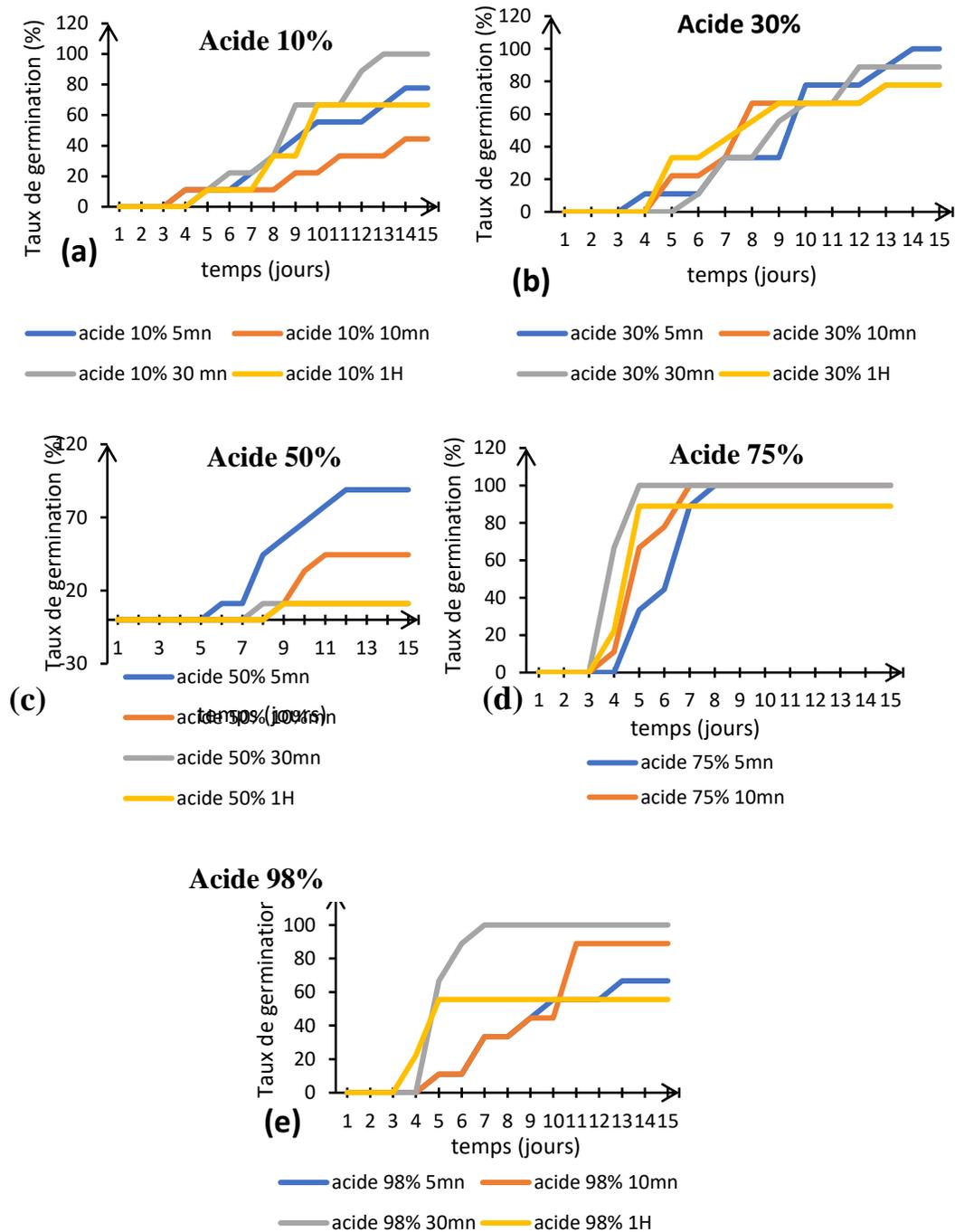


Figure 3. Germination des graines de *Afzelia africana* après trempage à durées différentes dans l'acide sulfurique

Comparaison des trois (3) meilleurs prétraitements sur le taux et la vitesse de germination

Le travail réalisé porte sur la recherche des meilleurs prétraitements à savoir sur le taux de germination des graines de *Afzelia africana* au laboratoire. L'analyse de la figure 4 montre que tous les traitements ont eu un taux de germination maximal de 100 % contrairement au témoin qui a un taux maximal de 89 %. Par contre, c'est l'acide 75 % qui a la vitesse de germination la plus rapide (DM = 3 jours < 5 jours) suivi de la scarification (DM = 6 jours) et de l'eau tiède 12 h (DM = 7 jours).

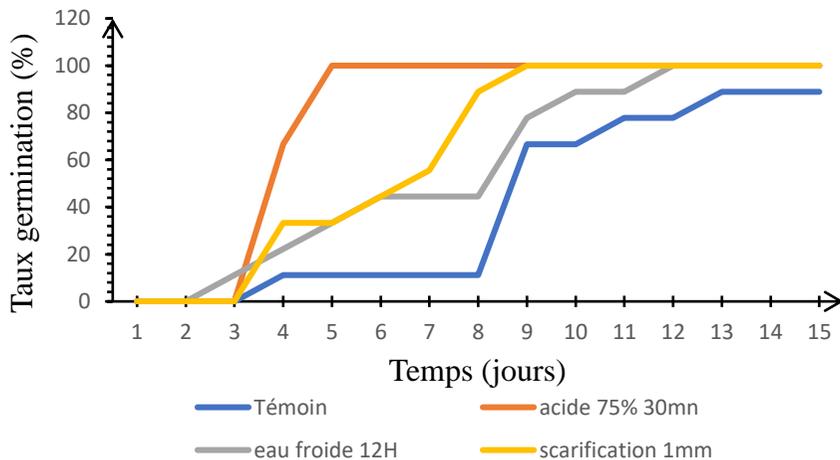


Figure 4. Evolution du taux de germination et de la vitesse de germination des graines de *Afzelia africana* par rapport aux différents traitements et au temps

Germination des graines de *Afzelia africana* en pépinière

L'évaluation de la germination des graines par rapport aux différents traitements (acide 75 %, eau tiède 12 h, scarification et le témoin) (figure 5) étudiée en pépinière montre aucune différence significative entre les différents prétraitements. Par contre, en terme de valeur absolue, les graines traitées avec l'acide 75 % et celles qui ont subi un prétraitement par scarification mécanique ont eu les taux de germination les plus élevés (88 %) suivies de celles trempées dans de l'eau tiède pendant 12 h (86%). Le témoin enregistre le plus faible taux de germination (74%).

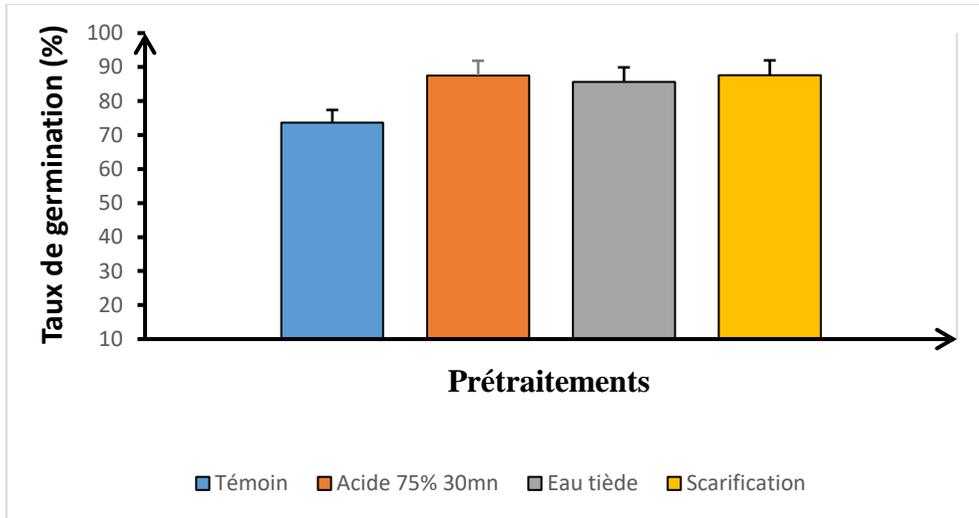


Figure 5. Germination des graines prétraitées sur terreau

Discussion

La dormance des graines se produit chez de nombreuses espèces ligneuses à des degrés divers. L'application des prétraitements pour étudier et comprendre la germination des graines de ces espèces ligneuses permet une maîtrise de leur sylviculture (Sina et al., 2020). Ainsi dans cette étude, trois (3) types de prétraitement (le trempage dans de l'acide sulfurique, le trempage dans de l'eau et la scarification mécanique) ont été appliqués aux graines de *Azelia africana*. Les résultats de cette étude montrent que le taux de germination varie significativement suivant le traitement utilisé. Pour le prétraitement à l'eau tiède et à l'acide sulfurique, le taux et la vitesse de germination dépendent de la durée de trempage pour l'eau tiède et pour l'acide ils dépendent de la concentration et de la durée de trempage. Il ressort des résultats du prétraitement à l'eau que la durée de trempage de 12 h a donné un taux plus élevé (100 %), un temps de latence plus court (2 jours) et une vitesse de germination correspondant à une durée médiane de 7 jours. Ces résultats sont en phase avec ceux de Owonubi et al., (2005) qui rapportent que le trempage des graines de *Azadirachta indica* pendant 1 h à 12 h a permis d'augmenter le taux de germination des graines de même que Ibrahim et Otegbeye (2004) avec les graines de *Adansonia digitata*. Avec une durée de trempage de 24 h ou de 36 h, le taux de germination par rapport celui de 12 h de trempage diminue. Robertson et Small (1977) affirment qu'une durée de trempage excessif des graines dans l'eau tiède peut réduire la germination. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que plusieurs espèces ont une perméabilité différente de leurs graines à l'eau et aux gaz (Owonubi et al., 2005). Diverses études ont été menées en ce qui concerne l'efficacité des différents traitements sur la germination des graines des essences forestières (Onyekwelu &

Akindele, 2002 ; Onyekwelu, 2005). Mais certaines des méthodes s'avèrent dangereuses pour les utilisateurs comme l'exemple de l'utilisation de la méthode de la levée de dormance par l'acide sulfurique (H_2SO_4). En effet, nos résultats ont montré que le prétraitement à l'acide sulfurique 98 % pendant 1h de trempage a donné un faible taux de germination des graines comparé aux autres prétraitements à l'acide à la même concentration mais à des temps différents. C'est ainsi que, Schmidt (2000) a estimé que, dans la plupart des cas des traitements portés sur les graines pour stimuler leur germination, plusieurs facteurs doivent être pris en compte, il s'agit du facteur temps, le risque de sécurité au cours de l'opération, la disponibilité des équipements et le coût relatif des méthodes sont importantes à considérer par rapport l'avantage physiologique. Les résultats ont montré aussi que l'acide avec une concentration de 75 % et une durée de trempage de 30 mn a donné le taux de germination le plus élevé avec un temps de latence le plus court (3 jours) et une vitesse plus rapide (DM=3 jours). Ces résultats corroborent ceux de Amusa (2011) qui a comparé trois (3) concentrations d'acide (10 % ; 50 % et 98 %) sur les graines de *Afzelia africana*. Dans son étude, c'est la concentration de 50 % avec une durée de trempage de 10 mn et celle de 98 % avec durée de trempage de 30 mn qui ont donné le meilleur taux de germination (83 %). En effet la concentration de 75 % se trouve entre les concentrations 50 % et 98 % et pourrait donner le même résultat que ces dernières. Parmi les prétraitements eau tiède 12 h, acide 75 % 30 mn et scarification mécanique, c'est l'acide qui est plus efficace pour une germination rapide et uniforme. En effet, plus la rupture du tégument de *Afzelia africana* est rapide, plus la germination est rapide et son taux est élevé. Il est d'autant plus vrai qu'une cause de la dormance des graines est la présence d'un tégument dur qui empêche l'entrée d'eau, l'échange de gaz et/ou la contrainte mécanique de l'embryon (Mayer et Maber, 1963). En pépinière, l'analyse de ce résultat montre que l'acide 75 % pendant 30 mn et la scarification ont donné le taux le plus élevé suivi du trempage à l'eau tiède et du témoin. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que la durée de germination des graines témoins est trop lente et certaines ont fini par pourrir. Cela peut être dû aux très fortes températures des mois chauds et par conséquent l'effet de la chaleur a eu un impact sur la levée des témoins.

Conclusion

La présente étude a mis en évidence l'effet des prétraitements sur la germination des graines de *A. africana*. Les résultats des tests de germination ont montré que l'acide 75 % avec un temps de trempage de 30 mn a donné le meilleur taux de germination. Pour le traitement eau tiède, la meilleure germination est obtenue avec une durée de trempage de 12 h. Ces résultats issus du test de germination vont contribuer à la connaissance de la

sylviculture de l'espèce et pourront constituer un outil de décision pour la prise en compte de cette dernière dans le programme de restauration des écosystèmes dégradés ainsi que la conservation et la protection de l'espèce contre les effets néfastes de l'action anthropique et du changement climatique. En définitive, cette étude a permis de comprendre que les meilleurs traitements pour la germination de graines de *A. africana* sont l'acide sulfurique 75 % et l'eau tiède pendant respectivement 30 mn et 12 H de trempage. Il sera donc conseillé aux sylviculteurs d'utiliser cette méthode pour une meilleure prise en compte de cette espèce menacée de disparition.

Toutefois une étude beaucoup plus approfondie sur l'évolution de l'espèce dans le milieu naturel (in situ) allant jusqu'à la production de bois ou de biomasse permettra de mieux appréhender son écosystème et par conséquent sa gestion durable.

Remerciements:

Nous remercions le Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie (LAFE) et le Laboratoire de Chimie et Physique des Matériaux (LPCM) de l'Université Assane SECK de Ziguinchor pour leurs soutiens et contributions dans ce travail.

Conflits d'Interets : Les auteurs attestent sur l'honneur qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt.

Contributions des auteurs

Aly Diallo, Boubacar Camara et Arfang Ousmane Kémo Goudiaby ont contribué, à part égale, à la conception de cette étude, aux expérimentations en laboratoire et à la rédaction de cette publication. Babacar Ndiaye et Saran Diallo ont également contribué aux expérimentations en laboratoire et à la rédaction. Tous les auteurs ont contribué à la révision du manuscrit.

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

Declaration de financement: Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Amusa T. O. (2011). Effects of three pre-treatment techniques on dormancy and germination of seeds of *Azizelia africana* (Sm. ex Pers.). *Journal of Horticulture and Forestry*, 96–103.

2. Assogbadjo A. E., Glele Kakai R., et Sinsin B. (2010). *Afzelia africana* caesalpiniaceae. *Etat actuel de la diversité végétale*. 76 p.
3. Bewley J.D. (1997). Seed Germination and Dormancy. *Am. Soc. Plant Physiol.* 9, 1055–1066.
4. Dardour M., Daroui E. A., Boukroute A., Kouddane N. E. et Berrichi A., 2014, Etude de prétraitements des graines de *Brachychiton populneus* (Schott & Endl.). *Environ. Sci.* 5 (6) (2014) 1877-1884.
5. Diatta C.D., Gueye M., Akpo L.E. (2013). Les plantes médicinales utilisées contre les dermatoses de la pharmacopée Bainouk de Djibonke, Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, (70), 5599-5607.
6. FAO (2007). *État des forêts du monde*, Rome 5: 21 - 22.
7. FAO (2008). Analyse des aspects socioéconomiques des produits forestiers non-ligneux (PNFL) en Afrique Centrale 34 p.
8. Ibrahim A., Otegbeye G.O. (2004). Methods of achieving optimum germination in *Adansonia digitata*. *Bowen Journal of Agriculture*. Volume 1 (1). 53-58
9. Lachiheb K., Neffati M., Zid E. (2004). Aptitudes germinatives de certaines graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale, *In* : Ferchichi A. (comp.), Ferchichi A. (collab.). *Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens*. Zaragoza : CIHEAM, 2004, p. 89-93 (Cahiers Options Méditerranéennes ; n. 62).
10. Mayer A. et Maber P. (1963), *The Germination of seeds*. Pergamon press, Oxford. 236p.
11. Ndiaye O., Goudiaby A.O.K., et Sambou A. (2018). Effets of substrate ou germination and growth of *Moringa oleifera* Lam., *Acacia mellifera* (Vahl) Benth. and *Zizyphus mauritiana* Lam. Seedhings. *REFORESTA*, (6), 86-99.
12. Nwoboshi L. C. (1982). *Tropical Silviculture principles and techniques*. Ibadan *University press*, Nigeria, 333pp
13. Olmez Z., Yahyaoglu Z., Temel F. et Gokturk A. (2008). Effects of some pretreatments on germination of bladder-senna (*Colutea armena* Boiss. and Huet.) and smoke-tree (*Cotinus coggygria* Scop.) seeds, *Journal of Environmental Biology*, 29(3), 319-323.
14. Oboho E.G., Ogana F.N. (2012). Effects of varying hot water temperatures on the germination and early growth of *Dialium guineense* (Willd) seeds. *Annals of Biological Research*, 3 (3):1247-1254
15. Ochsner P., Nathan I., Pedersen A. (2001). Comment atteindre les populations rurales dans le développement pays avec matériel végétal de qualité arbre. Aider les propriétaires forestiers, les agriculteurs et les intervenants la prise de décision. Union internationale des Actes

- des forêts de l'Organisation de recherche de l'Extension Working party (56- 06-03) Symposium 2001.
16. Onyekwelu J. C, Akindele L. O. (2002). Effects of pre-treatments on the germination of the seeds of *Chrysophyllum albidum*. *Applied Tropical Agriculture* 7: 23 – 28.
 17. Onyekwelu J. C. (2005). Appropriate pre-treatment technology for breaking dormancy and regularizing germination of *Irvingia gabonensis* seeds. *The Nigeria Journal of Forestry* Vol. 34 (1 and 2): 88 – 97.
 18. Owonubi J. J, Otegbeye G. O, Nwokedi C., 2005, Development of Pregermination technique for *Azadirachta indica*: preliminary investigation. In: Sustainable Forest Management in Nigeria: Lessons and Prospects (eds. L. Popoola, P. Mfon and P.I. Oni). Proceedings of the 30th Annual Conference of the Forestry Association of Nigeria, held in Kaduna, Kaduna State.7-11th November, 2005. pp 29-38.
 19. Padonoue A., Kassa B., Assogbadjo A. E., Chakeredza S., Babatoundé B. et Glélé R. (2013). Differences in germination capacity and seedling growth between different seed morphotypes of *Azizelia africana* Sm. in Benin (West Africa). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* (2013) 88 (6) 679–684.
 20. Robertson B. et Small J., 1977, Germination of *Jubaeopsis caffra* seeds. *Principles* 21: pp114-122.
 21. Sanogo I.S. (2015). Essais de germination et conservation de fruits et graines de quelques espèces ligneuses à usages multiples au Mali. PhD University of Gand, Belgique 231 p.
 22. Schmidt L. (2000). Guide to handling of tropical and subtropical forest seeds. Danida forest seed centre (DFSC). Humle back, Denmark, 511p.

Dynamique Spatio-Temporelle et Intérêt Pour la Conservation de la Forêt Classée de Goin-Débé, Une Aire Protégée Menacée de Disparition à l'Ouest de la Côte d'Ivoire

Djah François Malan, Professeur Titulaire

Université Nangui Abrogoua, Laboratoire de Botanique et de Valorisation de la Diversité Végétale, Côte d'Ivoire

Ménéké Distel Kougbo, Attaché de Recherche

Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire

Mathieu Dogba, Attaché de Recherche

Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

Amenan Sylvie Konan, Docteur

Université Nangui Abrogoua, Laboratoire de Botanique et de Valorisation de la Diversité Végétale, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p231](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p231)

Submitted: 08 August 2023

Accepted: 17 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Malan D.F., Kougbo M.D., Dogba M. & Konan A.S. (2023). *Dynamique Spatio-Temporelle et Intérêt Pour la Conservation de la Forêt Classée de Goin-Débé, Une Aire Protégée Menacée de Disparition à l'Ouest de la Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 231. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p231>

Résumé

La forêt classée de Goin-Débé considérée comme zone d'importance pour la biodiversité, est depuis la crise post-électorale, l'objet d'exploitations agricoles et d'infiltrations par des paysans, mettant ainsi en péril son statut de refuge de la biodiversité. Ainsi, cette étude vise à évaluer l'état de conservation de la végétation et de la flore de cette forêt. Pour ce faire, une étude diachronique a d'abord été effectuée à partir des images satellitaires Landsat TM des années 1988 et 1998 et des images Landsat OLI/TIRS de l'année 2020. Ensuite, un inventaire floristique a été effectué dans les différentes formations végétales de la forêt classée. L'exploitation des images satellitaires couplée aux analyses des données d'inventaire floristique révèle des dynamiques diamétralement opposées entre les périodes 1988 à 1998 et 1998 à 2020 dans la végétation. La première période a été marquée par un gain considérable en termes de superficie des jachères du sud-ouest au nord-ouest

de la forêt classée. Alors que la seconde a vu une régression significative des surfaces des formations végétales au profit des exploitations cacaoyères. Les relevés floristiques ont permis d'inventorier 220 espèces appartenant à 176 genres répartis en 63 familles. Cette flore comporte 15 espèces menacées (1 EN, 13 VU, 1 NT) et 22 espèces endémiques du bloc forestier de la Haute Guinée (GCW). Ces espèces, entre autres éléments, confèrent à cette forêt un intérêt particulier qui devrait susciter plus d'actions pour sa conservation.

Mots-clés: Dynamique spatio-temporelle, forêt classée, Goin-Débé

Spatio-Temporal Dynamics and Conservation Interest of the Goin-Débé Classified Forest, an Endangered Protected Area in Western Côte d'Ivoire

Djah François Malan, Professeur Titulaire

Université Nangui Abrogoua, Laboratoire de Botanique et de Valorisation de la Diversité Végétale, Côte d'Ivoire

Ménéké Distel Kougbo, Attaché de Recherche

Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire

Mathieu Dogba, Attaché de Recherche

Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

Amenan Sylvie Konan, Docteure

Université Nangui Abrogoua, Laboratoire de Botanique et de Valorisation de la Diversité Végétale, Côte d'Ivoire

Abstract

Since the post-electoral crisis, the Goin-Débé classified forest, considered as an area of importance for biodiversity, has been subject to agricultural exploitation and infiltration by peasants, thus jeopardizing its status as a biodiversity refuge. The aim of this study is to assess the state of conservation of the forest's vegetation and flora. To do this, a diachronic study was first carried out using Landsat TM satellite images from 1988 and 1998 and OLI/TIRS images from. Next, a floristic inventory was carried out in the different plant formations of the classified forest. Satellite images and floristic inventory data reveal diametrically opposed vegetation dynamics between the periods 1988 to 1998 and 1998 to 2020. The first period was marked by a considerable gain in fallow area from the south-west to the north-west of the classified forest. The second period, on the other hand, saw a significant decline in the area of plant formations in favor of cocoa farms. Floristic surveys have identified 220 species belonging to 176 genera divided into 63

families. This flora includes 15 threatened species (1 EN, 13 VU, 1 NT) and 22 species endemic to the Upper Guinea Forest Block (GCW), among other elements that give this forest a particular interest for conservation.

Keywords: Spatio-temporal dynamics, classified forest, Goin-Débé

Introduction

Les aires protégées sont nées de la volonté d'assurer la survie de la diversité floristique et faunique face au phénomène de déforestation qui n'épargne aucun continent, ni aucun pays. Ainsi, dès 1968, l'État ivoirien a procédé à la mise en place d'un réseau d'aires protégées constitué de Parcs Nationaux, Réserves et de Forêts Classées, sur l'ensemble du territoire (Monza, 1996). Ceci répond au besoin de garantir une pérennisation de ses ressources naturelles. Cependant, ce pays a connu un rythme accéléré de déforestation qui a fait basculer sa couverture forestière dense humide de 8,14 millions d'hectares dans les années 1960 à 1,35 million d'hectares pour les années 2000 (Koné *et al.*, 2014).

Environ 62 % de cette déforestation est liée à l'expansion de l'agriculture (Nourtier et Vaudry, 2016). Cela va même au-delà des limites du domaine rural pour s'étendre jusqu'aux aires protégées et surtout aux forêts classées (Koné, 2015) entraînant ainsi leur dégradation voire même leur déclassement. Par ailleurs, cette situation s'est de plus en plus accentuée avec la succession des crises politico-militaires qu'a connues le pays ces dernières années (Goné Bi *et al.*, 2013 ; Assalé *et al.*, 2016). Pourtant, ces espaces constituent les principales aires de biodiversité en Côte d'Ivoire (Nourtier & Vaudry, 2016). Parmi ces aires, la forêt classée de Goin-Débé (FC de Goin-Débé), est considérée comme zone de priorité pour la conservation de la diversité faunique et floristique (Koné, 2015, PNUE, 2015).. Ce massif, classé patrimoine forestier de l'État Ivoirien en 1975, constituait avec la forêt classée du Cavally et le Parc national de Taï, patrimoine mondial, l'un des blocs forestiers les mieux conservés de l'Ouest ivoirien (Koné, 2015). Cependant, comme ce fut le cas du Parc national du mont Péko en 2002 (Sidibé *et al.*, 2020), la forêt classée de Goin-Débé a été prise comme butin de guerre suite à la crise post-électorale de 2010. Depuis lors, elle est l'objet d'exploitations agricoles et d'infiltrations massives (Kouamé, 2017, Amalaman *et al.*, 2020), mettant ainsi en péril son statut de refuge de la biodiversité. Par ailleurs, en dehors des études floristiques partielles de Bakayoko *et al.* (2004), aucune étude, jusqu'à ce jour ne s'est intéressé de près à l'état de la végétation et de la flore de ce massif forestier, qui constitue pourtant, une priorité de conservation de l'État de Côte d'Ivoire (PNUE, 2015). Ainsi, cette étude se propose d'évaluer l'état de conservation de la végétation et de la flore de la forêt classée de Goin-Débé afin d'en déterminer sa valeur de conservation. De

façon spécifique, elle se propose de (i) déterminer les transformations qui ont eu lieu dans sa végétation de 1988 à 2020, (ii) d'analyser l'intensité de ces transformations, dans le temps et dans l'espace et (iii) d'évaluer son intérêt pour la conservation à travers sa flore.

Matériel et méthodes

Sites d'étude

La forêt classée de Goin-Débé est localisée dans la zone Ouest de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 6°12'0'' et 6°29'0'' Nord et les longitudes 8°06'0'' et 7°30'0'' Ouest (figure 1). Elle est soumise aux régimes climatiques de type subéquatorial (Koné *et al.*, 2014) avec une précipitation moyenne annuelle de 1700 mm et une température moyenne mensuelle qui varie entre 24,5° et 26,5 °C. Ce massif forestier de 133170 ha appartient au secteur ombrophile du domaine Guinéen de Guillaumet et Adjanohoun (1971). Il s'agit plus précisément de "forêts denses humides sempervirentes à *Eremospatha macrocarpa* (Mann et Wendl.) Wendl. et *Diospyros mannii* Hiern " (Koné, 2015). Toutefois, cette forêt classée présente des signes de dégradation très avancés du fait de l'expansion de l'agriculture (Kouassi *et al.*, 2021).

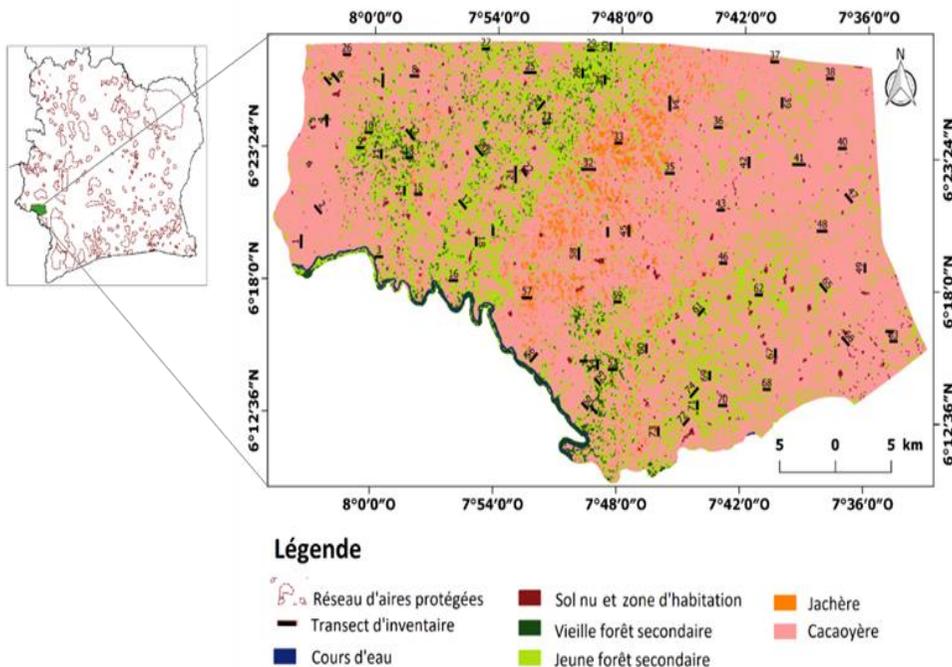


Figure 1. Carte de la situation géographique de la forêt classée de Goin Débé

Méthodes

Analyse de la dynamique de l'occupation du sol

La détermination des changements diachroniques dans l'occupation du sol de la forêt classée de Goin-Débé a nécessité l'utilisation de trois images satellitaires d'une résolution spatiale de 30 mètres, acquises sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov/> au format Geotif (P198/R056). Il s'agit des images Landsat TM du 14 décembre 1988 et du 29 février 1998 et l'image Landsat OLI/TIRS du 05 janvier 2020. Elles ont été acquises pendant la saison sèche où la grande différence spectrale entre différentes classes d'occupation du sol est observée (Oszwald, 2005). Un traitement de ces images a été effectué au préalable en vue d'analyser les changements dans l'occupation du sol.

Traitement des images satellitaires

Il est question d'aboutir à la détection de l'occupation du sol de la FC de Goin-Débé en 1988, 1998 et 2020, en se servant du logiciel ENVI version 5.1.

Tout d'abord, une correction atmosphérique a été faite sur les trois images. Un rehaussement et la délimitation de la zone suivant les limites administratives de la FC de Goin-Débé ont été faits selon la méthode de Leboeuf & Paquet (2013). Ensuite, dans l'optique de faire une bonne discrimination des types de formations végétales (Kpangui, 2015), une composition colorée 'fausse couleur' (4/2/3) a été faite au préalable. C'est-à-dire les bandes proches infrarouges dans le rouge, celles du vert dans le vert et celles du rouge dans le bleu. Enfin, les images ont subi une classification supervisée à partir de l'algorithme du Neural Net sur cette composition. Ce choix est dû au fait que cet algorithme exploite la distance spectrale et non la signature spectrale estimée par la probabilité d'appartenance (Jofack *et al.*, 2016). Les classes d'occupation du sol ont été retenues pour cette étude sur la base des vérifications sur le terrain effectuées en décembre 2020. Pour la validation de la qualité des classifications, une matrice de confusion, la précision globale et l'indice de Kappa (Girard & Girard, 1999) ont été générés pour chacune des images.

Analyse des changements dans l'occupation du sol

En se servant du logiciel QGIS version 2.18.15, les superficies des différentes unités d'occupation du sol ont été calculées pour chaque image. Ceci a permis de déterminer les paramètres d'évolution de l'occupation du sol, tel que le taux moyen annuel d'expansion spatiale (Équation 1) et le taux de conversion (Équation 2) de chaque unité d'occupation du sol (Oloukoï *et al.*, 2007 ; Coulibaly *et al.*, 2016) entre les périodes de 1988 à 1998 et 1998 à 2020. Deux matrices de transition ont ensuite été établies afin de mettre en évidence

les différentes formes de conversion qu'ont subies les unités paysagères de la forêt classée de Goin-Débé entre ces deux périodes. Par ailleurs, ces matrices ont également permis de faire le bilan des persistances, des gains et des pertes en termes de superficie des catégories d'occupation du sol. Le gain brut pour chaque catégorie est obtenu en soustrayant la persistance du total de la colonne, tandis que la perte brute est obtenue en soustrayant la persistance du total de la ligne. La persistance étant les valeurs situées dans la diagonale de la matrice.

$$T = \frac{\ln S_2 - \ln S_1}{(t_2 - t_1) \times \ln 2,71828} \times 100 \quad (1)$$

$$Tc = \frac{S_{it1} - S_{is}}{S_{it1}} \times 100 \quad (2)$$

Dans ces équations, T = *taux d'expansion spatiale annuelle (%)* ; $S1$ et $S2$ = *superficie d'une unité paysagère à la date $t1$ et $t2$* ; Tc = *taux de conversion (%)* ; S_{it1} = *superficie de l'unité d'occupation de sol i à la date initiale $t1$* ; S_{is} = *superficie de la même unité demeurée stable à la date $t1$* .

Méthodes de collecte et d'analyse des données floristiques

La collecte des données floristique s'est déroulée de mai à juin 2021. Pour ce faire, une disposition aléatoire de 222 parcelles circulaires réparties sur 74 transects a d'abord été faite sur une carte d'occupation du sol issue d'un traitement préliminaire des produits de télédétection de 2020 de la forêt classée. Cette disposition suit les classes d'utilisation des terres de l'approche Haut Stock de Carbone (Rosoman *et al.*, 2017). Il s'agit des Forêts à canopée fermée ($n= 53$ parcelles), des forêts à canopée ouverte ($n= 58$ parcelles), des zones d'agriculture ($n= 51$), des végétations riveraines ($n= 45$ parcelles) et des sols nus ou zones d'habitation ($n= 15$ parcelles). Ensuite, à l'intérieur de chacune des parcelles, les espèces arborescentes dont le diamètre à hauteur de poitrine (dbh) est supérieur ou égal à 5 cm ont été mesurées et identifiées. Enfin, dans les mêmes parcelles, toutes les espèces végétales présentes dans les strates arbustives et herbacées ont été inventoriées. Par ailleurs, entre deux parcelles, un relevé itinérant ciblant toutes les espèces présentes et non rencontrées précédemment a été réalisé.

À l'issue de la phase de collecte de données, l'intérêt pour la conservation de la FC de Goin-Débé a été analysé en évaluant les paramètres tels que la diversité floristique, la distribution phytogéographique et le statut des espèces ainsi que le potentiel de régénération du massif forestier.

Evaluation rapide de la diversité floristique

La liste des espèces rencontrées a d'abord été établie puis le coefficient de Simberlof (1970) qui correspond au rapport du nombre d'espèces par genre, a été calculé. Ce coefficient repose sur le principe qu'une flore est d'autant plus diversifiée qu'elle contient moins de grands genres et de grandes familles multispécifiques. Aussi, une faible valeur (proche de 1) de ce coefficient témoigne-t-elle d'une forte diversité de la flore (coexistence d'espèces génétiquement distantes). En revanche, une forte valeur de ce ratio s'interprète comme étant le signe de la présence d'espèces génétiquement proches. L'analyse du spectre des familles est associée à l'utilisation de ce ratio.

Distribution phytogéographique et statut de conservation des espèces

L'intérêt pour la conservation est fortement lié à la distribution phytogéographique des espèces (aire de répartition). Ainsi, cette partie de l'analyse a consisté à relever les endémismes et identifier les espèces à large diffusion (Aké Assi, 2001 & 2002), mais également à identifier celles classées rares ou menacées d'extinction. La liste de référence internationalement connue et utilisée est la liste rouge de l'IUCN (IUCN, 2020, 2021 & 2022). Les Catégories et Critères de l'IUCN pour la Liste Rouge se veulent un système simple et facile à comprendre pour classer les espèces animales ou végétales qui risquent de s'éteindre à l'échelle mondiale. Une gamme de critères quantitatifs permet l'inscription dans les catégories En danger critique d'extinction, En danger, Vulnérable et Quasi menacé. Pour cette étude, toutes les catégories « menacées » (VU, EN, CR, EW, EX) et adjoint, une catégorie proche (NT) ont été considérées. Les espèces dites de préoccupation mineure (LC) n'ont pas été prises en compte. Pour rappel, un taxon est dit En danger (EN) lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu'il remplit l'un des critères définis (A à E) et, en conséquence, qu'il est confronté à un risque très élevé d'extinction à l'état sauvage. De même, un taxon est dit Vulnérable (VU) lorsque les meilleures données disponibles indiquent qu'il remplit l'un des critères définis (A à E) et, en conséquence, qu'il est confronté à un risque élevé d'extinction à l'état sauvage.

Potentiel de régénération

Le potentiel de régénération de la flore de la FC de Goin-Débé a été apprécié à travers l'interprétation des structures végétales impliquant les classes de diamètres. Pour ce faire, en se servant du logiciel R version 3.1.1, les diamètres à hauteur de poitrine mesurés par catégorie de formation végétale ont été introduits dans la fonction de densité de probabilité (Équation 3) connue sous le nom de loi de Weibull (Rondeux, 1999). L'estimation du paramètre de forme (c) de cette loi permet de déterminer le potentiel de

régénération (Glèlè *et al.*, 2016 ; Kershaw *et al.*, 2017), d'une formation végétale (tableau 1).

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right) \quad (3)$$

Dans cette fonction, $x =$ diamètre ou hauteur d'une tige ; $f(x) =$ valeur de densité de probabilité au point x ; $a =$ paramètre de position ; $b =$ paramètre d'échelle ou de taille ; et $c =$ paramètre de forme lié à la structure des classes de diamètres ou des classes de hauteurs considérées. Dans cette étude, $a = 0$, car l'inventaire floristique prend en compte tous les individus

Tableau 1. Interprétation du paramètre de forme de la loi de Weibullk

	Distribution	Interprétation
$c < 1$	J renversé ou en « L »	Peuplements multispécifiques à fort potentiel de régénération.
$c = 1$	Exponentielle décroissante	Populations à fort potentiel de régénération, mais présentant un problème de survie lors de la transition entre stades de développement.
$1 < c < 3,6$	Asymétrique positive	Peuplements artificiels monospécifiques avec prédominance relative d'individus jeunes, mais peut aussi refléter des populations à faible potentiel de régénération dû aux actions exogènes, surtout dans les petites classes de diamètres
$c = 3,6$	Symétrique	Populations à faible potentiel de régénération dû aux actions exogènes
$c > 3,6$	Asymétrique négative	Peuplements monospécifiques à prédominance d'individus âgés, et de populations dégradées (parfois en extinction) à très faible potentiel de régénération dû aux pressions anthropiques.

Résultats

Etats de l'occupation du sol de la FC de Goin-Débé de 1988, 1998 et 2020

La classification supervisée des images Landsat de 1988, de 1998 et de 2020 a permis de déterminer six classes d'occupation du sol dans la forêt classée de Goin-Débé (figure 2). Il s'agit des cours d'eau, des sols nus et zones d'habitation, des vieilles forêts secondaires, des jeunes forêts secondaires, des jachères et des plantations cacaoyères. Les vieilles forêts secondaires qui en 1988, couvraient environ 85 % de la superficie de la FC de Goin-Débé (tableau 2), représentent aujourd'hui (2020) 0,6 % de cette surface (tableau 3). À l'opposé, les plantations cacaoyères qui occupaient 4,20 % de la superficie en 1988 (tableau 2) ont connu une expansion considérable entre 1998 et 2020 pour atteindre 75,25 % de la superficie de la forêt classée (tableau 3). Toutefois, la période de 1988 à 1998 est marquée par une forte expansion des jachères et par une régression significative des plantations cacaoyères et des sols nus et zones d'habitation (tableau 2). Quant à la période de 1998 à 2020,

elle est marquée par une régression significative de la superficie des vieilles forêts secondaire et une expansion considérable des plantations cacaoyère et des sols nus et zones d'habitation (tableau 3). Par ailleurs, une légère expansion des jeunes forêts secondaires et des jachères est observée au cours de cette même période.

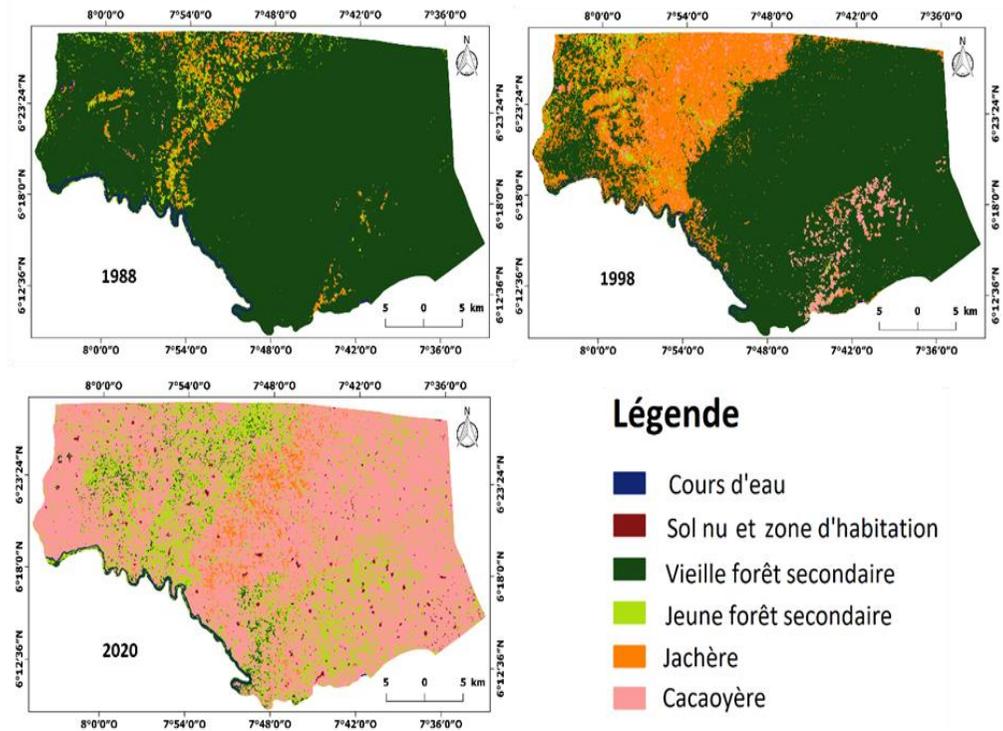


Figure 2. Carte d'occupation du sol de la forêt classée de Goin-Débé en 1988, 1998 et 2020

Tableau 2. Taux annuel d'expansion spatiale (TC) et de conversion (T) des unités d'occupation de sol de la FC de Goin-Débé entre 1988 et 1998. *S* : superficie, *Sol et zh* : Sol nu et zone d'habitation, *VFS* : Vieilles forêts secondaires, *JFS* : jeunes forêts secondaires

	1988		1998		TC (%)	T (%)
	S(ha)	S(%)	S(ha)	S(%)		
Cours d'eau	295.74	0.22	326.79	0.25	10.50	1.00
Sol et zh	97.65	0.07	12.33	0.01	-87.37	-20.69
VFS	112551.21	84.76	104867.55	78.98	-6.83	-0.71
JFS	8182.44	6.16	7868.16	5.93	-3.84	-0.39
Jachère	6076.62	4.58	17727.57	13.35	191.73	10.71
Cacaoyère	5576.76	4.20	1978.02	1.49	-64.53	-10.37
Total	132780.42	100.00	132780.42	100.00		

Tableau 3. Taux annuel d'expansion spatiale (TC) et de conversion (T) des unités d'occupation de sol de la FC de Goin-Débé entre 1998 et 2020. *S* : superficie, *Sol et zh* : Sol nu et zone d'habitation, *VFS* : Vieilles forêts secondaires, *JFS* : jeunes forêts secondaires

	1998		2020		TC (%)	T (%)
	S(ha)	S(%)	S(ha)	S(%)		
Cours d'eau	326.79	0.25	361.08	0.27	10.49	0.45
Sol et zh	12.33	0.01	461.70	0.35	3644.53	16.47
VFS	104867.55	78.98	797.40	0.60	-99.24	-22.18
JFS	7868.16	5.93	11913.30	8.97	51.41	1.89
Jachère	17727.57	13.35	19334.52	14.56	9.06	0.39
Cacaoyère	1978.02	1.49	99912.42	75.25	4951.13	17.83
Total	132780.42	100.00	132780.42	100.00		

Évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol de la FC de Goin-Débé entre 1988 et 2020

De 1988 à 2020, toutes les classes d'occupation du sol de la FC ont connu une dynamique régressive (Perte) ou progressive (Gain) en termes de superficie. Les vieilles forêts secondaires, les jachères et les jeunes forêts secondaires sont dans l'ordre décroissant, les classes d'occupation du sol qui ont connu une importante dégradation (tableau 4 et 5). En 1988 la FC présentait déjà des zones antropisées dissimulées dans les formations forestières. Toutefois, sur la période de 1988 à 1998 il a été observé une reconstitution de la forêt (tableau 4). Près de la moitié (48,33 %) de la superficie initiale des plantations cacaoyères a été convertie en jachères, 27,61 % en jeunes forêts secondaires et 18,57 % en vieilles forêts secondaires. Dans la même période, 30,36 % de la superficie initiale des jeunes forêts secondaires, 8,23 % des vieilles forêts secondaires et 42,86 % des sols nus et zones d'habitation ont été convertis en jachères. L'effet inverse est observé entre 1998 et 2020 (tableau 5) où plus de la moitié (75,23 %) de la superficie des vieilles forêts secondaires a été convertie en plantation cacaoyères. Dans le même temps, ces plantations ont affecté 74,68 % de la superficie initiale des jachères, 77,91 % des jeunes forêts secondaires et la totalité de la superficie initiale des sols nus et zones d'habitations.

Tableau 4 . Intensité des changements opérés par les unités d'occupation du sol de la FC de Goin-Débé entre 1988 et 1998. *S* : superficie, *Sol et zh* : Sol nu et zone d'habitation, *VFS* : Vieilles forêts secondaires, *JFS* : jeunes forêts secondaires.

	Cours d'eau	Sol et zh	VFS	JFS	Jachère	Cacaoyère	Total de 1988 (%)	Perte
Cours d'eau	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.22	0.12
Sol et zh	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.07	0.07
VFS	0.13	0.01	74.56	2.16	6.98	0.91	84.76	10.20
JFS	0.01	0.00	3.19	0.98	1.87	0.11	6.16	5.18
Jachère	0.00	0.00	0.33	1.61	2.45	0.19	4.58	2.13
Cacaoyère	0.00	0.00	0.78	1.16	2.03	0.23	4.20	3.97
Total de 1998 (%)	0.24	0.01	78.97	5.93	13.35	1.49	100.00	21.67
Gain	0.14	0.01	4.41	4.95	10.91	1.26	21.67	

Tableau 5. Intensité des changements opérés par unités d'occupation du sol de la FC de Goin-Débé entre 1998 et 2020. *S* : superficie, *Sol et zh* : Sol nu et zone d'habitation, *VFS* : Vieilles forêts secondaires, *JFS* : jeunes forêts secondaires

	Cours d'eau	Sol et zh	VFS	JFS	Jachère	Cacaoyère	Total de 1988 (%)	Perte
Cours d'eau	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.01	0.22	0.12
Sol et zh	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.07	0.07
VFS	0.13	0.01	74.56	2.16	6.98	0.91	84.76	10.20
JFS	0.01	0.00	3.19	0.98	1.87	0.11	6.16	5.18
Jachère	0.00	0.00	0.33	1.61	2.45	0.19	4.58	2.13
Cacaoyère	0.00	0.00	0.78	1.16	2.03	0.23	4.20	3.97
Total de 1998 (%)	0.24	0.01	78.97	5.93	13.35	1.49	100.00	21.67
Gain	0.14	0.01	4.41	4.95	10.91	1.26	21.67	

Intérêt pour la conservation de la forêt classée de Goin-Débé Richesse spécifique et espèces caractéristiques

Une liste de 220 espèces (dont six identifiées jusqu'au rang générique) a été établie suite à l'inventaire floristique dans la FC de Goin-Débé. Ces espèces se répartissent en 176 genres rangés dans 63 familles. Suivant la figure 3, les familles les plus représentées dans cette flore sont les Leguminoseae (32 espèces), les Euphorbiaceae (15), les Rubiaceae (14), les Malvaceae (12 espèces) et les Apocynaceae (11). Ces cinq familles représentent à elles seules 40 % de la flore échantillonnée. A l'opposé, 13,36% des familles sont monospécifiques. Le ratio Espèce/Genre est proche de 1,2. Ceci montre qu'à ce stade de l'analyse, la flore est bien diversifiée. Les genres les plus représentés sont, *Diospyros* (5 espèces), *Ficus* et *Macaranga* (4 espèces chacun), et *Bridelia* (3 espèces).

Concernant les espèces caractéristiques du type de forêt originel, seules *Diospyros mannii*, *Eremospatha macrocarpa*, *Chrysophyllum pruniforme*

Engl., *Pachypodanthium staudtii* (Engl. & Diels) Engl. & Diels et *Scytopetalum tieghemii* A.Chev. ex Hutch. & Dalziel ont été observées.

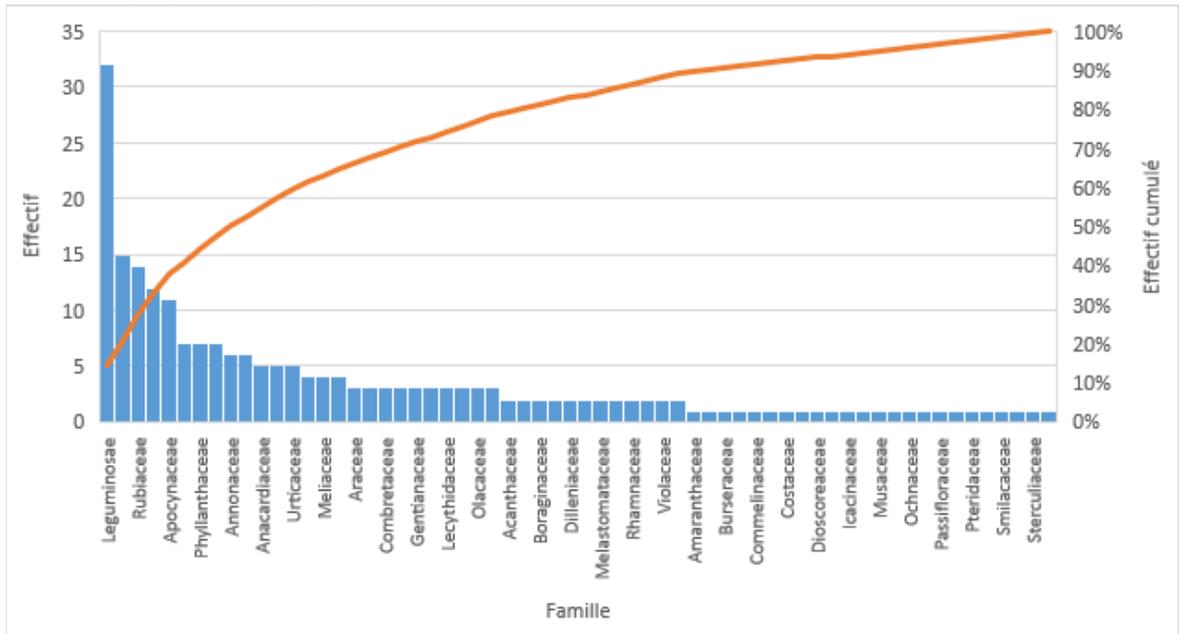


Figure 3. Spectre des familles de plante des placettes échantillonnées dans la forêt classée de Goïn-Débé

Distribution phytogéographique et statut des espèces

L'analyse de la répartition phytogéographique (figure 4) indique une présence massive des taxons communs aux blocs forestiers ouest-africains et congolais (GC) à hauteur de 66 %. La flore contient aussi 22 % de taxons communs aux régions guinéo-congolaise et soudano-zambézienne (GC-SZ) ; ce qui est normal vu la situation géographique de la FCGD. En revanche, concernant les espèces à aire de distribution restreinte, 22 (10 % de la flore) ont été observées. Elles sont toutes endémiques du bloc forestier de la Haute Guinée (GCW), qui part du sud du Sénégal à l'Ouest du Togo. Aucune endémique stricte de la Côte d'Ivoire n'a été répertoriée.

Par ailleurs, 15 espèces (tableau 6) figurent dans des catégories concernées de la Liste Rouge (IUCN, 2020). *Placodiscus attenuatus* (EN, A1, B1+2c) est considéré comme confronté à un risque très élevé d'extinction à l'état sauvage à cause de sa zone d'occurrence qui se réduit drastiquement (moins de 5000 km²) dû à l'extension agricole et à l'exploitation anarchique du bois. Dans leur majorité, le risque élevé d'extinction de ces plantes à l'état naturel est lié à la réduction de leurs effectifs ($\geq 50\%$) ou de leurs zones d'occurrence (A 1c ou d). Il s'agit par exemple de *Entandrophragma angolense* (Welw.) C.DC., *Copaifera salikounda* Heckel, *Lophira alata* Banks ex

Gaertn. f., *Entandrophragma cylindricum* (Sprague) Srague et *Terminalia ivorensis* A.Chev..

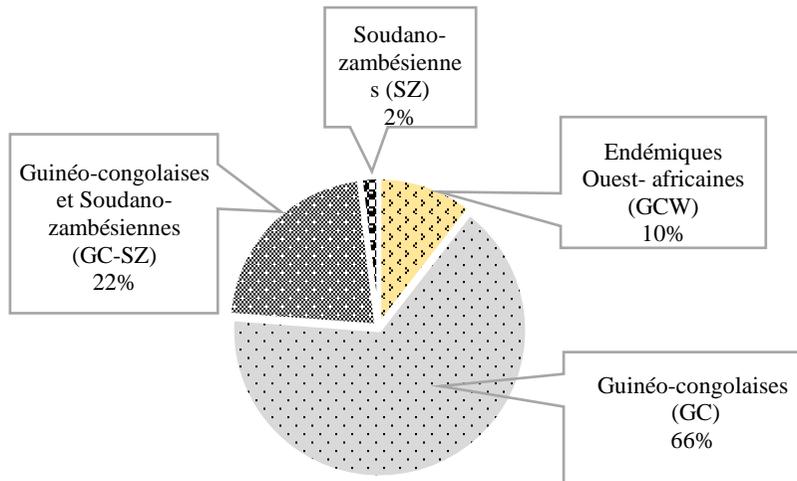


Figure 4. Répartition phytogéographique des taxons de la flore de la forêt classée de Goin-Débé

Tableau 6. Espèces d'intérêt pour la conservation rencontrées dans la forêt classée de Goin-Débé ; GCW : endémique ouest-africaine ; EN (en danger (IUCN, 2020) ; VU : Vulnérable (IUCN, 2020) ; NT : quasi menacée (IUCN, 2020) ; CAR : espèce caractéristique de la forêt à *Eremospatha macrocarpa* et *Diospyros manii*.

Famille	Espèce	Statut
Leguminosae	<i>Albizia ferruginea</i> (Guill. & Perr.) Benth.	VU A1cd
Rhizophoraceae	<i>Anopyxis klaineana</i> (Pierre) Engl.	VU A1cd
Gentianaceae	<i>Anthocleista nobilis</i> G.Don	GCW
Achariaceae	<i>Caloncoba brevipes</i> (Stapf) Gilg	GCW
Leguminosae	<i>Calpocalyx aubrevillei</i> Pellegr.	GCW
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum pruniforme</i> Engl.	CAR
Leguminosae	<i>Copaifera salikounda</i> Heckel	GCW VU A1d
Boraginaceae	<i>Cordia platythyrsa</i> Baker	VU A1d
Euphorbiaceae	<i>Croton aubrevillei</i> J. Leonard	GCW VU A2c
Leguminosae	<i>Dalbergia oblongifolia</i> G.Don	GCW
Leguminosae	<i>Dialium aubrevillei</i> Pellegr.	GCW
Ebenaceae	<i>Diospyros cooperi</i> (Hutch. & Dalziel) F.White	GCW
Ebenaceae	<i>Diospyros liberiensis</i> A.Chev. ex Hutch. & Dalziel	GCW
Ebenaceae	<i>Diospyros mannii</i> Hiern	CAR
Ebenaceae	<i>Diospyros vignei</i> F.White	GCW
Meliaceae	<i>Entandrophragma angolense</i> (Welw.) C. DC.	VU A1cd
Meliaceae	<i>Entandrophragma cylindricum</i> (Sprague) Srague	VU A1cd
Arecaceae	<i>Eremospatha macrocarpa</i> (Mann & Wendl.) Wendl.	CAR
Leguminosae	<i>Gilbertiodendron bilineatum</i> (Hutch. & Dalziel) Léonard	GCW VU A1c, B1+2c
Leguminosae	<i>Gilbertiodendron limba</i> (Scott Elliot) Léonard	GCW NT

Meliaceae	<i>Khaya anthotheca</i> (Welw.) C. DC.	VU A1cd
Ochnaceae	<i>Lophira alata</i> Banks ex Gaertn. f.	VU A1cd
Leguminosae	<i>Millettia lane-polei</i> Dunn	GCW
Rubiaceae	<i>Nauclea diderrichii</i> (De Wild & T.Durand) Merrill	VU A1cd
Malvaceae	<i>Nesogordonia papaverifera</i> (A.Chev.) Capuron	VU A1cd
Olacaceae	<i>Octoknema borealis</i> Hutch. & Dalziel	GCW
Annonaceae	<i>Pachypodanthium staudtii</i> (Engl. & Diels) Engl. & Diels	CAR
Sapindaceae	<i>Placodiscus attenuatus</i> J.B.Hall	GCW EN A1c, B1+2c
Leguminosae	<i>Samanea dinklagei</i> (Harms) Keay	GCW
Lecythidaceae	<i>Scytopetalum tieghemii</i> A.Chev. ex Hutch. & Dalziel	GCW CAR
Rubiaceae	<i>Tarenna vignei</i> Keay	GCW
Malvaceae	<i>Tarrietia utilis</i> (Sprague) Sprague	GCW
Combretaceae	<i>Terminalia ivorensis</i> A.Chev.	VU A1cd
Dilleniaceae	<i>Tetracera ahnifolia</i> (Gilg) Kubitzki	GCW
Leguminosae	<i>Xylocarpus evansii</i> Hutch.	GCW

Potentiel de régénération

À l'exception des jeunes forêts secondaires qui sont dominées par des arbres de 5 à 40 cm de diamètre, les trois autres formations végétales de la FC de Goin-Débé sont dominées par ceux de 10 à 40 cm de diamètre (figure 5). Toutefois, les vieilles forêts secondaires, les jeunes forêts secondaires et les jachères ont leur paramètre de forme (c) qui est inférieur à 1 (figure 5). De ce fait, elles représentent des peuplements multispécifiques à fort potentiel de régénération. Par contre, les plantations cacaoyères, du fait de leur paramètre de forme (c) qui est relativement égal à 1 (figure 5), sont caractérisées de populations à fort potentiel de régénération, mais présentant un problème de survie lors de la transition entre stades de développement.

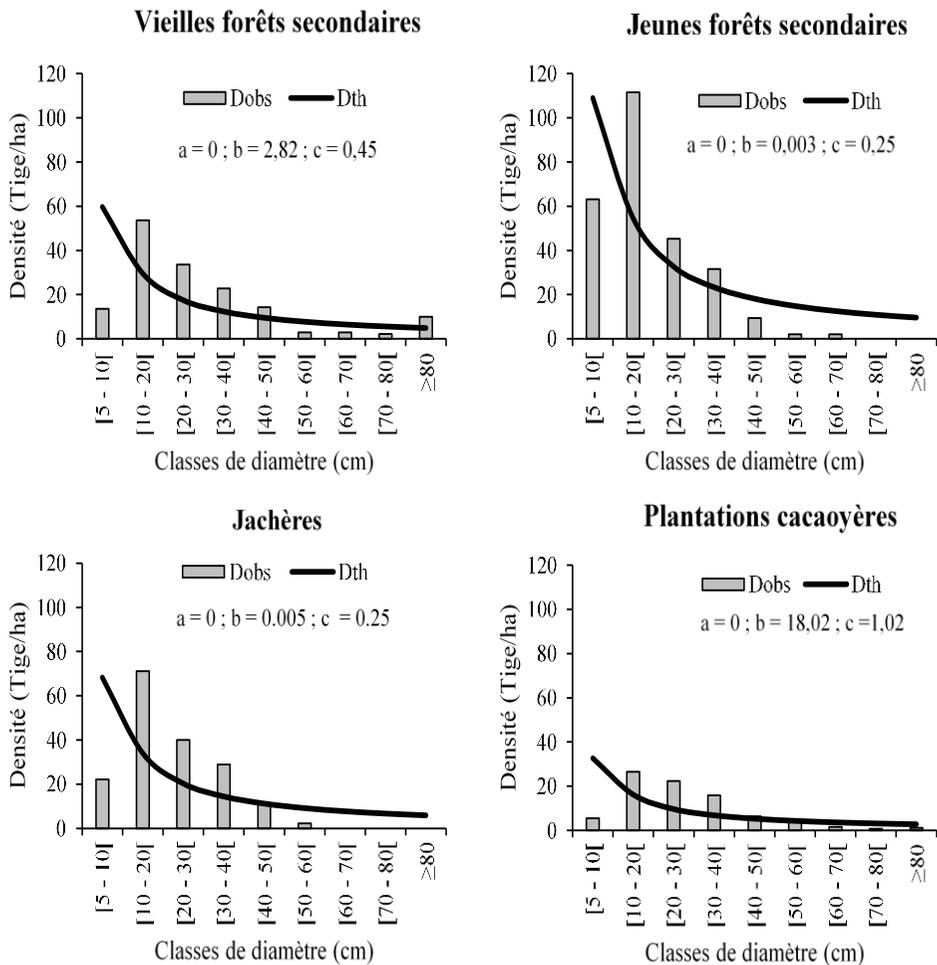


Figure 5. Capacité des différentes formations végétales à faciliter la régénération de la flore forestière dans la forêt classée de Goin-Débé. Dobs : Densité observée, Dth : Densité théorique.

Discussion

Les écosystèmes forestiers, plus particulièrement ceux des aires protégées, sont utiles et précieux à l’humanité grâce aux nombreux services qu’ils procurent. Il s’agit entre autres de la production de bois, des produits forestiers non ligneux, de la conservation de la biodiversité, de la protection de l’eau et des sols, des services culturels, de stockage de carbone et de l’atténuation des effets du changement climatique. Cependant, ces écosystèmes sont soumis à diverses menaces telles que l’orpaillage clandestin, la surexploitation du bois d’œuvre, l’agriculture etc. (Gboze *et al.*, 2020a). Pourtant, ces pressions affectent durablement ou définitivement la biodiversité et la résilience de ces zones d’importance écologique. Cela est le cas de la forêt

classée de Goin-Débé qui, après la crise post-électorale de 2010, a connu une infiltration massive des populations (Kouamé, 2017 ; Adje, 2020).

A ce propos, les analyses relatives aux changements diachroniques dans l'occupation du sol de cette forêt classée révèlent que la végétation y a connu deux dynamiques diamétralement opposées entre les périodes 1988 à 1998 et 1998 à 2020.

La période de 1988 à 1998 a été marquée par un gain considérable en termes de superficie des jachères du sud-ouest au nord-ouest de la forêt classée. Cette dynamique progressive observée est liée à la prise en main du massif forestier par la Société de Développement des Forêts (SODEFOR) à partir de 1975. En effet, les patrouilles régulières de la SODEFOR ont entraîné le déguerpissement des populations et la cessation des activités agricoles dans la forêt classée. Ainsi, suite à l'absence d'activités agricoles intenses, les espaces anciennement cultivés et habités ont été naturellement convertis en jachères grâce à leur potentiel floristique, comme l'ont montré Alexandre (1989) et Mitja et Puig (1991). Il s'agit des rejets et plantules (i.e., potentiel végétatif), du stock de graines du sol (i.e., potentiel séminal édaphique) et enfin des apports postérieurs à l'ouverture du couvert forestier (i.e., potentiel séminal advectif ou exogène). Toutefois, au cours de cette période, de petites superficies de jachères, de jeunes et de vieilles forêts secondaires initiales ont été transformées en cacaoyères dans la zone Sud de la forêt classée. Cette situation fait suite au fait que certains agriculteurs mécontents de la gestion de la SODEFOR ont profité de la limite des patrouilles pour entretenir ou créer clandestinement des parcelles cacaoyères (Adje, 2020). Pour ce faire, ces agriculteurs évitent l'agriculture sur brulis afin de ne pas éveiller l'attention des agents de patrouille. Ils dissimulent d'abord les jeunes plants de cacaoyers entre les arbres sans effectuer de défrichage. Ensuite, de façon progressive, les arbres sont dévitalisés (destruction des racines, écorçage des troncs, etc.) Il s'agit là d'une pratique agricole commune aux agriculteurs qui n'hésitent pas à infiltrer les aires protégées pour la création de nouvelles parcelles agricoles. C'est d'ailleurs ce genre de pratique qui explique la régression de certaines vieilles forêts secondaires en jeunes forêts secondaires et de certaines jeunes forêts secondaires en jachères. Néanmoins, dans l'ensemble, la période de 1988 à 1998 peut être qualifiée de régénération naturelle intense de la forêt classée de Goin-Débé. Pourtant, un processus contraire a été observé sur la période de 1998 à 2020.

Au cours de la période de 1998 à 2020, les jeunes et les vieilles forêts secondaires, voire les jachères ont vu leur superficie régresser significativement au profit des exploitations cacaoyères. C'est une dynamique d'occupation du sol généralement observée dans la plupart des forêts classées infiltrées (N'guessan *et al.*, 2019 ; Sangne *et al.*, 2015 ; Barima *et al.*, 2020 ; Kouassi *et al.*, 2021). Ces changements observés résultent d'un manque

crucial de nouvelles terres cultivables couplé à la succession des crises socio-politiques qu'a connues le pays de 2002 à 2011. En effet, du fait de la raréfaction des terres cultivables dans le domaine rural, les aires protégées en particulier les forêts classées sont devenues la convoitise de nombreux agriculteurs. Or, suite à la multiplication des crises socio-politiques, la forêt classée de Goin-Débé comme bien d'autres forêts classées situées dans des zones sensibles, a échappé au contrôle de la SODEFOR. Par conséquent, elle a été infiltrée de toute part à telle enseigne qu'elle se trouve au centre de récurrents conflits fonciers entre autochtones et allochtones (Kouamé, 2017 ; Traoré, 2019 ; Adje, 2020 ; Amalaman *et al.*, 2020). La ruée des populations allochtones vers la forêt classée explique bien l'augmentation du taux annuel de la surface occupée par les sols nus et les zones d'habitation, observée au cours de la période de 1998 à 2020. Toutefois, au cours de cette période qui peut être qualifiée de dégradation avancée de la forêt classée, des espaces anciennement cultivés y ont été transformés en jeunes et vieilles forêts secondaires. Cette timide recolonisation forestière fait suite à la reprise en main de la forêt classée par la SODEFOR après la crise de 2011. A cette occasion, cette société a procédé à l'interdiction de nouvelles défriches et a entamé à le reboisement de certaines zones cultivées.

Parlant de résilience de la forêt classée de Goin-Débé, l'analyse des indicateurs a d'abord révélé une faible richesse spécifique (220 espèces végétales) par rapport à la superficie du patrimoine forestier (133170 ha) et à la diversité d'habitats qu'il pourrait constituer. De plus, la forte présence des genres *Ficus*, *Macaranga*, et *Bridelia* indique un niveau de dégradation élevé, les perturbations d'origine humaine induisant une augmentation des espèces secondaires (Bakayoko *et al.*, 2004). Par ailleurs, la forêt à *Eremospatha macrocarpa* et *Diospyros mannii*, telle que décrite par Guillaumet et Adjanohoun (1971) était caractérisée par *Antidesma membranaceum* Müll.Arg., *Chrysophyllum pruniforme*, *Diospyros mannii*, *Diospyros kamerunensis* Gürke, *Dracaena fragrans* (L.) Ker Gawl., *Ixora laxiflora* Sm., *Memecylon guineense* Keay, *Ouratea schoenleiniana* (Klotzsch) Gilg, *Pachypodanthium staudtii*, *Ptychopetalum anceps* Oliv., *Scytopetalum tieghemii*, toutes espèces érigées ligneuses, et par les lianes *Dichapetalum toxicarum* et *Eremospatha macrocarpa*, un palmier rotin. De toutes ces espèces encore très fréquentes il y a quelques années (Guillaumet et Adjanohoun, 1971 ; Bakayoko *et al.*, 2004) seules cinq (*Diospyros mannii*, *Eremospatha macrocarpa*, *Chrysophyllum pruniforme*, *Pachypodanthium staudtii*, *Scytopetalum tieghemii*) ont été observées. Ceci serait lié au fait que plus de 75% du couvert végétal originel de la forêt classée a été détruit au profit de la cacaoculture créant ainsi une certaine homogénéité de la végétation. Or, il est largement admis que les plus grandes diversités floristiques sont rattachées à la diversité des habitats ou à l'hétérogénéité

environnementale (Gboze *et al.*, 2020b). Toutefois, la flore actuelle de la forêt classée se rapproche, dans ses grandes lignes, de celle des forêts denses humides avec la prédominance des Leguminosae et des Rubiaceae comme indiqué par Guillaumet et Adjanooun (1971) pour les forêts denses humides africaines.

De plus, au regard de la diversité des espèces endémiques, rares et menacées malgré la forte dégradation de la flore, la forêt classée de Goin-Débé peut être considérée comme ayant une bonne valeur pour la conservation de la diversité biologique. Cependant, en termes de potentiel de reconstitution de la flore forestière, seules les jachères, les jeunes et vieilles forêts secondaires présentent une allure en «J» inversé traduisant une forte concentration des individus des petits et moyens diamètres. De ce fait, elles sont caractérisées de peuplements multispécifiques à fort potentiel de régénération (Gboze *et al.*, 2020b). Or, l'ensemble de ces trois formations végétales ne représente que 24,13 % de l'occupation du sol de la forêt classée. Quant aux exploitations cacaoyères qui couvrent la quasi-totalité de la forêt classée, elles sont caractérisées de populations à fort potentiel de régénération, mais présentant un problème de survie lors de la transition entre stades de développement. Cela s'expliquerait par le fait qu'en absence de contrôle strict des forêts classées, les agriculteurs infiltrés s'adonnent à des pratiques culturales appliquées au domaine rural. En effet, lors de l'installation de nouvelles parcelles agricoles, ces agriculteurs réduisent considérablement la densité des recrues ligneux, des jeunes arbres et des arbres matures dans les champs (Kpangui *et al.*, 2015; Kougbo *et al.*, 2020). Puis, en fonction du stade de développement des cultures, ils réduisent la densité des arbres épargnés pour des usages multiples de sorte à éviter que ces ligneux n'entrent en compétition avec les cacaoyers. En agissant ainsi, les exploitations cacaoyères se retrouvent avec un peuplement presque dépourvu de recrutement ligneux et d'une diversité d'espèces d'arbres. Ceci, bien évidemment, n'est pas sans conséquence sur la régénération naturelle de la flore forestière. À terme, la forêt classée du Goin-Débé, si rien n'est fait, fera entièrement place à de vastes étendues de cacaoyères et friches dominées par des espèces héliophiles, comme l'ont déjà alerté Sangne *et al.* (2015) pour la forêt classée du Haut-Sassandra, située à quelques kilomètres au nord de notre zone d'étude.

Conclusion

Cette étude a exploité une banque de données d'images satellitaires afin de percevoir les transformations qui ont eu lieu dans la végétation de la forêt classée de Goin-Débé de 1988 à 2020. Les analyses relatives aux changements diachroniques dans l'occupation de cette forêt révèlent que la végétation y a connu deux dynamiques diamétralement opposées entre les périodes 1988 à 1998 et 1998 à 2020. La première période a été caractérisée

par une régénération naturelle intense de la forêt par la transformation des sols nus et lieux d'habitation en jachères. Tandis que la seconde, a vu une reconversion des formations végétales naturelles en cacaoyère suit à une infiltration massive des agriculteurs.

Malgré ces énormes pressions anthropiques sur la forêt classée de Goin-Débé, 220 espèces y ont été recensées lors des relevés floristiques de cette étude. Toutefois, plusieurs espèces dites caractéristiques du type de forêt originel n'ont pas été collectées lors de cette étude, preuve d'un changement important de la structure floristique. Par contre, l'étude a observé 15 espèces menacées de la liste rouge de l'UICN (2022) et 22 espèces endémiques du bloc forestier de la Haute Guinée (GCW). Cela donne un intérêt particulier pour la conservation de la forêt classée de Goin-Débé qui, rappelons-le, est un élément essentiel pour la viabilité de l'écosystème de l'Espace Taï (réserve de Biosphère et Patrimoine Mondial) comprenant, outre la FC du Goin-Débé, les FC de la Haute Dodo et du Rapide-Grah, du Cavally ainsi que le Grebo National Park et le Sapo National Park du Libéria voisin.

Remerciements

Nous tenons à remercier Proforest et le Cabinet TRUST International d'avoir facilité la collecte des données au cours de l'exécution du Projet d'élaboration du Plan d'Aménagement de la Forêt Classée de Goin-Débé.

Conflits d'intérêts : Aucun conflit d'intérêts concernant les données présentées dans cet article n'est à signaler.

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. Adje, P. (2020). Conflits Communautaires liés à l'exploitation du Patrimoine Forestier de L'état : L'exemple de la Forêt Classée de Goin-Débé dans Le département De Guiglo, *European Scientific Journal*, 16(32), 102-123.
2. Aké Assi, L. (2001). Flore de la Côte d'Ivoire. Catalogue systématique, biogéographie et écologie, tome I, Boissiera 57, Conservatoire et Jardin Botanique de Genève, Genève, Suisse, 396 p.
3. Aké Assi, L. (2002). Flore de la Côte d'Ivoire. Catalogue systématique, biogéographie et écologie, tome II, Boissiera 58, Conservatoire et Jardin Botanique de Genève, Genève, Suisse, 401 p.

4. Alexandre, D.Y. (1989). Dynamique de la régénération naturelle en forêt dense de Côte d'Ivoire. Éditions de l'ORSTOM, institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération, Collection ÉTUDES et THÈSE, Paris. 102 p.
5. Amalaman, D. M., Mian, B. J. F., & Koné, G. (2020). Conflit foncier du Goin-Débé à Guiglo en Côte d'Ivoire : Fantôme ethnicisé de la guerre post-électorale ivoirienne de 2010. *European Scientific Journal*, 16(10), 1857-7881.
6. Assalé, A. A. Y., Barima, Y. S. S., Kouakou, K. A., Kouakou, A. T. M., & Bogaert, J. (2016). Agents de dégradation d'une aire protégée après une décennie de conflits en Côte d'Ivoire : cas de la forêt classée du Haut-Sassandra. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 22(1), 123-133.
7. Bakayoko, A., Martin, P., Gautier, L., Chatelain, C., Traoré, D., & Spichiger, R. (2004). Etude comparative des massifs forestiers entourant la zone de Taï à Zagné (sud-ouest de la Côte d'Ivoire). *Candollea*, 59, 191-230.
8. Barima, Y. S. S., Konan, G. D., Kouakou, A. T. M., & Bogaert, J. (2020). Cocoa Production and Forest Dynamics in Ivory Coast from 1985 to 2019. *Land*, 9, 524.
9. Coulibaly, L., Kouassi, K. H., Soro, G. E., & Savane, I. (2016). Analyse du processus de savanisation du nord de la Côte d'Ivoire par télédétection : Cas du département de Ferkessédougou. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 17, 136-143.
10. Gboze, A. E., Adingra, O. A., Sanogo, A., & Kassi, N. J., 2020a. Analyse systématique et phytogéographique de la forêt classée de la Badéno (Korhogo, Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(9), 3156-3167.
11. Gboze, A. E., Sanogo, A., Amani, B. H. K., & Kassi, N. J. (2020b). Diversité floristique et valeur de conservation de la forêt classée de Badéno (Korhogo, Côte d'Ivoire). *Agronomie Africaine*, 32(1), 51-73.
12. Girard, M. C., & Girard, C. M. (1999). Traitement des données de télédétection. Dunod, Paris, 529 p.
13. Glèlè, K. R., Bonou, W., & Lykke, A. M. (2016). Approche méthodologique de construction et d'interprétation des structures en diamètre des arbres. *Annales des Sciences Agronomiques*, 20, 99-112.
14. Goné Bi., Z. B., Kouamé, D., Koné, I., & Adou Yao, C. Y. (2013). Diversité végétale et valeur de conservation pour la Biodiversité du Parc National du Mont Péko, une aire protégée, menacée de disparition en Côte d'Ivoire, *Journal of Applied Biosciences*, 71, 5753-5762.

15. Guillaumet, J.-L. & Adjanohoun, E. (1971). La végétation de la Côte d'Ivoire. In : Avenard J.M., E. Eldin G. Girard J. Sircoulon P. Touchebeuf J.L. Guillaumet E. Adjanohoun et A. Perraud (eds). Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoires de l'ORSTOM 50 : 157 - 263.
16. IUCN, (2022). IUCN Red List of Threatened Species. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 10 /03/ 2023.
17. Jofack, S. V. C., Kouamé, F. K., Dibi, N'da, H., Tankoano, B., Akpa, Y. L., & Ngounou, N. B. (2016). Cartographie de l'occupation de sol des Hauts Plateaux de l'Ouest Cameroun par réseaux de neurones appliqués à une image LANDSAT 8 OLI. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 23, 443-454
18. Kershaw, J. J. A., Ducey, M. J., Beers, T., & Husch, B. (2017). *Forest Mensuration, Fifth Edition*, John Wiley, New York, 613 p
19. Koné, M. (2015). Évolution du couvert forestier dense et impact de la déforestation sur la migration de la boucle du cacao en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université NANGUI ABROGOUA, Côte d'Ivoire, 185 p.
20. Koné, M., Kouadio, Y. L., Neuba, D. F. R., Malan, D. F., & Coulibaly, L. (2014). Évolution de la couverture forestière de la Côte d'Ivoire des années 1960 au début du 21e siècle. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 2(7), 782-794.
21. Kouamé, K. J. (2017). Criminalité violente liée au foncier à l'intérieur de la forêt classée de Goin-debe (RCI), *Revue Africaine de Criminologie*, (21), 8-22.
22. Kouassi, J.-L., Gyau, A., Diby, L., Bene, Y., & Kouamé, C. (2021). Assessing Land Use and Land Cover Change and Farmers' Perceptions of Deforestation and Land Degradation in South-West Côte d'Ivoire, West Africa. *Land*, 10, 429.
23. Kougbo, M. D., Malan, D. F., Dogba, M., & Konan, A. S., (2020). Pratiques culturelles et diversité des ligneux compagnes dans les exploitations cacaoyères et hévéicoles à l'est de la Côte d'Ivoire. *African Crop Science Journal*, 28(2), 177-194.
24. Kpangui, K. B. (2015). Dynamique, diversité végétale et valeurs écologiques des agroforêts à base de cacaoyers de la Sous-préfecture de Kokumbo (Centre de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 227 p.
25. Kpangui, K. B., Vroh, B. T. A., Goné Bi, Z. B. & Adou Yao, C. Y. (2015). Diversité floristique et structurale des cacaoyères du « V baoulé » : cas de la sous-préfecture de kokumbo (centre, côte d'ivoire), *European Scientific Journal*, 11(36), 1857-7881.

26. Leboeuf, A. & Paquet, A. (2013). Guide d'interprétation des mosaïques d'images satellitaires Landsat. Secteur des Forêts, Ministère des Ressources naturelles, Quebec. 22 p.
27. Mitja, D., & Puig, H. (1991). Essartage, culture itinerante et reconstitution de la végétation dans les jachères en savane humide de Côte d'Ivoire (Booro-Brotou, Touba). Mémoire ORSTOM, 377-392.
28. Monza, J. P. (1996). L'Atlas pour la conservation des forêts tropicales d'Afrique. UICN, 310 p.
29. N'Guessan, A. E., Akpa, Y. L., & Kassi, J. N'D. (2019). Cartographie de la dynamique du couvert végétal de la forêt classée d'Agbo 1, Côte d'Ivoire. *Agronomie africaine*, 31(1), 1-14.
30. Nourtier, M. & Vaudry, R. (2016). Analyse qualitative des facteurs de déforestation et de dégradation des forêts en Côte d'Ivoire. Rapport Final, 114 p.
https://www.nitidae.org/files/b24e760c/161216081210_161214_analyse_facteurs_def_deg_ci_rapport_final.pdf
31. Oloukoï, J., Mama, V. J., & Agbo, F. B. (2007). Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le Département des Collines au Bénin. *Télétection*, 6, 305-323.
32. Oszwald, J. (2005). Dynamique des formations agroforestières en Côte d'Ivoire (des années 1980 aux années 2000) : Suivi par télédétection et développement d'une approche cartographique. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, Lille, France. 304 p.
33. PNUE (2015). Côte d'Ivoire : Évaluation environnementale post-conflit. Programme des Nations Unies pour l'environnement, ISBN: 978-92-807-3477-5.
34. Rondeux, J. (1999). La mesure des arbres et des peuplements forestiers, 2e Édition. Presses Agronomiques Gembloux, 521 p.
35. Rosoman, G., Sheun, S. S., Opal, C., Anderson, P., & Trapshah, R. (2017). The HCS Approach Toolkit. Singapore: HCS Approach Steering Group. 44 p.
36. Sangne, C. Y., Barima, Y. S. S., Bamba, I., & N'Doumé, C-T. A. (2015). Dynamique forestière post-conflits armés de la Forêt classée du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire). *Vertigo*, 15(3), 1-27.
37. Sidibé, O., Konan, K. E., & Kouadio, H. K. (2020). Etat Actuel de la Diversité Floristique du Parc National du Mont Péko en Côte d'Ivoire, *European Scientific Journal*, 16(3), 1857-7881.
38. Simberloff, D. S. (1970). Taxonomic Diversity of Islands Biotas. *Evolution*, 24, 23-47.
39. Traoré, K. (2019). Enjeux Socioéconomiques des Forêts Classées Ivoiriennes et Conflits Intercommunautaires à l'Ouest de la Côte

d'Ivoire : Une Question de Business ou un Défi du Développement Durable ? *European Scientific Journal*, 15(16), 110-141.

Study of the Population Variability of Two *Chrysichthys* Species in Six Aquatic Ecosystems in Côte d'Ivoire

Coulibaly T.A.S.

Center for Research of Oceanology (CRO),
Department of Aquaculture, Abidjan, Cote d'Ivoire

Adepo-Gourene A.B.

Natural Sciences Training and Research Unit, Fisheries and Aquaculture
Division, University NanguiAbrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p254](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p254)

Submitted: 20 June 2023
Accepted: 19 October 2023
Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Coulibaly T.A.S. & Adepo-Gourene A.B. (2023). *Study of the Population Variability of Two Chrysichthys Species in Six Aquatic Ecosystems in Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 254. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p254>

Abstract

In Côte d'Ivoire, the genus *Chrysichthys* are subject to intense exploitation pressure and may be threatened by overfishing. The establishment of a sustainable management program for this resource requires in-depth knowledge of this fish. The population relationships were determined by evaluating the morphological variability of the two species of the subgenus *Chrysichthys*, which was identified in six rivers. Forty-one morphological measurements were carried out on 167 specimens of the species *C. maurus* and 160 specimens of the species *C. nigrodigitatus*. These descriptors were subjected to discriminant factor analysis and classification analysis. Within the *C. maurus* species, specimens from the Bia River and the Aby Lagoon show few morphological differences. These two populations are distinct from the Ebrié Lagoon and the Bandama River. Specimens of the species *C. nigrodigitatus* can be divided into three distinct groups. The Bia River population occupies an intermediate position between the lot formed by the Agneby River and the Ebrié Lagoon populations and the lot formed by the Bandama River, the Aby Lagoon, and the Grand-Lahou Lagoon populations. Within each lot, the specimens show a great morphological resemblance (similarity). The similarities of the subgenus *Chrysichthys* could be explained

by a potential capacity for exchange of individuals between rivers. The differences between populations would indicate the probable existence of phenotypic plasticity linked to their environment.

Keywords: Côte d'Ivoire, *Chrysichthys*, Variability, Population, Morphometrics

1. Introduction

The *Claroteidae* family includes African and Asian freshwater and brackish forms. Out of the twelve genera belonging to this family, *Auchenoglanis* and *Chrysichthys* are the only two represented in Côte d'Ivoire (Daget and Iltis, 1965). The genus *Chrysichthys*, commonly known as "machoiron", are widely distributed in the fresh and brackish waters of Côte d'Ivoire. This fish, which is highly prized by the local population, is subject to intense exploitation pressure. Bédia *et al.* (2017) highlighted the state of overexploitation of *Chrysichthys nigrodigitatus* in the Ebrié Lagoon. To avoid stock collapse and to preserve biodiversity, sustainable management measures for aquatic ecosystems must be introduced and implemented. However, before a conservation program can be implemented, it is necessary to acquire knowledge about the diversity of species and the dynamics of the populations that colonize these environments. To obtain information on the *Chrysichthys* genus, research has identified four species in the Ivorian hydro-systems sampled (Ouattara, 2019). The aim of this study is to investigate the intra-specific variability of *C. nigrodigitatus* and *C. maurus* in order to establish the relationships between populations in six rivers.

1. Material and Methods

2. Study Area

The genus *Chrysichthys* were sampled from east to west in six hydro-systems, namely: the Bia River, the Aby Lagoon, the Ebrié Lagoon, the Agneby River, the Bandama River, and the Grand-Lahou Lagoon (Figure 1).

The Bia River is located between latitudes 5° and 7° 5' north and longitudes 2° 6' and 3° 3' west. Its headwater is in Ghana (Girard *et al.*, 1971). This river, which flows into the Aby Lagoon in the southeast of Côte d'Ivoire, covers a basin of 9650 km² (Vanden-Bossche & Bernacsek, 1990). It is 290 km long, including 120 km in Côte d'Ivoire.

Located in the extreme southeast of Côte d'Ivoire, between 5°05' and 5°22' north latitude and 2°51' and 3°21' west longitude, the Aby Lagoon system forms a natural border between Côte d'Ivoire and Ghana (Chantraine, 1980). This complex covers an area of 424 km² and includes the Aby, Tendo, and Ehy Lagoons. The Aby Lagoon is fed with fresh water by the Bia to the

northwest and the Tanoé to the east. The south of the Aby sector receives marine water from the Assinie channel (N'Goran, 1995).

The Ebrié Lagoon is located in the south of Côte d'Ivoire. It lies between latitudes 5°02' and 5°42' north and longitudes 3°47' and 5°29' west. With a total surface area of 566 km², the Ebrié Lagoon is approximately 130 km long (Albaret, 1994; Durand & Guiral, 1994). The lagoon is artificially connected to the Grand-Lahou Lagoon in the west by the Assagny canal. It is also connected to the Aby Lagoon in the east by the Assinie canal, as well as the Atlantic Ocean in the center-east by the Vridi canal. At its eastern end, the Ebrié Lagoon is supplied with fresh water by the Comoé river, the Agnéby river, and the Mé river (Laë, 1991).

The Agnéby river is located in Côte d'Ivoire between 5°-7°N and 4°-5°W. It flows through the forest zone and is around 200 km long, with a catchment area of 8600 km² (Diomandé *et al.*, 2009).

The Bandama basin is located within Côte d'Ivoire between latitudes 5° and 10°20' North and longitudes 3°50' and 7° West. It covers an area of 97,500 km² and is 1,050 km long (Lévêque *et al.*, 1983).

Covering an area of around 192 km², the Grand-Lahou Lagoon system is in the southern part of Côte d'Ivoire between latitudes 5°07' and 5°14' North and longitudes 4° and 5°25' West (Durand & Skubich, 1982).

The sampling sites were selected based on the ease of access and availability of fish.

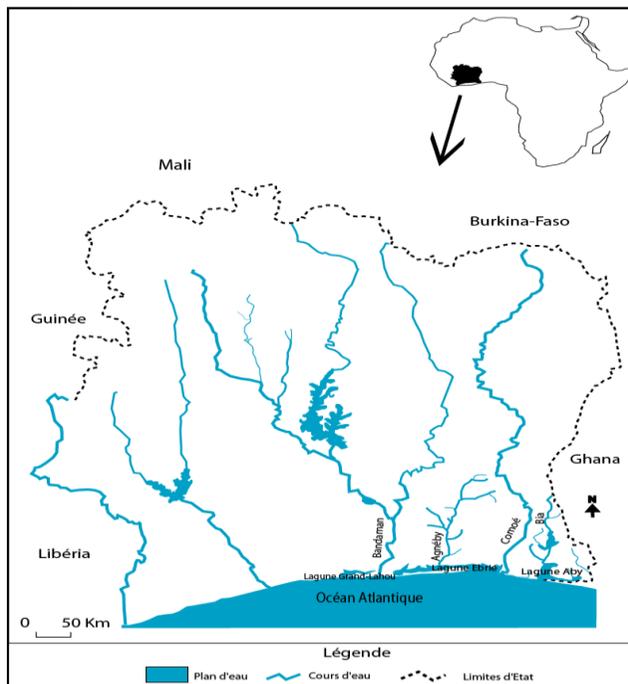


Figure 1. Sampling Sites for *Chrysichthys* Fish

3. Fish Sampling

The interspecific morphological analysis included 167 specimens of the species *C. maurus* and 160 specimens of the species *C. nigrodigitatus*. The fish were obtained from the sampling campaign that took place from 2012 to 2014. For each fish, 41 measurements were taken (Figure 2). Since the age of the fish was not determined, the measurements were standardized to avoid size variations due to age differences between individuals. Therefore, all measurements expressed in millimeters were converted into a percentage of the standard length. However, head measurement was expressed as a percentage of the length of the headtête (Mayr, 1970; Thys van den Audenaerde, 1970; Teugels, 1986).

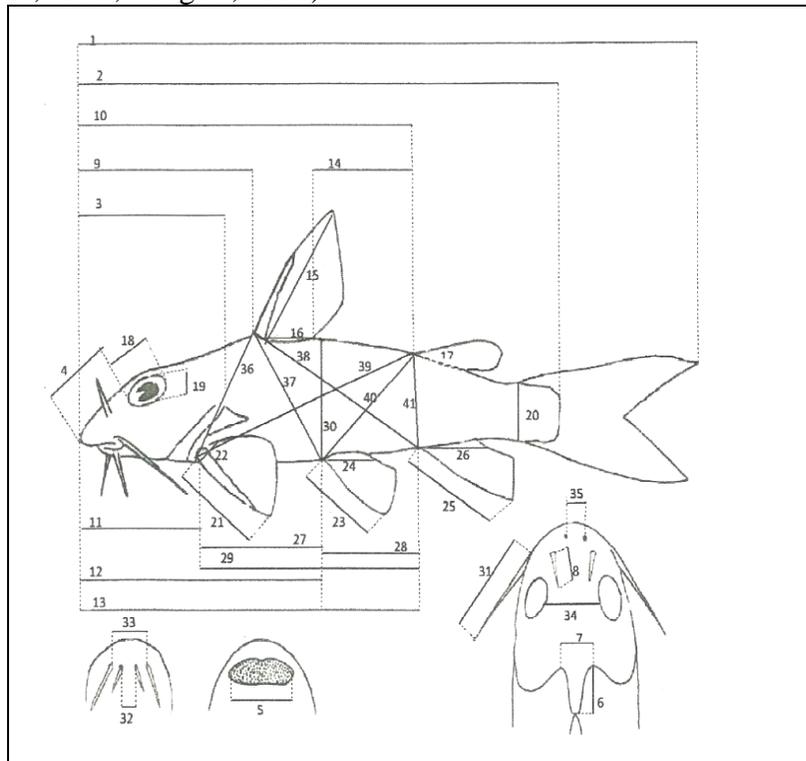


Figure 2. Metrics Measurements Taken from the Individuals of the Four Species of *Chrysichthys*

1. total length (TL); 2. standard length (SL); 3. head length (HL); 4. snout length (SnL); 5. width of premaxillary toothplate (WPm T); 6. occipital process length (OPL); 7. occipital process width (OPW); 8. nasal barbel length (NBL); 9. predorsal length (DsL); 10. preadipose length (AdL); 11. prepectoral length (PtL); 12. prepelvic length (PIL); 13. preanal length (AnL); 14. distance between dorsal and adipose fins (DDsAd); 15. dorsal fin height (DsH); 16. dorsal base (DsB); 17. adipose base (AdB); 18. eye diameter horizontal (ED1); 19. eye diameter vertical (ED2); 20. caudal peduncle length (CpL); 21. pectoral height (PtH); 22. pectoral base (PtB); 23. pelvic height (PIH); 24. pelvic base (PIB); 25. anal height (AnH); 26. anal base (AnB); 27. distance pectoral/pelvic (DPtPI); 28. distance pelvic/anal (DPIAn);

29. distance pectoral/anal (DPtAn); 30. body height (BdH); 31. mandible barbell length 1 (MBIL1); 32. mandible barbell length 2 (MBIL2); 33. mandible barbell length 3 (MBIL3); 34. distance inter-orbital (DIO); 35. distance inter-nostril (DIN); 36. distance pectoral/dorsal (DPtDs); 37. distance pelvic/dorsal (DPIDs); 38. distance anal/dorsal (DAnDs); 39. distance pectoral/adipose (DPtAd); 40. distance pelvic/adipose (DPIAd); 41. distance anal/adipose (DAnAd).

2.3. Statistical Analysis

Discriminant Factor Analysis (DFA) was used to test the effectiveness of the characters in predicting different species location. For this analysis, a stepwise inclusion procedure was carried out to reduce the number of characters accordingly and to identify the combinations of characters that best separate species (Jain *et al.*, 2000; Poulet *et al.*, 2004). The percentage of correct classification of individuals is determined to assess the effectiveness of the discriminant analysis (Silva, 2003; Tomović & Džukić, 2003; Marques *et al.*, 2006). Hierarchical Cluster Analysis (HCA), based on Mahalanobis distance matrices obtained by DFA, was used to evaluate population relationships. The hierarchical clustering process was represented as a dendrogram, where the tree illustrated each step in the clustering process. Furthermore, the minimum variance clustering method or Ward's method was used with the Euclidean distances. All treatments were performed using the program STATISTICA (StatSoft, version 7.1).

4. Results

5. Morphological Diversity of *Chrysichthysmaurus* Populations

The analysis focused on 167 specimens of the species *Chrysichthysmaurus*. 25 samples were taken from the Bia River, 34 from the Aby Lagoon, 35 from the Ebrié Lagoon, and 73 from the Bandama River.

3.1.1. Discriminant Factor Analysis of Populations

The metric variables were subjected to an analysis of variance. Amongst these descriptors, 31 varied significantly between the *C. maurus* populations. Thus, they are subjected to Wilk's Lambda test of bottom-up stepwise discriminant factor analysis. 18 characters were identified by the test and the following nine descriptors were retained: DsH, AdB, OPW, AnL, PtB, DAnAd, NBL, OPL, and DDsAd. Significantly, these descriptors have a highly significant level of discrimination ($p < 0.001$) (Table 1).

Table 1. Multivariate Wilk's Lambda (λ) Significance Tests of Metric Variables in the Populations of the Species *Chrysichthysmaurus*

Variables	λ	F	p
DsH	0,70	20,75	***
AdB	0,78	14,16	***
OPW	0,82	10,80	***
AnL	0,82	10,50	***
PtB	0,86	8,15	***
DAnAd	0,87	7,00	***
NBL	0,88	6,7	***
OPL	0,88	6,37	***
DDsAd	0,89	6,00	***
OPcL	0,90	5,53	**
PtH	0,91	4,93	**
DIO	0,92	4,49	**
AdL	0,92	4,48	**
WPmT	0,92	4,34	**
ED1	0,93	3,91	*
DPtDs	0,93	3,6	*
AnH	0,93	3,42	*
DIN	0,94	3,2	*

Discriminant Factor Analysis showed an overall correct classification rate of 95.21% (Table 2). Individuals from the Ebrié Lagoon were correctly classified at 97.14%. However, only one individual was assigned to the Bia population. The majority of the Bia specimens (80%) were correctly assigned to their group of origin. Subsequently, only five specimens from this population were assigned to the Aby Lagoon. The percentages of correct classification of specimens from Aby Lagoon and Grand-Lahou Lagoon are 79.41% and 85.71%, respectively. As for the specimens from the Bandama population, their membership to their origin group was confirmed at 100% by the Factorial Discriminant Analysis.

Table 2. Matrix for Classification of Specimens of the Species *Chrysichthys Maurus* by DFA

	Correct %	Ebr	Bad	Bia	Aby
Ebr	97.14	34	0	0	1
Bad	100	0	73	0	0
Bia	84	0	0	21	4
Aby	91.18	0	0	3	31
Total	95.21	34	73	24	36

Ebr: Ebrié, Bad: Bandama

Figure 3 shows the distribution of populations in the canonical 1 and 2 planes of the Discriminant Factor Analysis. On the graph, the Bandama and Ebrié Lagoon populations are clearly differentiated from the others, while the

scatter plots representing the Bia River and Aby Lagoon populations overlap entirely.

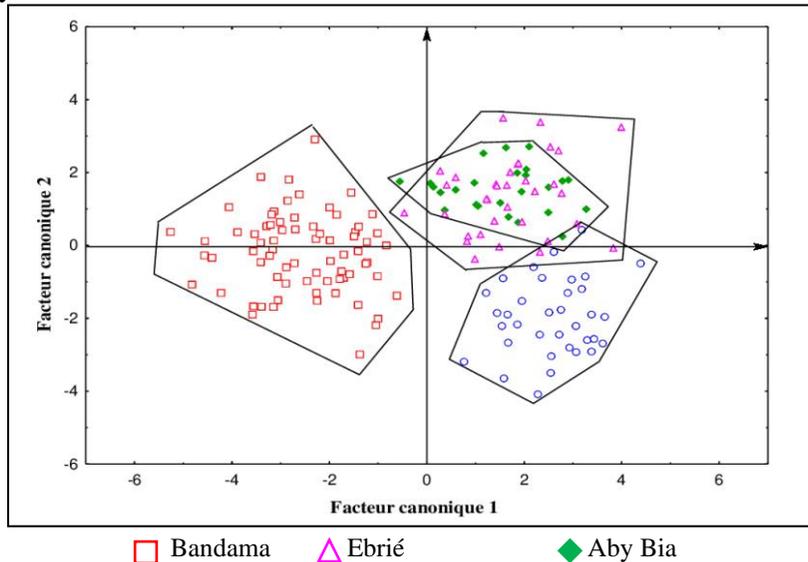


Figure 3. Projection of *C. Maurus* populations in the Canonical 1 x 2 Plane of the Discriminant Factor Analysis of Metric Data

3.1.2. Hierarchical Cluster Analysis of the Populations

The different populations are grouped according to the Hierarchical Classification Analysis, and the results are presented in Figure 4. At Euclidean distance of 20, three distinct batches emerge. Batch I is formed by the population of the Ebrié Lagoon, while Batch II is formed by the populations of the Bia River. On the other hand, the Aby Lagoon and Batch III is represented by the population of the Bandama River.

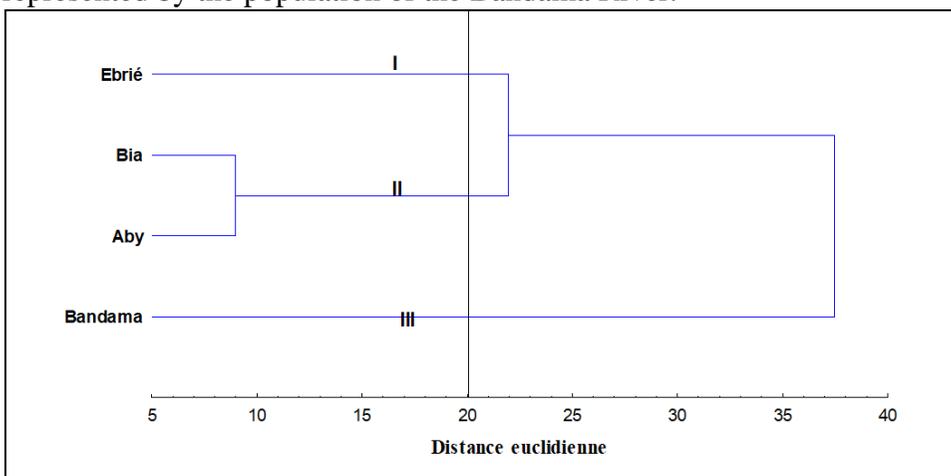


Figure 4. Dendrogram Showing Morphometric Similarities Between Populations of the Species *Chrysichthys Maurus*

6. Morphological Diversity of *C. nigrodigitatus* Populations

The sample of the species *C. nigrodigitatus* is composed of 160 specimens. 15 were collected in the Bia River, 47 in the Ebrié Lagoon, 11 in the Agneby River, 50 in the Aby Lagoon, 20 in the Bandama River, and 17 in the Grand-Lahou Lagoon.

3.2.1. Discriminant Factor Analysis of Populations

The results of the bottom-up stepwise factor analysis are shown in Table 3. The nine descriptors (DPIDs, DAnAd, HL, LBIM1, WPmT, DDsAd, DIO, NBIL, BdH) contribute strongly to the discrimination of the different populations ($p < 0.001$).

Table 3. Multivariate Wilk's Lambda (λ) Significance Tests of Metric Variables in the Populations of the Species *Chrysichthys Nigrodigitatus*

Variables	λ	F	p
DPIDs	0,73	10,27	***
DAnAd	0,76	8,79	***
HL	0,77	8,24	***
LBIM1	0,77	8,04	***
WPmT	0,81	6,57	***
DDsAd	0,82	6,14	***
DIO	0,82	6,14	***
NBIL	0,83	5,41	***
BdH	0,86	4,54	***
PtB	0,88	3,81	**
LBIM2	0,88	3,72	**
AdB	0,89	3,46	**
DPtAn	0,90	3,07	*
DIN	0,90	3,02	*
DPtPl	0,90	2,96	*
DsL	0,91	2,85	*
AnH	0,91	2,54	*
PIH	0,92	2,50	*
PtH	0,92	2,46	*

Figure 5 shows the distribution of populations along the canonical axes 1 and 2 of the DFA. The scatter plot representing the Bia River population is clearly different from the others. The populations of the Aby, Grand-Lahou, and Bandama Lagoons overlap and are located in the negative sector of canonical axis 1. However, the scatter plots representing the taxa of the Agneby River and the Ebrié Lagoon overlap in the positive sector of canonical axis 1.

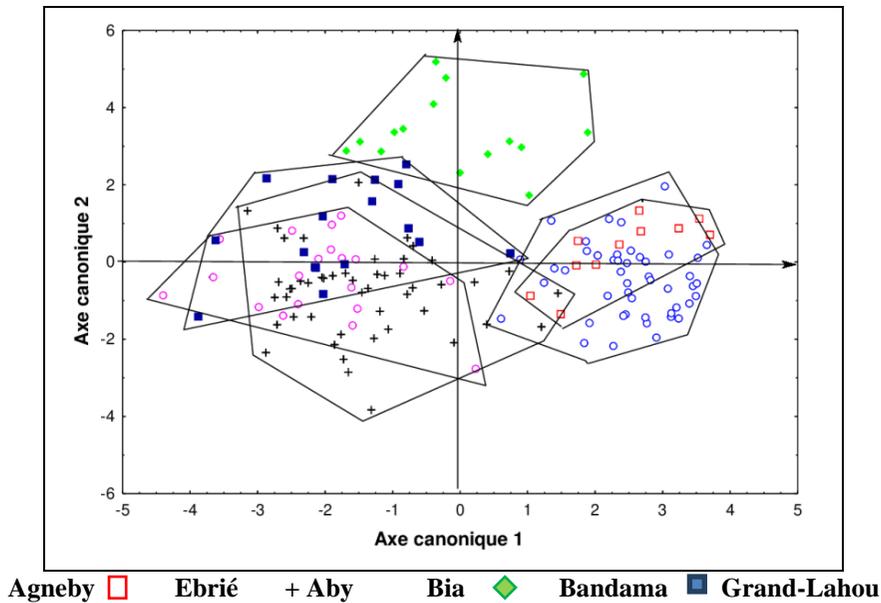


Figure 5. Projection of the Populations of *C. Nigrodigitatus* in the Plane Formed by the Canonical Axis 1 and 2

The classification matrix confirms that 91.25% of the specimens belong to their group of origin (Table 4). The correct classification rate is 100% for the Bia River, 93.62% for the Ebrié Lagoon, 92% for the Aby Lagoon, 90% for the Bandama River, 88.24% for the Grand-Lahou Lagoon, and 72.73% for the Agneby River.

Table 4. Matrix for Classification of Specimens of the Species *Chrysichthys nigrodigitatus* by DFA

	Correct percentage	Ebr	Agb	Bia	Aby	Bad	GL
Ebr	93.62	44	2	0	1	0	0
Agb	72.73	3	8	0	0	0	0
Bia	100	0	0	15	0	0	0
Aby	92	1	0	0	46	1	2
Bad	90	0	0	0	2	18	0
GL	88.24	0	0	0	0	2	15
Total	91.25	48	10	15	49	21	17

Ebr: Ebrié, Agb: Agneby, Bad: Bandama, GL: Grand-Lahou

3.2.2. Hierarchical Cluster Analysis of the Populations

Through Hierarchical Cluster Analysis, the populations were divided into three distinct groups, with an aggregation distance of 20 (Figure 6). Group I consist of the populations of the Agneby River and the Ebrié Lagoon, which are morphometrically close. Group II consist of the Bia River population

which is in an intermediate position. The populations of the Aby Lagoon, the Grand-Lahou Lagoon, and the Bandama River form group III and are close to each other.

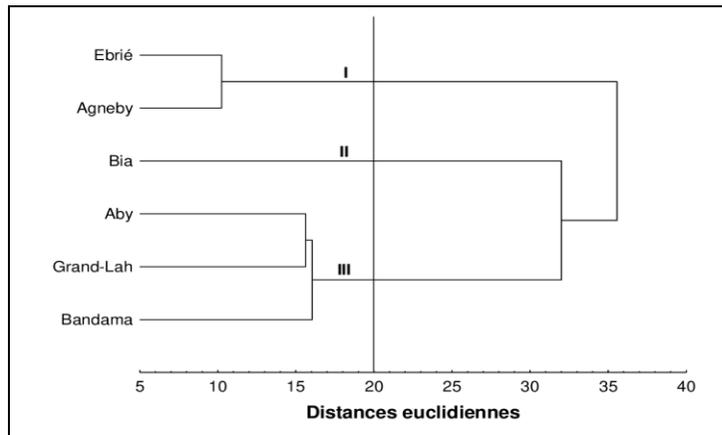


Figure 6. Dendrogram Illustrating the Morphological Variability of *C. Nigrodigitatus* Populations Based on Metric Descriptors

7. Discussion

For the species *C. maurus*, the results of the study based on the populations of the rivers sampled made it possible to detect more or less significant morphological differences between the populations. Specimens from the Bandama River are characterized by small eyes and wide nostrils, a large adipose fin, a long dorsal fin that reaches or exceeds the adipose fin, large pelvic, and pectoral fins when folded. Specimens from other rivers sampled are characterized by a small dorsal fin, a small adipose fin, and small pectoral and pelvic fins. In addition, specimens from the Ebrié Lagoon are distinguished by small eyes and wide nostrils. However, those from the Bia River are distinguished by small eyes and close nostrils, while those from the Aby Lagoon have large eyes and close nostrils. All these morphological differences suggest the possible existence of phenotypic plasticity. Ferrito *et al.* (2007) reported that habitat differences affect the morphology differently in several populations. Discriminant Factor Analysis shows that the Aby and Bia populations show strong morphological similarity, while the Ebrié Lagoon and Bandama River populations are distinct. Furthermore, the hierarchical classification indicates that the first two populations are closer to the Ebrié Lagoon population than the Bandama River population. The phenotypic similarity between specimens from the Bia River and the Aby Lagoon, including their morphological affinities with specimens from the Ebrié Lagoon, could be due to the fact that these three rivers are connected to each other. In addition, the Aby Lagoon is directly fed with fresh water by the Bia River. To facilitate navigation, the Aby Lagoon and the Ebrié Lagoon were connected by the Assinie canal, which was built between 1955 and 1957

(Kouassi, 2010). Therefore, specimens can probably migrate over long distances, which implies an exchange of individuals between the rivers. Thus, the potential capacity of populations to evolve as independent biological entities is limited by the exchange of individuals between populations (Cheng *et al.*, 2005). The morphological similarity between the populations could also be due to the fact that the Aby Lagoon, the Ebrié Lagoon, and the Bia River are subject to the same physico-chemical parameters. The results of the analyses showed that the Bandama River population is morphologically isolated from the other populations. This isolation is manifested in this taxon by a major morphological particularity. Interestingly, the long filament on the dorsal fin reaches or exceeds the adipose fin when folded. This particularity was observed by Risch (1992) during his research on fish from the same river. This morphological difference is due to the adaptation of the specimens to different environmental conditions. Nonetheless, the Bandama River is subject to several climatic regimes (tropical and equatorial). According to Paugy and Lévêque (1999), populations of the same species, living in different geographical areas, can be morphologically different. In addition, the Grand-Lahou Lagoon provides connectivity between the Bandama River and the Ebrié Lagoon. Fish from this river have a filament on the dorsal fin that is smaller than the Bandama specimens and longer than the Ebrié Lagoon specimens. According to Turan (2004), a sufficient degree of isolation can result in significant phenotypic differentiation among fish populations of a species.

For the species *C. nigrodigitatus*, the results of the intra-population study showed low values of the coefficient of variation based on the populations of the Ebrié Lagoon and the Agneby River. This low morphological variation could be explained by a phenotypic homogeneity linked to the low variations in environmental conditions. The analysis of variance made it possible to highlight the differences between the populations of the rivers sampled. Specimens from the Bia River are characterized by long head, large eyes, and long pectoral fins. Conversely, those from the Bandama River have a moderately elongated head, large eyes, and long pectoral fins. The Grand-Lahou Lagoon population is distinguished by an elongated head, large eyes, and short pectoral fins. Specimens from the Aby Lagoon are distinguished by short head, large eyes, and long pectoral fins. Specimens from the Agneby River have short head, small eyes, and small pectoral fins. Specimens from the Ebrié Lagoon are characterized by short head, small eyes, and small pectoral fins. In contrast to the *C. maurus* species, the populations of the *C. nigrodigitatus* species differ in few variables. On the one hand, the population in the Agneby River is similar to the Ebrié Lagoon. On the other hand, the populations of the Bandama River, the Aby Lagoon, and the Grand-Lahou Lagoon show a high similarity due to the overlap of morphometric

descriptors. The Bia River population occupies the intermediate position. The phenotypic similarities between the Agneby and Ebrié Lagoon populations is due to the similar environmental variations. Certainly, the swampy area in which the Layo station is located (on the Ebrié lagoon) has a hydroclimate, which is strongly influenced by the flooding of the Agneby forest river (Durand et al., Guiral, 1994). In addition, the absence of a geographical barrier between these two rivers probably leads to an exchange of individuals between the populations. The few morphological differences observed at the level of the relatively "homogeneous" populations is related to certain environmental parameters. This variability is due to phenotypic plasticity in relation to the environmental factors of each river. Therefore, these populations would be ecological variants or ecotypes (Dkhil-Abbes & Kraïem, 2011).

Conclusion

The results of the study based on the populations of the sample rivers made it possible to detect more or less significant morphological differences between the populations. Within the *Chrysichthys maurus* species, the populations of the Bia River and the Aby Lagoon show much greater morphological affinities. The morphological isolation of the Bandama specimens is marked by the presence of a long filament on their dorsal fin. Populations of the *Chrysichthys nigrodigitatus* species have been divided into six morphologically distinct groups: the Bia River population, the Ebrié Lagoon, Agneby river population, the Aby Lagoon, Grand-Lahou Lagoon, and Bandama River population. Finally, the morphological differences indicate the possible existence of phenotypic plasticity in the populations. On the other hand, the similarities can be explained by the fact that the potential capacity of populations to evolve as independent biological entities is limited by the exchange of individuals between the populations. The molecular analyses associated with these morphological analyses will help to clarify the relationships between the different populations.

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

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

Funding Statement: This study is part of the research programme of the Aquaculture Department of the Oceanological Research Center.

Animal Studies: Fish were purchased from fishermen in the villages along each river and ethical guidelines were followed.

References:

1. Albaret, J. J. (1994). Les poissons, biologie et peuplements. In *Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire*. Tome II : Les milieux lagunaires. Durand J.R., Dufour P, Guiral D, Guillaume S., Zabi F. Editions de l'ORSTOM, 239-280.
<https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:40693>
2. Bedia, A.T., Etilé, N.R., Goore, G.I., Essetchi, K.P., & N'Douba, V. (2017). Paramètres de croissance et d'exploitation de *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepede, 1803) (Siluriformes, *Bagridae*) dans une lagune tropicale : lagune Ebrié (Secteur I : lagune Potou, Côte d'Ivoire). *Tropicultura* 35 (4) : 253-261.
<https://doi.org/10.25518/2295-8010.1053>
3. Chantraine, J.M. (1980). La lagune Aby (Côte d'Ivoire) : morphologie, hydrologie, paramètres physico-chimiques. Document Scientifique, Centre de Recherche en Océanologie, Abidjan, 12 (2): 30-77.
<https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:02785>
4. Cheng, Q.Q., LU, D.R., & Ma, L. (2005). Morphological differences between close populations discernible by multivariate analysis: A case study of genus *Coilia* (Teleostei, Clupeiformes). *Aquatic Living Resources* 18: 187-192. <https://doi.org/10.1051/alr/2005020>
5. Daget, J. & Iltis, A. (1965). Poissons de côte d'Ivoire (eaux douces et saumâtres). *Mémoire de l'Institut français d'Afrique Noire IFAN-Dakar*, 392p. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:10371>
6. Diomande, D., Bony, Y.K., Edia, O.E., Konan, K.F., & Gourene, G. (2009). Diversité des Macroinvertébrés Benthiques de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire; Afrique de l'Ouest). *European Journal of Scientific Research*, 35 (3): 368-377.
<https://www.researchgate.net/publication/239927341>
7. Dkhil-Abbes, T. & Kraiem, M.M. (2011). Variabilité morphologique des populations du genre *Pseudophoxinus* dans les eaux douces tunisiennes. *Cybium*35: 33-38. <https://doi.org/10.26028/cybium/2011-351-003>
8. Durand, J.R. & Skubich, M. (1982). Les lagunes ivoiriennes. *Aquaculture*, 27: 211-250. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(82\)90059-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(82)90059-X)
9. Durand, J.R. & Guiral, D. (1994). Hydroclimat et hydrochimie. In : Durand J.R., Dufour P. Guirald & Zabi S.G. (Eds.), *Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire*. Tome II - Les milieux lagunaires, Editions ORSTOM : 59-90.
<https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:40686>
10. Ferrito, V., Mannino, M.C., Pappalardo, A.M., & Tigano, C. (2007). Morphological variation among populations of *Aphanius fasciatus*

- Nardo, 1827 (Teleostei, Cyprinodontidae) from the Mediterranean. *Journal of Fish Biology*, 70: 1-20. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01192.x>
11. Girard, G., Sircoulon, J., & Toucheboeuf, P. (1971). Aperçu sur les régions hydrologiques. In : Avenard J. M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Toucheboeuf P., Guillaumet J. L., Adjanohoun E. & Perraud A. (Eds.), Le milieu naturel de Côte-D'ivoire. Mémoire ORSTOM, 50: 109-156. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:16368>
 12. Jain, A.K., Duin, R.P.W., & Mao, J. (2000). Statistical pattern recognition: a review. *IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22 (1): 4-37. <https://doi.org/10.1109/34.824819>
 13. Kouassi, P.A. (2010). Stratégies comparées de l'exploitation des plans d'eau lagunaire de Côte-d'Ivoire. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 251 : 347-363. <https://doi.org/10.4000/com.6038>
 14. Lae, R. (1991). Les pêcheries artisanales lagunaires ouest-africaines : échantillonnage et dynamique de la ressource et de l'exploitation. Thèse de Doctorat. Éditions d'ORSTOM, Paris, 201p.
 15. <https://www.theses.fr/1990BRES2010>
 16. Leveque, C., Dejoux, C., & Iltis, A. (1983). Limnologie du fleuve Bandama, Côte d'Ivoire. *Hydrobiologia*, 100: 113-141. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:03535>
 17. Marques, J.F., Teixeira, C.M., & Cabral, H.N. (2006). Differentiation of commercially important flatfish populations along the Portuguese coast: Evidence from morphology and parasitology. *Fisheries Research*, 81: 293-305. <https://doi.org/10.1163/156853803322440817>
 18. Mayr, E. (1970). Populations, species and evolution. An abridgment of animal species and evolution. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, 453p. <https://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674690134>
 19. N'Goran, Y.N. (1995). Biologie, écologie et pêche de *Ethmalosafimbriata* (Bowdich, 1825) en lagune Aby (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, UBO, 227p. <https://www.theses.fr/1995BRES2001>
 20. Ouattara, T.A.S.C. (2019). Différenciation morphologique et génétique des poissons du genre *Chrysichthys* de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université Nangui-Abrogoua, 174p.
 21. Paugy, D. & Leveque, C. (1999). Taxinomie et systématique. In : Leveque, C. & Paugy, D. (Eds.). Les poissons des eaux continentales africaines : Diversité, Ecologie, Utilisation par l'Homme. Edition IRD: 97-120. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/ed-06-08/010037362.pdf

22. Poulet, N., Berreb, P., Crivelli, A.J., Lek, S., & Argillier, C. (2004). Genetic and morphometric variations in the pikeperch (*Sander lucioperca* L.) of a fragmented delta. *Archiv für Hydrobiologie*, 159: 531-554. <https://doi.org/10.1127/0003-9136/2004/0159-0531>
23. Risch, L.M. (1992). *Bagridae*. In: Lévêque C., Paugy D. et Teugels G.G. (Eds). Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. ORSTOM (Paris)/ MRAC (Tervuren), Tome II: 395-431. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:34060>
24. Silva, A. (2003). Morphometric variation among sardine (*Sardina pilchardus*) populations from the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science*, 60: 1352-1360, [https://doi.org/10.1016/S1054-3139\(03\)00141-3](https://doi.org/10.1016/S1054-3139(03)00141-3)
25. Teugels, G.G. (1986). A systematic revision of African species of the genus *Clarias* (Pisces, Clariidae). *Annales du musée royal de l'Afrique Centrale. Sciences Zoologiques*, 247, 199p. <http://vmcloffadev.mpl.ird.fr/table/biblio/10805>
26. Thys Van Den Audenaerde, D.F.E. (1970). Bijdrage tot een systematische bibliographische monographie van het genus *Tilapia* (Pisces: Cichlidae). Ph.D. Thesis, Rijksuniversiteit Gent, Belgium, 261p. <https://biblio.ugent.be/publication/8597646>
27. Tomovic, L. & Džukicic, G. (2003). Geographic variability and taxonomy of the nosehorned viper, *Vipera ammodytes* (L. 1758), in the central and eastern parts of the Balkans: a Multivariate study. *Amphibian and Reptile*, 24: 359-377. <https://doi.org/10.1163/156853803322440817>
28. Turan, C. (2004). Stock identification of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) using morphometric and meristic characters. *ICES Journal of the Marine Sciences*, 61: 774-781. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.05.001>
29. Vanden Bossche, J.P. & Bernacsek, G.M. (1990). Source book for the inland fishery resources of Africa. FAO Fisheries Technical paper, 1812, Rome, 240p. <https://www.fao.org/fishery/en/publications/73716>



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Distribution Spatio-Temporelle du Phytoplancton en Relation avec Quelques Paramètres Physico-Chimiques dans le Système Lagunaire Adjin-Potou (Côte d'Ivoire)

Kandana Marthe Yéo, CR

Centre de Recherche en Ecologie,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Aya Nelly Berthe Kouadio, A

Laboratoire de Géosciences et Environnement,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Estelle Sévérine Konan, CR

Centre de Recherche Océanologique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Koffi Komoé, MC

Département de botanique, Université Félix Houphouët Boigny-Abidjan,
U.F.R. Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire

Droh Lanciné Goné, PT

Laboratoire de Géosciences et Environnement,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p269](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p269)

Submitted: 06 September 2023

Accepted: 13 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Yéo K.M., Kouadio A.N.B, Konan E.S., Komoé K. & Goné D.L. (2023). *Distribution Spatio-Temporelle du Phytoplancton en Relation avec Quelques Paramètres Physico-Chimiques dans le Système Lagunaire Adjin-Potou (Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 269. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p269>

Résumé

Le bassin versant du système lagunaire périurbain Adjin-Potou connaît ces dernières années une forte anthropisation susceptible de compromettre les usages et fonctions biologiques de cet hydrosystème. Afin de gérer durablement ces ressources en eau, une évaluation de la biodiversité algale en relation avec quelques paramètres physico-chimiques a été effectuée. Les prélèvements phytoplanctoniques se sont déroulés, en janvier, juin, août et novembre de l'année 2013. Neuf sites d'échantillonnage ont été retenus à cet effet. Les sels nutritifs (NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ et PO₄³⁻ et les paramètres

physico-chimiques classiques (pH, température, salinité et la turbidité) ont été également mesurés. Les résultats montrent que les sels nutritifs présentent de faibles concentrations. Les nitrates qui sont les plus représentés dans le milieu ont des concentrations moyennes mensuelles qui varient de $0,76 \pm 0,045$ mg.L⁻¹ à $4,92 \pm 2,09$ mg.L⁻¹ durant la période de l'étude. Les concentrations les plus élevées en éléments nutritifs ont été obtenues en lagune Potou. L'inventaire du phytoplancton a permis de dénombrer 80 taxons appartenant à six (6) embranchements (Cyanoprocarvota, Chlorophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Dinophyta et Haptophyta caractéristiques des milieux pollués. Parmi ces taxons, 21 sont communs aux deux lagunes, 36 sont spécifiques à la lagune Adjin et 8 à celle de Potou. Cette lagune enregistre également les densités algales les plus élevées, surtout à la station 5 ($297\ 927 \times 10^3$ cellules.L⁻¹) où la pisciculture est pratiquée. Dans les échantillons, des taxons appartenant aux genres *Microcystis*, *Anabaena*, *Dinophysis* et *Oscillatoria*, pouvant produire des toxines susceptibles de nuire à la santé des êtres humains et des animaux sont identifiés. Les densités maximales dans les lagunes Adjin et Potou, ont été obtenues, respectivement dans les mois de juin et août et les Cyanobactéries dominent les peuplements des eaux.

Mots-clés: Lagune Adjin-Potou, Sels nutritifs, Phytoplancton, Densité, Côte d'Ivoire

Spatio-Temporal Distribution of Phytoplankton in Relation to Some Physico-Chemical Parameters in Adjin-Potou Lagoon System (Côte d'Ivoire)

Kandana Marthe Yéo, CR

Centre de Recherche en Ecologie,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Aya Nelly Berthe Kouadio, A

Laboratoire de Géosciences et Environnement,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Estelle Sévérine Konan, CR

Centre de Recherche Océanologique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Koffi Komoé, MC

Département de botanique, Université Félix Houphouët Boigny-Abidjan,
U.F.R. Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire

Droh Lanciné Goné, PT

Laboratoire de Géosciences et Environnement,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

In recent years, the watershed of Adjin-Potou peri-urban lagoon system has undergone significant anthropization, which is likely to compromise the uses and biological functions of this hydrosystem. In order to manage these water resources sustainably, an assessment of algal biodiversity in relation with some physico-chemical parameters was carried out. Phytoplankton sampling has been carried out in January, June, August and November 2013. Nine sampling sites were selected. Nutrients salts (NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ et PO₄³⁻) and classic physico-chemical parameters (pH, temperature, salinity and turbidity) were also measured. The results show low concentrations of nutrients. Nitrates, which are the most represented in the environment, have monthly mean concentrations ranging from 0.76 ± 0.045 mg.L⁻¹ to 4.92 ± 2.09 mg.L⁻¹ during the study period. The highest nutrient concentrations were found in Potou lagoon. The highest nutrients concentrations were obtained in Potou lagoon. The phytoplankton inventory revealed 80 taxa belonging to six (6) phyla (Cyanoprocaryota, Chlorophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Dinophyta and Haptophyta) characteristic of polluted environments. Of these taxa, 21 are common to both lagoons, 36 are specific to Adjin lagoon and 8 to Potou. This lagoon also records the highest algal densities, especially at station 5 (297 927.103 cells.L⁻¹) where fish farming is practiced. In the samples, taxa belonging to the genera *Microcystis*,

Anabaena, Dinophysis and Oscillatoria, which can produce toxins that can harm human and animal health, were identified. Maximum densities in the Adjin and Potou lagoons were obtained in June and August respectively, with Cyanobacteria dominating the water populations.

Keywords: Adjin-Potou lagoon, Nutrient salts, Phytoplankton, Density, Côte d'Ivoire

Introduction

L'approvisionnement en eau potable de la ville d'Abidjan est, jusqu'à présent, assuré à partir de la nappe du continental terminal, par 76 forages d'une profondeur moyenne de 120 mètres (Kouamé *et al.*, 2013). Du fait des variations climatiques et des activités anthropiques, les eaux souterraines de la nappe ne sont plus suffisantes aujourd'hui et la population se voit de plus en plus confrontée à de multiples pénuries d'eau. Les principaux facteurs à l'origine de ces difficultés sont entre autres, l'augmentation de la demande (liée à la croissance de la population et à l'augmentation du niveau de vie), la diminution des zones d'infiltration liée à l'urbanisation et à l'imperméabilisation des sols, qui réduisent le taux de recharge de la nappe (Traoré *et al.*, 2014). À ces facteurs, s'ajoute la dégradation de la qualité chimique des eaux souterraines liée au manque d'infrastructures d'assainissement adaptées au traitement des eaux de rejet, aggravés par l'insuffisance et à la précarité des services d'alimentation en eau potable et d'autre part à l'inaccessibilité aux installations d'assainissement. Jourda *et al.* (2006) et Ahoussi *et al.* (2008) ont révélé la pollution nitratée des eaux souterraines d'Abidjan. Ils concluent que ces pollutions proviendraient d'un mauvais assainissement, d'apport d'eaux usées et des excréta. D'autres travaux ont signalé la remontée d'eau salée dans les forages au Sud d'Abidjan, près des lagunes et de la mer. Ces facteurs tendent à mettre en péril la qualité des eaux souterraines et ont occasionné l'abandon de certains champs captant (Soro *et al.*, 2010). Il s'avère donc nécessaire de recourir à d'autres ressources en eau mobilisables.

Pour ce faire, des ressources en eau dont l'exploitation pourrait permettre de faire face aux besoins du District d'Abidjan ont été identifiées. Parmi celles-ci, figure la lagune Adjin qui est une lagune d'eau douce située à l'Est d'Abidjan. Cependant, avant d'envisager l'exploitation de cette ressource, il est nécessaire de s'assurer des potentialités réelles de la lagune Adjin. L'utilisation efficace de ce plan d'eau comme eau de boisson nous impose d'en connaître son fonctionnement qui passe par l'évaluation de sa qualité écologique (Fishar et Williams, 2008) ainsi que celle de la lagune Potou avec laquelle elle communique par un chenal naturel et par l'exutoire de la rivière Mé.

Sachant que l'eutrophisation est un phénomène complexe susceptible de se développer dans les eaux de surface et caractérisé par un développement anormal de certains types d'algues, perturbant l'écosystème aquatique et pouvant présenter des risques pour la santé animale et humaine, un suivi régulier s'avère nécessaire en vue de garantir une gestion efficace et durable de leurs ressources.

Nos travaux se sont particulièrement orientés vers une étude comparative des communautés phytoplanctoniques dans les deux lagunes en relation avec quelques paramètres physico-chimiques.

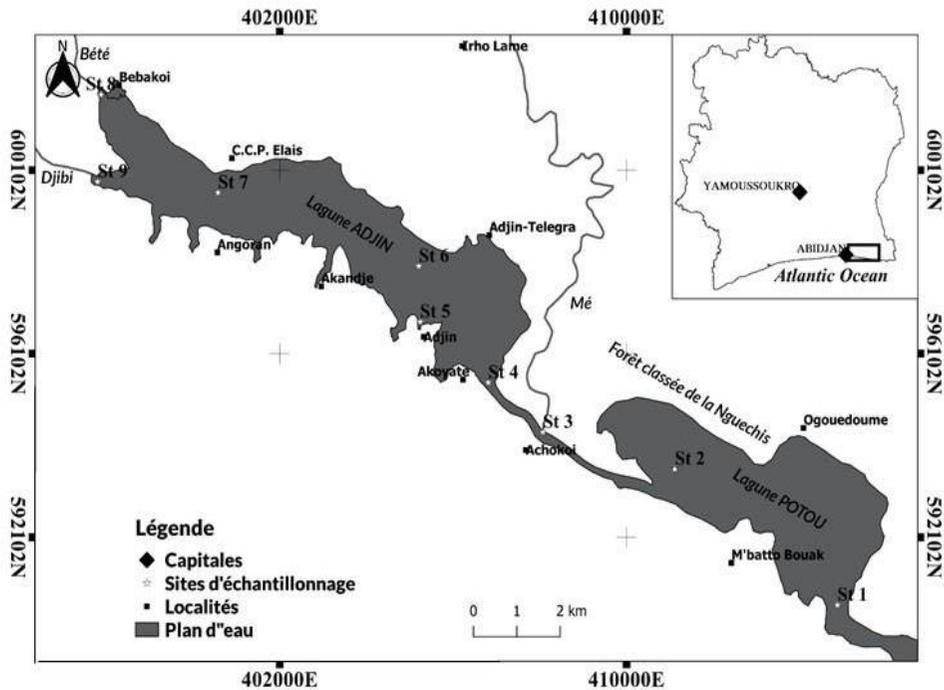
Matériel et méthodes

Situation géographique de la zone d'étude et choix des stations de prélèvement

Le système lagunaire Adjin-Potou constitue le secteur I de la lagune Ébrié avec une superficie de 43 km². Cet hydrosystème est situé entre les coordonnées 398 000 and 416 000 m Est et les coordonnées 590 000 et 620 000 m Nord (UTM 30). Ces deux lagunes communiquent entre elles par un canal naturel par lequel débouche l'exutoire de la rivière Mé. La lagune Adjin reçoit les eaux douces principalement des rivières Djibi et Bété et secondairement de la rivière Mé. La lagune Potou quant à elle reçoit les eaux de fleuve Comoé et de la rivière Mé et de façon modérée les eaux marines pendant la grande saison sèche (N'Guessan, 2008). La lagune Adjin a une superficie de 20,2 km² et la lagune Potou, une superficie de 22,8 km², avec des bassins versants respectifs de 72 km² et 135 km². La forêt sur le bassin versant de la lagune Adjin est fortement dégradée au profit des activités anthropiques et des installations humaines. En effet, on note une très forte pression urbaine sur le bassin versant de la Djibi dont environ 40% de la surface est urbanisée, et une urbanisation en forte progression sur celui de la Bété Chazot *et al.* (2016). La rivière Djibi reçoit les eaux usées d'une partie de la commune d'Abobo, l'une des grandes communes du district d'Abidjan et se jette dans la partie amont de la lagune Adjin.

Par ailleurs, la mangrove est détruite au profit des installations humaines. En effet, de nombreux villages sont situés à proximité du plan d'eau et les riverains s'adonnent également à des activités (pisciculture sur le plan d'eau, culture de marechiers, élevage) et le déversement de toutes sortes d'effluents dans ces eaux lagunaires qui peuvent être des sources de pollution chimique (Yéo *et al.*, 2015). Les cultures et jachères occupent la quasi-totalité du bassin (Koffi *et al.*, 2014). En lagune Potou, l'influence de l'intrusion saline est sensible en saison sèche, tout en restant modérée. Sa rive nord est occupée par la forêt de N'guéchié (Yéo, 2015) et selon la carte bathymétrique réalisé par N'Guessan en 2008, les profondeurs sont inférieures à 3 m sur les 22 km². Les profondeurs supérieures à 3 m se localisent à son entrée et à sa sortie.

Figure 1. Localisation des stations d'échantillonnage dans le système lagunaire Adjin-Potou



Neuf sites ont été retenus pour la caractérisation biotique des eaux des lagunes Adjin et Potou (figure 1). Spécifiquement, il y a des sites d'échantillonnage aux embouchures des principaux affluents, à savoir: la Mé (station 3), la Bété (station 8) et la Djibi (station 9). Le faible nombre de points de prélèvement dans la lagune Potou est dû au fait que nous n'avons pas pu avoir accès à cette zone. En effet, les très faibles profondeurs ($\approx 0,5$ m) dues à l'ensablement de la lagune dans sa partie Est n'ont pas permis d'y effectuer un échantillonnage.

Echantillonnage et analyse des paramètres physico-chimiques et des micro-algues

Le prélèvement des algues planctoniques a été effectué, en janvier, juin, août et novembre de l'année 2013, correspondant respectivement à la grande saison sèche, la grande saison des pluies, la petite saison sèche et à la petite saison des pluies.

Le prélèvement des algues planctoniques s'est opéré à l'aide d'une bouteille de Niskin, à 1 m en dessous de la surface air-eau. La flore algale de 5 L d'eau a été concentrée sur place par filtration à l'aide d'un entonnoir. Les échantillons prélevés à chaque station sont recueillis dans des piluliers de 100 mL, puis fixés avec du formol à 5 % (Ouattara, 2000) pour les analyses au laboratoire.

L'observation des taxons phytoplanctoniques a été effectuée sous microscope ordinaire muni d'une chambre claire. Les observations sont faites d'abord à l'objectif 10x pour une vue d'ensemble, puis à l'objectif 40x pour plus de détails. Les différentes formes algales ont été mesurées à l'aide d'un micromètre-objet puis photographiées grâce à un appareil photo numérique.

Pour les Diatomées, une préparation spéciale visant à détruire la matière organique dans le but de conserver la coque siliceuse a été réalisée selon Leclercq et Maquet (1987).

L'identification des taxons a été réalisée à partir de combinaison de travaux de plusieurs auteurs dont ceux de Bourrelly (1981, 1985 et 1988), Couté et Iltis (1985), Da (1992, 2007), Zongo (1994), Ouattara (2000), Komoé (2010) et Konan (2014). Le dénombrement phytoplanctonique a été effectué selon la méthodologie de Uehlinger décrite par Lazzaro (1981).

La composition qualitative relative du phytoplancton de chacune des lagunes Adjin et Potou a été obtenue en déterminant le pourcentage de la densité phytoplanctonique de chaque embranchement par rapport à la densité total du phytoplancton dans chaque plan d'eau.

La température, le pH, la salinité et la turbidité ont été mesurés avec un multiparamètre de marque HANNA HI 9828. Les sels nutritifs ont été dosés selon les normes françaises NF T 90 013, NF T 90 012, NF T 90 015 et NF T 90-110, respectivement pour les nitrites, les nitrates, l'ammonium et les orthophosphates. Pour la réalisation de l'analyse univariée (test de Tukey de l'ANOVA à un facteur), le logiciel STATISTICA 7.1 a été utilisé pour comparer les moyennes de ces paramètres physico-chimiques dans les eaux des deux lagunes.

Résultats

Composition qualitative du phytoplancton du système lagunaire Adjin-Potou

La composition taxonomique de la flore algale du système lagunaire Adjin-Potou et de la rivière Mé, comprend au total 80 taxons appartenant à six (6) embranchements : Cyanoprocaryota (13 taxons), Chlorophyta (36 taxons), Bacillariophyta ou Diatomées (16 taxons), Euglenophyta (12 taxons), Dinophyta (2 taxons) et Haptophyta (1 taxon). Parmi ces taxons, 21 sont communs aux deux lagunes. Trente-cinq (35) taxons inventoriés, ont été récoltés dans les eaux de la lagune Potou dont 8 lui sont spécifiques, contre 67 en lagune Adjin dont 36 lui sont spécifiques (Tableau 1).

Tableau 1. Liste des taxons algaux répertoriés par station dans le système lagunaire Adjin-Potou

Phytoplankton	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	St 9
Cyanobacteria									
<i>Anabaena affinis</i> Lemmerman	+	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>Anabaena</i> sp.	+	-	-	-	+	+	-	-	+
<i>A. spiroides</i> kleb	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli	+	-	-	+	+	+	+	+	-
<i>Merismopedia elegans</i> Braun	-	-	-	-	-	-	+	+	+
<i>Microcystis aeruginosa</i> Kützing	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>M. flos-aquae</i> (Wittrock) Kirchner	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>M. incerta</i> (Lemmerman) Lemmerman	+	-	+	+	+	+	+	-	-
<i>Microcystis novacekii</i> (Komárek) Compère	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oscillatoria princeps</i> Vaucher	-	-	-	-	+	+	+	+	+
<i>Oscillatoria</i> sp.1	+	+	+	-	+	-	+	-	+
<i>Oscillatoria</i> sp.2	-	-	-	+	+	+	+	+	+
<i>Oscillatorias</i> p.3	-	-	-	-	-	-	+	+	-
Dinophyta									
<i>Dinophysis</i> sp.	-	-	+	-	-	-	+	+	+
<i>Protoperidinium</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Chlorophyta									
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	+	+	-	+	+	-	-	+	+
<i>Ankistrodesmus bibraianus</i> (Reinsch) Korshikov	+	-	-	-	+	+	-	-	+
<i>A. falcatus</i> (Corda) Ralfs	-	-	-	-	+	+	+	+	+
<i>A. fusiformis</i> Corda	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>A. gracilis</i> (Reinsch) Korshikov	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Ankistrodesmus</i> sp.1	-	-	-	+	+	-	-	+	-
<i>Ankistrodesmus</i> sp.2	-	-	-	-	+	-	-	+	+
<i>Closterium gracile</i> Brébisson ex Ralfs	+	+	+	-	+	-	+	-	-
<i>Coelastrum reticulatum</i> (P.A. Dang) Senn	-	-	-	+	+	-	+	+	+
<i>Cosmarium decorum</i> West & G.S. West	-	-	+	+	+	+	+	-	+
<i>C. spinuliferum</i> West & G.S. West	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cosmarium</i> sp.	-	-	-	+	+	+	+	+	+
<i>Euastrum</i> sp.	-	-	-	+	+	+	+	-	+
<i>Micrasterias</i> sp.	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>Pandorina morum</i> (Müller)Bory	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Pediastrum biradiatum</i> var. <i>longecornutum</i> Gutwinski	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>P. duplex</i> Meyen	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pediastrum duplex</i> var. <i>gracillimum</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs	-	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>Pseudostaurastrum</i> sp.	-	-	-	-	+	+	-	-	+
<i>Scenedesmus bernardii</i> G.M. Smith	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>S. bicaudatus</i> Dedussenko	-	+	-	-	+	-	-	-	+
<i>S. dimorphus</i> (Turpin) Kützing	-	-	+	-	+	-	-	-	+
<i>S. denticulatus</i> Lagerheim	-	-	-	+	-	-	+	-	-
<i>S. ecornis</i> (Ehrenberg) Schodat	-	-	-	-	+	-	-	+	+
<i>S. obtusus</i> Meyen	-	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>S. quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	+	+	+	+	+	+	+	+	+

<i>Schroederia</i> sp.	-	+	+	-	+	-	+	+	+
<i>Spirogyra</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Staurastrum cingulum</i> (West & G.S. West) G.M. Smith	+	-	+	+	-	-	+	+	-
<i>S. gracile</i> Ralfs ex Ralfs	-	-	+	+	+	+	+	+	+
<i>S. polymorphum</i> Brébisson	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>S. volans</i> West & G.S. West	+	+	+	-	+	+	+	+	+
<i>Stauroidesmus convergens</i> (Ehrenberg ex Ralfs) Teiling	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>S. triangularis</i> (Lagerh) Teiling	-	-	-	-	+	-	-	-	+
Bacillariophyta									
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>A. granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen			+	+	+	-	+		-
<i>A. granulata</i> var. <i>angustissima</i> (Otto Müller) Simonsen	+	+	+	+	+	-	+	+	+
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> fo. <i>Spiralis</i> (Otto Müller) Simonsen	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus</i> sp.	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Eunotia</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	+	+
<i>Fragilaria</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Frustulia</i> sp.	-	-	-	+	+	-	-	-	+
<i>Gyrosigma</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Petrodictyon gemma</i> (Ehrenberg) D.G. Mann	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Surirella robusta</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Surirella</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>Terpsinoe musica</i>	+	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P.Compère	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Euglenophyta									
<i>Euglena proxima</i> P.A. Dangeard	-	-	+	-	+	-	-	-	+
<i>Lepocinclis acus</i> (O.F. Müller) B. Marin & Melkonian	+	+	-	+	+	+	+	+	+
<i>L. spirogyra</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	+	+	-
<i>Lepocinclis tripteris</i> (Dujardin) B.Marin & M.Melkonian	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phacus curvicauda</i> Svirendo	+	+	+	+	+	+	-	+	+
<i>P. longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin	-	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Phacus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>P. tortus</i> Lemmerman	-	-	-	-	+	+	-	-	+
<i>Trachelomonas caudata</i> (Ehrenberg) F. Stein	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>T. hispida</i> (Perty) F. Stein	-	-	-	-	+	+	-	-	-
<i>T. planctonica</i> Svirenko	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>T. similis</i> A.C. Stokes	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Haptophyta									
<i>Dictyochoa</i> sp.	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Abondance totale du phytoplancton	29	23	30	29	47	31	36	42	45

St = Station (St 1 et 2 = lagune Potou; St 3 = rivière Mé; St 4 à 9 = lagune Adjin). Symboles
 + = présent ; - = non identifié.

En ce qui concerne le nombre de taxons par station (Tableau 1), le maximum de taxons a été enregistré à la station 5 située sur la plan lagunaire Adjin (47 taxons) ; tandis que le minimum a été obtenu à la station 2 sur la lagune Potou (23 taxons). Les stations 5 à 9 situées sur la lagune Adjin, ont enregistré plus de taxons dans système lagunaire Adjin-Potou. La lagune Adjin comporte une composition phytoplactyonique plus diversifiée que la lagune Potou.

Dans les plans d'eau étudiés, l'embranchement des Chlorophyta a le nombre de taxon le plus élevé. En effet, les Chlorophyta sont de 52,24 %, 35,48 %, et 34,29 % respectivement à la lagune Adjin, la rivière Mé et la lagune Potou (Tableau 1 et 2).

Tableau 2. Répartition de la flore algale dans les lagunes Adjin et Potou et fréquences des embranchements phytoplactoniques

Embranchements	Lagune Potou		Rivière Mé		Lagune Adjin	
	Nombre de taxons	Pourcentage (%)	Nombre de taxons	Pourcentage (%)	Nombre de taxons	Pourcentage (%)
Cyanoprocaryota	9	25,71	6	19,36	12	17,91
B Bacillariophyta	8	22,86	8	25,81	7	10,45
Dinophyta	1	2,86	2	6,45	2	2,98
Chlorophyta	12	34,29	11	35,48	35	52,24
Euglenophyta	5	14,28	4	12,90	10	14,93
Haptophyta	0	0	0	0	1	1,49
Total	35	100	31	100	67	100

Comme le montre les figures 2a et 2b, les Cyanoprocaryota dominent la flore algale des deux lagunes avec 49,76 % et 88,66 %, respectivement à Potou et à Adjin. Les Bacillariophyta suivent avec respectivement 47,84 % et 4,97 %,

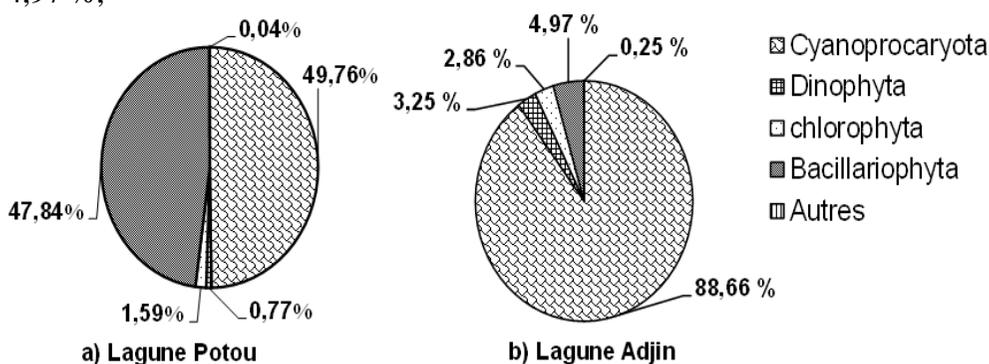


Figure 2. Composition qualitative relative du phytoplancton des lagunes Potou (a) et Adjin (b)

Puis les Dinophyta et les Chlorophyta représentent respectivement 0,77 % et 1,59 % à Potou et 3,25 % et 2,86 % à Adjin les autres (Euglenophyta,

Haptophyta) ne représentent pas plus de 1 % de la densité totale. En lagune Potou, les Bacillariophyta ont une proportion presque identique à celle des Cyanoprocaryota.

Parmi les taxons qui ont les densités phytoplanctoniques élevées de la période de l'étude, figurent : *Microcystis aeruginosa* (28,93 %), *Anabaena affinis* (20,15 %), *Oscillatoria* sp.2 (13,28 %), *Microcystis flos-aquae* (11,76 %), *Anabaena spiroides* (10,51 %), *Aulacoseira* sp. (6,42 %), *Protoperidinium* sp. (2,70 %), *Oscillatoria* sp.1 (1,39 %), *Ulnaria ulna* (1,33 %) et *Pediastrum duplex* (1,27 %). Les autres taxons ont un pourcentage inférieur à 1 % de la densité totale. Cependant, les taxons tels que *Oscillatoria* sp., *M. aeruginosa*, *M. flos-aquae*, *U. ulna*, *A. sp.*, *Cosmarium spinuliferum*, *Scenedesmus quadricauda*, *P. duplex*, *Staurastrum volans* et *Staurastrum* sp. sont présents en nombre important dans 50 % des prélèvements.

Composition quantitative du phytoplacton du système lagunaire Adjin-Potou

La densité la plus élevée, $297\ 927 \times 10^3$ cellules.L⁻¹, est enregistrée à la station 5 (figure 3a). Suivent les stations 9 et 8 avec respectivement $155\ 925 \times 10^3$ cellules.L⁻¹ et $151\ 264 \times 10^3$ cellules.L⁻¹. La station 2 possède la plus faible densité algale avec seulement $12\ 190 \times 10^3$ cellules.L⁻¹. À toutes les stations (figure 3b), on note une prédominance de la densité des individus appartenant à l'embranchement des Cyanoprocaryota, hormis la station 4 où les Bacillariophyta sont dominantes. Aux stations 1 et 2 les Bacillariophyta sont le groupe dominant après les Cyanophytes.

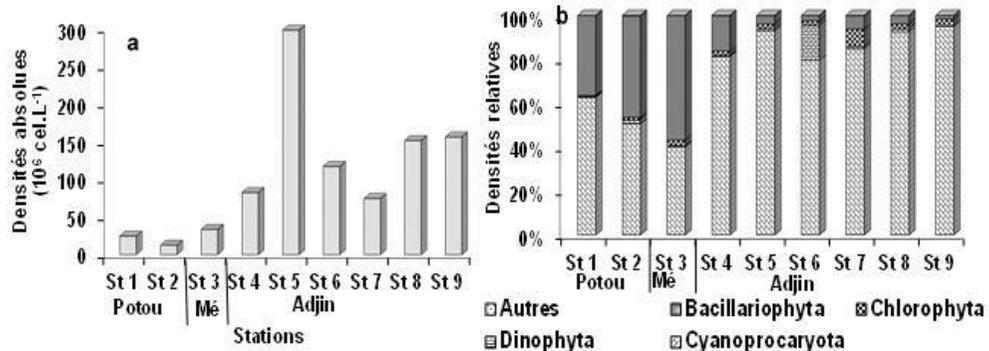


Figure 3. Variations spatiales des densités absolues (a) et relatives (b) des grands groupes phytoplanctoniques dans les lagunes Potou et Adjin et la rivière Mé en 2013.

Au cours de l'échantillonnage, la densité phytoplanctonique a été maximale en juin (figure 4a) en lagune Adjin ($487\ 045\ 800$ cellules.L⁻¹) pendant la grande saison des pluies. Cette poussée phytoplanctonique est dominée par les Cyanoprocaryota (figure 4c) pendant les mois de juin, d'août et de novembre, avec les taxons comme *Anabaena affinis* ($188\ 236 \times 10^3$

cellules.L⁻¹) et *Microcystis aeruginosa* (150 305×10³ cellules.L⁻¹). Les Dinophyta dominant en janvier. En revanche, dans la lagune Potou (figure 4b) le maximum de poussée phytoplanktonique a lieu en août (54 396×10³ cellules.L⁻¹) pendant la petite saison sèche avec en tête les Bacillariophyta (figure 4d) dominées par les taxons *Ulnaria ulna* et *Aulacoseira* sp., suivies des Cyanoprocaryota. Dans les eaux de Potou, le phytoplankton est dominé par les Cyanoprocaryota en janvier, en juin et en novembre (figure 4d). Les minima de densités cumulées pour les deux lagunes sont observés en janvier lors de la grande saison sèche (figures 4a et 4b). En considérant les densités des grands groupes d'algues relevées à cette période sèche, on note une dominance des Cyanoprocaryota, puis suivent les Bacillariophyta, les

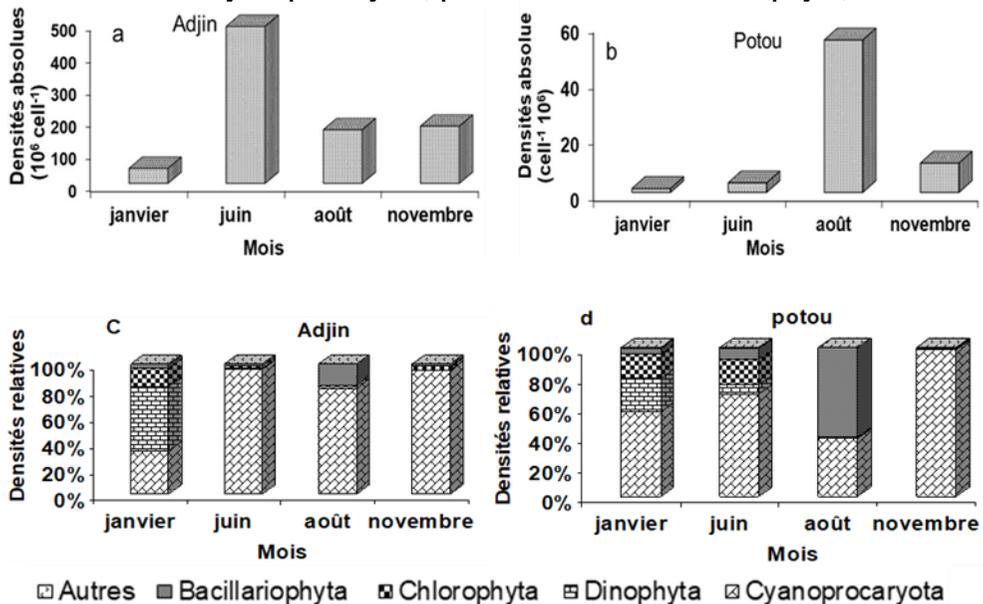


Figure 4 : Variations temporelles des densités absolues (a et b) et relatives (c et d) des grands groupes phytoplanktoniques dans les lagunes Adjin et Potou, en 2013

Dinophyta, les Chlorophyta, et les Dinophyta, à Adjin comme à Potou. Les autres taxons sont faiblement représentés. Le phytoplankton est plus diversifié en janvier dans la lagune Adjin tandis qu'à Potou, il l'est en janvier et en juin. Dans les eaux du système lagunaire, les Cyanoprocaryota, les Bacillariophyta, les Chlorophyta et les Dinophyta sont les principaux taxons qui contribuent à l'augmentation de la densité phytoplanktonique. Les autres taxons constitués par les Haptophyta et les Euglenophyta, ont enregistré des densités très faibles (0 à 160×10³ cellules.L⁻¹) durant la période d'étude.

On note une constance de la composition phytoplanktonique, en particulier les grands groupes dominants que sont les Cyanoprocaryota, les Bacillariophyta, les Chlorophyta et les Dinophyta dans les eaux du système Adjin-Potou au cours de la période de l'échantillonnage. Dans la lagune Potou,

en août, la prédominance des Bacillariophyta coïncident avec l'absence des autres groupes, exception faite des Cyanophytes qui restent bien représentées à toutes les périodes de l'échantillonnage.

Caractéristiques physico-chimiques des eaux du système lagunaire Adjin-Potou

Le tableau 3 présente les valeurs des paramètres physico-chimiques étudiés au cours de cette étude sur les deux lagunes et à l'exutoire de la Mé.

Tableau 3. Caractéristiques physico-chimiques des eaux du système lagunaire Adjin-Potou au cours des mois de janvier, juin, août et novembre de l'année 2013.

Paramètres	Paramètres statistiques	Potou	Mé	Adjin
Température (°C)	moy ± erreur type	29,03 ^a ± 0,27	27,64 ^a ± 0,48	29,18 ^a ± 0,16
	min - max	26,30 - 33,50	25,19 - 31,00	26,00 - 34,20
pH	moy ± erreur type	6,78 ^a ± 0,07	6,66 ^a ± 0,10	6,83 ^a ± 0,05
	min - max	5,20 - 7,90	5,89 - 7,37	5,20 - 8,99
Salinité	moy ± erreur type	0,05 ^{ab} ± 0,01	0,02 ^a ± 0,01	0,02 ± 0,00
	min - max	0,01 - 0,29	0,00 - 0,12	0,00 - 0,12
Turbidité (UNT)	moy ± erreur type	36,32 ^a ± 1,94	34,43 ^a ± 3,33	17,67 ^b ± 1,02
	min - max	10,90 - 68,30	11,44 - 61,00	1,89 - 49,14
NO ₂ ⁻ (µg.L ⁻¹)	moy ± erreur type	3,71 ^a ± 0,17	3,67 ^a ± 0,49	2,09 ^a ± 0,12
	min - max	1,00 - 6,00	0,60 - 7,00	0,00 - 9,00
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	moy ± erreur type	3,10 ^a ± 0,25	2,85 ^a ± 0,44	2,49 ^a ± 0,14
	min - max	0,17 - 7,14	0,41 - 7,05	0,18 - 6,91
NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	moy ± erreur type	0,06 ^a ± 0,01	0,06 ^a ± 0,01	0,04 ^a ± 0,00
	min - max	0,01 - 0,16	0,01 - 0,13	0,01 - 0,16
PO ₄ ³⁻ (µg.L ⁻¹)	moy ± erreur type	59,57 ^b ± 3,99	72,94 ^a ± 10,78	48,87 ^b ± 2,29
	min - max	5,30 - 117,00	13,00 - 195,00	4,00 - 104,21

Des valeurs moyennes avec une même lettre minuscule (exposants) ne sont pas significativement différentes. Moy = moyenne ; min = minimum ; max = maximum.

Dans l'ensemble des eaux échantillonnées, la température moyenne qui varie entre 27,64 ± 0,48 °C et 29,18 ± 0,16 °C. Selon le test de Tukey de l'ANOVA à un facteur, la variation de la température n'est pas marquée (p > 0,05) entre les plans d'eau. Cependant, les eaux de la lagune Adjin sont légèrement plus chaudes que celles de la Mé et de Potou.

Dans le système lagunaire Adjin-Potou, les valeurs moyennes du pH sont comprises entre 6,66 ± 0,40 et 7,26 ± 0,62. Ces eaux présentent un caractère faiblement acide à faiblement basique. Aucune différence significative (p > 0,05, test de Tukey) ne s'observe entre les valeurs de pH d'un plan d'eau à l'autre.

Les valeurs de la salinité sont faibles (salinité ≤ 0,29). Les valeurs les plus élevées sont observées à la lagune Potou et elles sont significativement

plus élevées ($p < 0,05$) que celles enregistrées dans les eaux de la lagune Adjin et de la Mé.

Les valeurs moyennes de turbidité varient entre $13,99 \pm 8,88$ et $36,45 \pm 12,68$ UNT. Les eaux de la lagune Adjin sont significativement moins turbides ($p < 0,05$) que celles de Potou et de la Mé.

Pour toutes les formes d'azote (nitrites, nitrates et ammonium) évaluées dans les eaux des lagunes Adjin et Potou et de la rivière Mé, les nitrites présentent les concentrations les plus faibles. Les valeurs oscillent entre 0 mg.L^{-1} et $0,009 \text{ mg.L}^{-1}$, entre $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$ et $7,14 \text{ mg.L}^{-1}$ et entre $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ et $0,16 \text{ mg.L}^{-1}$ respectivement pour les nitrites, les nitrates et l'ammonium.

Les variations entre les plans d'eau ne sont pas marquées. Par ailleurs, les eaux d'Adjin sont moins chargées ($p < 0,05$) en éléments nutritifs azotés que celles de Potou et de la Mé.

En ce qui concerne les orthophosphates, les teneurs moyennes de la période d'étude oscillent entre $0,047 \pm 0,006 \text{ mg.L}^{-1}$ et $0,250 \pm 0,032 \text{ mg.L}^{-1}$. Le tableau 3 montre que les eaux de la Mé sont significativement plus chargées ($p < 0,05$) en orthophosphates que celles des lagunes Adjin et Potou.

Discussion

L'analyse de la communauté phytoplanctonique dans le système lagunaire Adjin-Potou a permis de recenser quatre-vingt taxons répartis en six embranchements (Cyanoprocaryota, Bacillariophyta Chlorophyta, Dinophyta, Haptophyta, Euglenophyta). La flore algale de ce système peut être considérée donc comme riche de par le nombre de taxons qu'elle renferme. Cette richesse serait due au fait que les eaux du système lagunaire ne sont pas constamment renouvelées, ce qui favoriserait les processus biologiques tels que les cycles complets de reproduction et de développement des algues. Cette richesse algale, en relation avec la stabilité des eaux, a été constatée par Komoé *et al.* (2009) dans la lagune de Grand-Lahou et par Seu-Anoï (2012) dans les complexes lagunaires Aby, Ébrié et Grand-Lahou en Côte d'Ivoire. En effet, selon Iltis (1984) le taux de renouvellement des eaux de la lagune Adjin est beaucoup plus faible par rapport à l'ensemble de la lagune Ebrié. Cette stabilité de la colonne d'eau entraîne un piégeage des sels nutritifs qui sont par la suite diffusés dans le milieu, ce qui favoriserait une prolifération des microalgues (Gonzalez et Descamps-Julien, 2004). Les embranchements observés sont caractéristiques des milieux pollués riches en éléments nutritifs (Thomas, 2003). Cela s'expliquerait par le rejet dans cet écosystème d'importantes quantités d'eaux usées domestiques non traitées. Ceux-ci sont riches en nutriments, en plus des apports en éléments azotés et phosphorés du bassin versant. La station 5 a le nombre le plus élevé de taxons (47) et possède également la densité phytoplanctonique absolue la plus élevée ($297\ 927.10^3$

cellules.L⁻¹), est le lieu où sont implantés les étangs d'aquaculture servant à l'élevage de carpes sur la lagune Adjin. En effet, selon Merceron *et al.* (2002) les déchets issus de la fabrication d'aliments pour la pisciculture et les restes d'aliments non consommés par les poissons (environ 60 % de l'azote contenu dans les aliments) restent dans les eaux et enrichissent celles-ci en nutriments pouvant favoriser le développement des algues.

Les Cyanophytes dominent la flore algale des deux lagunes. Elles sont constamment présentes sur les stations prospectées et pendant tous les mois de la période d'échantillonnage, sauf à la station 4 (station de la rivière Mé) où les Bacillariophyta dominent. La dominance des Cyanoprocaryota serait due au fait que cette catégorie d'algues s'adapte à une multitude de conditions environnementales et sont capables de proliférer sous des conditions extrêmes (Walsby, 2001 ; Oberholster *et al.*, 2004 ; Lavoie *et al.*, 2007 ; Salla *et al.*, 2011). Cette prédominance peut être aussi attribuée à des stratégies développées par les Cyanophytes pour éviter d'être la cible des brouteurs (zooplancton et poissons phytophages). En effet, elles peuvent libérer des toxines leur procurant un « mauvais goût » (Haney, 1987) pour se protéger contre la prédation par le zooplancton (Chan *et al.*, 2004), pour éliminer les compétiteurs qui se disputent les mêmes ressources (Pearl et Millie, 1996). Elles vivent aussi en grandes colonies pour passer à travers les mécanismes de filtration des brouteurs (Lampert, 1987). La production de ces composés toxiques contribuerait à augmenter l'avantage compétitif des Cyanoprocaryota sur les autres embranchements d'algues. La prépondérance des Cyanophytes dans les eaux étudiées n'est pas due au grand nombre d'espèces qu'elles renferment, mais plutôt à un nombre très élevé de filaments ou de cellules réunis en colonies appartenant à un lot très restreint d'espèces dominantes. Cette dominance des Cyanoprocaryota a également été signalée dans les eaux saumâtres au Nigeria (Onyema et Nwankwo, 2010), au Brésil (Domingos *et al.*, 1994) et en Inde (Badylak et Philips, 2004). Seu-Anoï (2012) a également fait les mêmes observations dans les complexes lagunaires Ébrié, Aby et Grand-Lahou.

Les espèces de cyanobactéries à potentiel toxique peuvent se maintenir à une densité minimale dans la colonne d'eau, en conditions défavorables, et survivre dans les sédiments pendant cette période. Ces cellules en dormance peuvent recoloniser la colonne d'eau lorsque les conditions redeviennent favorables (Latour *et al.*, 2007 ; Komoé, 2010).

Dans les échantillons du système lagunaire Adjin-Potou, des taxons appartenant aux genres *Microcystis*, *Anabaena*, *Dinophysis* et *Oscillatoria*, pouvant produire des toxines susceptibles de nuire à la santé des êtres humains et des animaux (Huisman *et al.*, 2005 ; Pantelić *et al.*, 2013) sont identifiés. Les toxines sécrétées par ces algues sont des hépatotoxines et des neurotoxines (Pantelić *et al.*, 2013).

Le faible nombre de taxons et les faibles densités observés dans les stations de Potou peuvent être mis en rapport avec le fort renouvellement de ces eaux par la rivière Mé à partir du mois d'août qui débouche entre les deux lagunes, à la crue du fleuve Comoé de septembre à novembre, ajouté à une entrée des eaux marines de façon modérée pendant la grande saison sèche (décembre - février). Selon Durand et Guiral, (1994), la lagune Potou constitue un secteur intermédiaire d'eaux peu profondes, sensible à la marée, et essentiellement dépendant des apports fluviaux (Mé, Comoé).

En effet, les eaux de la lagune Potou sont renouvelées périodiquement par les crues de la Mé et de la Comoé, de même que par les eaux de la lagune Adjin située en amont de Potou.

La nette dominance des Bacillariophyta à la station 4 et leur proportion presque identique à celle des Cyanophytes dans la lagune Potou montrent que la plupart des taxons appartenant aux Bacillariophyta seraient donc apportés à la lagune Potou par les eaux de cette rivière.

Le nombre de taxons ainsi que les densités élevées aux stations d'Adjin pourraient être liés au très faible taux de renouvellement des eaux dans celle-ci (Durand et Guiral, 1994). En revanche, dans les eaux à fort taux de renouvellement, très turbides et riches en MES comme c'est le cas des stations 1 à 4 dont la concentration de chlorophylle *a* reste faible dans la colonne d'eau, bien qu'il y ait de forts apports en nutriments disponibles pour le développement du phytoplancton. En effet, la forte turbidité limite l'activité photosynthétique en raison de la faible pénétration de la lumière dans la colonne d'eau (Dufour, 1994 ; Ouattara *et al.*, 2001 ; Gonzalez *et al.*, 2004 ; Koné, 2008 et Ouffoué *et al.*, 2013). La présence de fortes charges en suspension est donc un facteur clé qui régit la pénétration de la lumière dans cet écosystème, tel que publié par Panigrahi (2006), Panigrahi *et al.* (2009) et Satpathy *et al.* (2011), dans les eaux côtières de Kalpakkam au Sud-Est de l'Inde et par Komoé *et al.* (2009) dans le système lagunaire de Grand-Lahou.

Du point de vue saisonnier, les fluctuations algales sont moins importantes dans les deux lagunes, mais c'est durant le mois de novembre correspondant à la saison des crues selon Durand et Guiral (1994), N'Guessan (2008), Yéo (2015)) que le phytoplancton apparaît le moins hétérogène. Les effectifs les plus faibles se distinguent pendant la grande saison sèche et les maximums ont lieu en grande saison des pluies (juin) et en petite saison sèche (août) respectivement dans les lagunes Adjin et Potou. En effet, durant la grande saison pluvieuse et la petite saison sèche, les concentrations en sels nutritifs surtout azotés, deviennent importantes. En effet, ces sels nutritifs sont drainés par les eaux de ruissellement chargées de produits de lessivage des bassins versants et par l'arrivée des eaux continentales (Koné, 2008; Yéo, 2015; Traoré, 2016). La richesse des eaux lagunaires en cette période entraînerait une prolifération algale dans cette zone, notamment les

Cyanophytes, les Diatomées et les Chlorophytes. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Komoé *et al.* (2009) dans la lagune de Grand-Lahou. La disponibilité des nutriments constituerait donc l'un des principaux facteurs qui contrôlerait la composition taxonomique du phytoplancton au sein des lagunes (Okbah et Hussein, 2006 ; Komoé *et al.*, 2009).

Les faibles biomasses récoltées pendant la petite saison des pluies ainsi que les faibles concentrations de chlorophylle *a* seraient dues aux fortes turbidités et à la dilution des eaux lagunaires. Au cours de cette saison, une partie de la surface lagunaire est aussi recouverte de plantes d'eau douce empêchant la pénétration de la lumière et réduisant les réactions de photosynthèse. Cette faible productivité en phytoplancton durant la petite saison des pluies a également été observée par Iltis (1984) en lagune Ébrié, par Komoé (2010) dans le complexe lagunaire de Grand-Lahou et par Seu-Anoï (2012) en lagune Aby.

La grande saison sèche, est marquée par une floraison de Cyanophytes, de Dinophytes et de Chlorophytes. A cette période, la prolifération des Cyanophytes n'est pas liée à la richesse du milieu en nutriments, comme l'ont démontré les travaux de Berrada *et al.* (2000). En effet, certaines espèces de Cyanophytes inventoriées dans nos échantillons possèdent des hétérocytes. Ces Cyanophytes (genre *Anabaena*) sont capables de fixer l'azote atmosphérique grâce à leurs hétérocytes, et ceci leur permet de proliférer dans les milieux pauvres en azote. Cette prolifération de Cyanophytes serait également favorisée par les fortes températures et les valeurs élevées de pH (Shapiro, 1997 ; Tang *et al.*, 1997). En ce qui concerne les Dinophytes, leur prolifération coïncide avec les faibles concentrations en sels nutritifs. Selon Komoé *et al.* (2009), les Dinophytes sont plus compétitives que les autres groupes d'algues lorsque le milieu est pauvre en éléments nutritifs. Ceci confirme l'idée que la capacité compétitive des espèces à utiliser les faibles concentrations des nutriments est un facteur important dans la succession phytoplanctonique (Sommer, 1983).

Conclusion

L'étude réalisée sur le phytoplancton du système lagunaire Adjin-Potou montre que la composition taxonomique diffère d'une lagune à l'autre. Le phytoplancton de la lagune Adjin apparaît le plus diversifié, mais les Cyanoprocaryota dominant dans les eaux des deux lagunes.

Quant à l'évolution saisonnière, les fortes densités sont enregistrées pendant la grande saison pluvieuse et la petite saison sèche, respectivement pour les lagunes Adjin et Potou. Le peuplement phytoplanctonique se compose majoritairement des taxons vivant dans des eaux eutrophes tropicales, avec des taxons potentiellement toxiques.

Par ailleurs, les fortes densités algales ainsi que la diversité phytoplanktonique observées au sein de la lagune Adjin sont dues au faible taux de renouvellement de ces eaux soumises à une forte pression anthropique alors que les eaux de la lagune potou sont constamment renouvelées par les eaux de la rivière Mé et de de la Comoé pendant la période pluvieuse et par l'intrusion des eaux marines pendant la grande saison sèche. Cette forte densité algale observée dans la lagune Adjin, serait à l'origine de l'épuisement des nutriments dans les eaux de la dite lagune.

La forte prolifération phytoplanktonique en particulier des Cyanobactéries, peut constituer une entrave aux activités socio-économiques (pêche, baignade) dans ces hydrosystèmes. Cela pourrait aussi induire des conditions écologiques défavorables pour la biodiversité aquatique et avoir des conséquences néfastes sur la santé des humains. Dans une perspective de développement durable de ces ressources en eau, une étude de restauration s'impose afin de réduire la prolifération du phytoplankton, notamment les Cyanobactéries qui sont caractéristiques des milieux pollués. Pour ce faire, l'on doit, créer des périmètres de protection (rapproché et éloigné) afin de réduire l'impact direct de l'homme sur ces eaux. Il faut aussi mener une politique de réduction de l'utilisation des fertilisants en agriculture sur le bassin versant du système lagunaire qui sont des ressources nutritives pour le phytoplankton apportés aux plans d'eau par le ruissellement. Les eaux usées de la commune d'Abobo qui sont rejetées dans la lagune Adjin via la rivière Djibi doivent aussi être traitées avant leur rejet dans les eaux lagunaires. Une étude écotoxicologique doit être également menée pour évaluer les risques d'intoxication humaine, de même que les risques écologiques liés à la présence d'algues potentiellement toxiques dans l'écosystème aquatique Adjin-Potou.

Conflit d'intérêt: Il n'y a pas eu de 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. Ahoussi, K.E., Soro, N., Soro, G., Lasm, T., Oga M.S., Zadé, S. (2008). Groundwater Pollution in African Biggest Towns: Case of Town of Abidjan (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 20 (2), pp. 302-316.

2. Badylak, S., Phlips, E.J. (2004). Spatial and temporal patterns of phytoplankton composition in a subtropical coastal lagoon, the Indian River Lagoon, Florida, USA. *Journal of Plankton Research*, 26 (10): 1229-1247.
3. Berrada, D., Berrada, F., Benzekri, A., Jabry, E. (2000). Évolution saisonnière des pleuplements phytoplanctoniques dans le lac-réservoir El Kansera (Maroc), en relation avec certains paramètres abiotiques et biotiques. *Hydroecology Applied*, 12 (1-2): 207-231.
4. Bourrelly, P. (1981). Les Algues d'eau douce. Tome II : Les Algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. Editions Nouvelles Boubée, Paris 517 p.
5. Bourrelly, P. (1985). Les Algues d'eau douce. Tome III : Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Editions Nouvelles Boubée, Paris 606 p.
6. Bourrelly, P. (1988). Les Algues d'eau douce. Complément tome I: Les algues vertes. Editions Nouvelles Boubée, Paris 182 p. 118 à 130 pl.
7. Chan, F., Pace, M.L., Howarth, R.W., Marino, R.M. (2004). Bloom formation in heterocystic nitrogen-fixing bacteria: The dependence on colony size and zooplankton grazing. *Limnology and Oceanography*, 49: 2171-2178.
8. Da, K.P. (1992). Contribution à la connaissance du phytoplancton de la mare et du complexe piscicole du Banco (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de 3^e cycle, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan 384 p.
9. Da, K.P. (2007). Étude taxinomique du phytoplancton dulçaquicole des masses d'eau lenticues et lotiques de quelques sites au Sud de la Côte d'Ivoire, entre les fleuves Bandama et Bia: Apports de la microscopie électronique à balayage. Thèse de Doctorat d'État des Sciences Naturelles, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan 402 p.
10. Domingos, P, Huszar, V.L.M., Carmouze, J.P. (1994). Composition et biomasse du phytoplancton d'une lagune tropicale (Brésil) au cours d'une période marquée par une mortalité de poissons. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*. 27(3), 235-250.
11. Dufour, P., Lemoalle, J., Albaret, J.J. (1994). Le système Ébrié dans les typologies lagunaires. *In* : Environnement et Ressources Aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome II. Les milieux lagunaires. Durand, J.R., Dufour, Ph., Guiral, D. et Zabi, S. Éditeurs. Éditions de l'ORSTOM, Paris, 17-24.
12. Durand, J.R., Guiral, D. (1994). Hydroclimat et hydrochimie. *In* : Environnement et Ressources Aquatiques de Côte d'Ivoire, Tome II.

- Les milieux lagunaires. Durand. J. R., Dufour Ph., Guiral D. et Zabi S. (Éditeurs). Éditions de l'ORSTOM, Paris, 59-90.
13. Fishar, M.R., Williams, W.P. (2008). The development of a Biotic Pollution Index for the River Nile in Egypt. *Hydrobiologia*, 598: 17-34.
 14. Gonzalez, A., Descamps-Julien, B. (2004). Population and Community Variability in Randomly Fluctuating Environments. *Oikos*, 106 : 105-116.
 15. Haney, J.F. (1987). Field studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21: 467-475.
 16. Huisman, J., Matthijs, H.C.P., Visser, P.M. (2005). Harmful cyanobacteria. Springer, Dordrecht, Netherlands, 243 p.
 17. Iltis, A. (1984). Biomasse phytoplanctonique de la lagune Ébrié (Côte d'Ivoire). *Hydrobiologia*. 118(2), 153-176.
 18. Jourda, J.P., Saley, M.B., Djagoua, E.M.V., Kouamé, K.J., Biémi, J., Razack, M. (2006). Utilisation des images Landsat ETM+ pour l'évaluation des potentialités en eaux souterraines dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation. *Revue Télédétection*, 5, 339-357.
 19. Koffi, K.J.-P., N'Go, Y.A., Yéo, K.M., Koné, D., Savané I. (2014). Détermination des périmètres de protection de la lagune Aghien par le calcul du temps de transfert de l'eau jusqu'à la lagune. *Larhyss Journal*, 19 : 19-35.
 20. Koné, Y.J.-M. (2008). Dynamics of carbon dioxide and methane in the mangroves of Vietnam, and the rivers and the lagoons of Ivory Coast. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Université de Liège, Belgique, 205 p.
 21. Komoé, K. (2010). Diversité du phytoplancton du complexe lagunaire de Grand-Lahou, en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan, UFR Biosciences 306 p.
 22. Komoé, K., Da, K.P., Kouassi, A.M., Aka, N.M., Kamanzi, A.K., Adingra, A.A. (2009). Seasonal Distribution of Phytoplankton in Grand-Lahou Lagoon (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 26 (3) : 329-341.
 23. Konan, E.S. (2014). Distribution spatio-temporelle du peuplement phytoplanctonique en relation avec les facteurs abiotiques de la lagune de Fresco (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan), UFR Biosciences 197 p.
 24. Koné, Y.J.-M. (2008). Dynamique du dioxyde de carbone et du méthane dans les mangroves du Vietnam, les rivières et les lagunes de

- la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat à la Faculté des Sciences à l'université de Liège 207p.
25. Kouamé, K.J., Jourda, J.P., Deh, S.K., Djemin, E.J., Saley, M.B., Anani, A.T., Biémi, J. (2013). Apport des méthodes mathématiques dans la délimitation des périmètres de protection autour des ouvrages de captage des eaux souterraines d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemistry Science*, 7 (5), 1987-2006.
 26. Lampert, W. (1987). Laboratory studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21: 483-490.
 27. Latour, D., Salençon, M.J., Reyss, J.L., Giraudet, H. (2007). Sedimentary imprint of *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) blooms in Grangent Reservoir (Loire, France). *Journal of Phycology*, 43 : 417-425.
 28. Lavoie, I., Laurion, I., Vincent, W.F. (2007). Les fleurs d'eau de cyanobactéries, document d'information vulgarisée. *INRS rapport*, 9: 17-27.
 29. Lazzaro, X. (1981). Biomasses, peuplements phytoplanctoniques et production primaire du lac Titicaca. *Revue d'Hydrobiologie tropicale*. 14(4), 349-380.
 30. Leclercq, L., Maquet, B., 1987. Deux nouveaux indices chimique et diatomique de la qualité d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents (Bassin de la Meuse belge). Comparaison avec d'autres indices chimiques, biogéniques et diatomiques. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Document de travail, n°28, 113 p.
 31. Merceron, M., Kempf, M., Bentley, D., Gaffet, J.D., Le Grand, J., Lamort-Datin, L. (2002). Environmental impact of a salmonid farm on a well flushed marine site. I. Current and water quality. *Journal of Applied Ichthyology*, 18: 40-50.
 32. N'Guessan, Y.A. (2008). Analyse morphologique, sédimentologique et environnement de dépôts des sédiments superficiels des lagunes Adjin et Potou (zone littorale de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Cocody, Abidjan, 169 p.
 33. Oberholster, P.J., Botha, A.-M., Grobbelaar, J.U. (2004). *Microcystis aeruginosa* : source of toxic microcystins in drinking water. *African Journal of Biotechnology*, 3 (3): 159-168.
 34. Okbah, M.A., Hussein, N.R. (2006). Impact of environmental conditions on the phytoplankton structure in mediterranean sea lagoon, lake Burullus, Egypt. *Water, Air, and Soil Pollution*, 172: 129-150.

35. Onyema, I.C., Nwankwo, D.I. (2010). An incidence of substratum discolouration in a tropical west African lagoon. *Journal of American Science*, 5 (1): 44-48.
36. Ouattara, A. (2000). Premières données systématiques et écologiques du phytoplancton du lac d'Ayamé (Côte-d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Faculté Wetenschappen, Instituut voor Plantkunde, Katholieke Universiteit Leuven, Belgique 207 p. 19 pl.
37. Ouattara, A., Podoor, N., Gourène, G. (2001). Études préliminaires de la distribution spatio-temporelle du phytoplancton dans un système fluvio-lacustre africain (Bassin Bia ; Côte d'Ivoire). *Hydroécologie Applied*, 13: 113-132.
38. Ouffoué, K.S., Salla, M., Kicho, D.Y., Soro, D., Da, K.P. (2013). Aspects physico-chimiques et biologiques des eaux de la rivière tropicale côtière, Boubo (Côte d'Ivoire). *ScienceLib Éditions Mersenne*, 5 (131) : 1-17.
39. Panigrahi, S. (2006). Seasonal variability of phytoplankton productivity and related physico-chemical parameters in the Chilika lake and its adjoining sea. Ph.D. thesis, Berhampur University, India, 286 p.
40. Panigrahi, S., Wikner, J., Panigrahy, R.C., Satapathy, K.K., Acharya, B.C. (2009). Variability of nutrients and phytoplankton biomass in a shallow brackish water ecosystem (Chilika Lagoon, India). *Limnology*, 10: 73-85.
41. Pantelić, D., Svirčev, Z., Simeunović, J., Vidović, M., Trajko, I. (2013). Cyanotoxins : Characteristics, production and degradation routes in drinking water treatment with reference to the situation in Serbia. *Chemosphère*, 91 (4): 421-441.
42. Pearl, H.W., Millie, D.F. (1996). Physiological ecology of toxic aquatic Cyanobacteria, *Phycologia*, 35 : 160-167.
43. Salla, M., Da, K.P., Ouffoué, S. (2011). Cyanobactéries des rivières Boubo et Mé dans le Sud côtier de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 (4) : 1365-1373.
44. Satpathy, K.K., Mohanty, A.K., Sahu, G., Sarguru, S., Sarkar, S.K., Natesan, U. (2011). Spatio-temporal variation in physicochemical properties of coastal waters off Kalpakkam, southeast coast of India, during summer, pre-monsoon and post-monsoon period. *Environmental Monitoring and Assessment*, 180: 41-62.
45. Seu-Anoï, N.M. (2012). Structuration spatiale et saisonnière des peuplements phytoplanctoniques et variabilité des facteurs abiotiques dans trois complexes lagunaires de Côte d'Ivoire (Aby, Ébrié et Grand-Lahou). Thèse de Doctorat de l'Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire 186 p.

46. Shapiro, J. (1997). The role of carbon dioxide in the initiation and maintenance of blue green dominance in lakes. *Freshwater Biology*, 37: 307-323.
47. Sommer, U. (1983). Nutrient competition between phytoplankton species in multispecies chemostat experiments. *Archive d'Hydrobiologie*, 96: 399-416.
48. Soro, N., Ouattara, L., Dongo, K., Kouadio, K.E., Ahoussi, K.E., Soro, G., Oga, M.S., Savané, I., Biémi, J. (2010). Déchets municipaux dans le District d'Abidjan en Côte d'Ivoire: sources potentielles de pollution des eaux souterraines. *International Journal Biology and Chemistry Sciences*, 4(2), pp. 364-384.
49. Tang, E.P.Y., Tremblay, R., Vincent, W.F. (1997). Cyanobacterial dominance of polar freshwater ecosystems: Are high-latitude mat-formers adapted to low temperature? *Journal of Phycology*, 33 : 171-181.
50. Thomas, C.-S. (2003). "Protist phylogeny and the high-level classification of Protozoa", *European Journal of Protistology*, 39: 338-348.
51. Traoré, A. (2016). Impacts des changements climatiques et du changement de l'occupation et de l'utilisation du sol sur les ressources en eau de l'environnement lagunaire d'aghien et de potou (sud-est de la côte d'ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 248 p.
52. Traoré, A., Soro, G., Ahoussi, K. E., Bamba, B. S., Soro, N., Biemi, J. (2014). Niveau de contamination en métaux lourds des sédiments d'une lagune tropicale : la lagune Aghien (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Afrique Science*, 10 (3), pp. 73-88.
53. Walsby, A.E. (2001). Determining the photosynthetic productivity of a stratified phytoplankton population. *Aquatic Sciences*, 63: 18-43.
54. Xuelu, G., Jinming, S. (2005). Phytoplankton distributions and their relationship with the environment in the Changjiang Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin* 50 (2005) 327-335.
55. Yéo, K.M. (2015). Dynamique spatiale et temporelle des caractéristiques chimiques des eaux et des sédiments, et statut trophique du système lagunaire périurbain Adjin-Potou (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire 192 p.
56. Yéo, K.M., Goné, D.L., Kamagaté, B., Douagui, G.A., Dembélé, A. (2015). Seasonal and Spatial Variations in Water Physicochemical Quality of Coastal Potou Lagoon (Côte d'Ivoire, Western Africa). *Journal of Water Resource and Protection*, 7 : 741-748.

57. Zongo, F. (1994). Contribution à l'étude du phytoplancton d'eau douce du Burkina Faso : cas du barrage n°3 de la ville de Ouagadougou. Thèse de Doctorat 3ème cycle, F.A.S.T., Université de Ouagadougou 161 p.

Influence du Type de Solvant et du Ratio Echantillon/Solvant sur les Propriétés Moussantes des Poudres des Racines de Manioc *Manihot Esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2

Somala Tatiana Tanoh

Laboratoire de Biocatalyse et des Bioprocédés,
Unité de Formation et de Recherche Sciences et Technologies des Aliments,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Martin Luthère King N'gbo

Unité de Formation et de Recherche Agriculture,
Ressources Halieutiques et Agro-industries,
Université de San Pedro, Côte d'Ivoire

William Kwithony Disseka

Lucien Patrice Kouamé

Laboratoire de Biocatalyse et des Bioprocédés,
Unité de Formation et de Recherche Sciences et Technologies des Aliments,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p293](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p293)

Submitted: 05 September 2023

Accepted: 24 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Tanoh S.T., N'gbo M.L.K., Disseka W.K. & Kouamé L.P. (2023). *Influence du Type de Solvant et du Ratio Echantillon/Solvant sur les Propriétés Moussantes des Poudres des Racines de Manioc Manihot Esculenta (Crantz) cv Bonoua 2*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 293. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p293>

Résumé

La capacité moussante et la stabilité de la mousse sont des propriétés fonctionnelles qui déterminent l'utilisation finale d'un aliment. Ces propriétés sont le plus souvent associées aux facteurs intrinsèques des protéines tels que la structure moléculaire et la taille. En revanche, les paramètres physiques extrinsèques sont peu étudiés malgré leur impact significatif sur la qualité technologique d'un produit. Ainsi, l'objectif de ce travail est d'évaluer l'influence de la granulométrie, du type de solvant aqueux, et de la concentration de poudre sur la capacité moussante et la stabilité de la mousse des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2. Pour y parvenir, la capacité moussante et la stabilité de la mousse

d'échantillons de manioc à différentes granulométries ont été déterminées dans deux types de solvants aqueux (eau distillée et eau de robinet) et à différents ratios. Il ressort que la qualité du solvant aqueux influence la capacité moussante et la stabilité de la mousse des différentes poudres de racines tubéreuses de manioc. La taille des particules des poudres de racines de manioc influence également les capacités moussantes. Au terme de cette étude, nous pouvons noter que les facteurs extrinsèques influencent effectivement les propriétés de la poudre de manioc. Ainsi, ces facteurs doivent être pris en compte pour une éventuelle application de ces poudres en industrie agroalimentaire.

Mots-clés : Manioc, capacité moussante, stabilité de la mousse, facteurs extrinsèques

Influence of the Type of Solvent and the Sample/Solvent ratio on the Foaming Properties of Cassava Root Powders *Manihot Esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2

Somala Tatiana Tanoh

Laboratoire de Biocatalyse et des Bioprocédés,
Unité de Formation et de Recherche Sciences et Technologies des Aliments,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Martin Luthère King N'gbo

Unité de Formation et de Recherche Agriculture,
Ressources Halieutiques et Agro-industries,
Université de San Pedro, Côte d'Ivoire

William Kwithony Disseka

Lucien Patrice Kouamé

Laboratoire de Biocatalyse et des Bioprocédés,
Unité de Formation et de Recherche Sciences et Technologies des Aliments,
Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

Foaming capacity and foam stability are functional properties that determine the final use of a food. These properties are most often associated with induced factors of proteins such as molecular structure and size. On the other hand, extrinsic physical parameters are little studied despite their significant impact on the technological quality of a product. Thus, the objective of this work is to evaluate the influence of the particle size, the type of aqueous solvent, and the powder concentration on the foaming capacity and

the foam stability of powders from the tuberous roots of *Manihot esculenta* cassava. (Crantz) cv Bonoua 2. To achieve this, the foaming capacity and foam stability of cassava samples at different particle sizes were determined in two types of aqueous solvents (distilled water and tap water) and at different ratios. It appears that the quality of the aqueous solvent influences the foaming capacity and foam stability of different cassava tuberous root powders. Also, the particle size of cassava roots influences foaming capabilities. At the end of this study, we can note that extrinsic factors actually influence the properties of cassava powder. Thus, these factors must be taken into account for a possible application of these powders in the food industry.

Keywords: Cassava, foaming capacity, foam stability, extrinsic factors

Introduction

Les propriétés fonctionnelles d'un aliment telles que la capacité moussante et la stabilité de la mousse jouent un rôle important en industrie agroalimentaire. En effet, ses caractéristiques moussantes sont des paramètres importants lors de la mise au point de formulations des produits de boulangerie (Siddiq et al., 2010). De plus, la formation de mousse est importante dans le développement de la texture des aliments tels que la crème glacée, la mousse, les meringues et même le café (Foegeding et al., 2006; Sharma et al., 2012). Par ailleurs, ces propriétés déterminent la qualité organoleptique et nutritionnelle des produits alimentaires (Boye et al., 2010).

Toutefois, ces propriétés varient considérablement selon le type de culture et les conditions écologiques et agronomiques (Peroni et al., 2006). Elles varient également en fonction de la variété de l'espèce végétale (Njintang et al., 2008) et dépendent de la composition chimique et de la structure moléculaire de la farine ou de l'amidon (Sasaki et Matsuki, 1998).

Par ailleurs, ces propriétés fonctionnelles sont affectées par des facteurs intrinsèques des protéines telles que la structure moléculaire, la taille et de nombreux facteurs environnementaux, y compris les méthodes de transformation, de production et la présence d'autres composants dans le système alimentaire (Basha et Pancholy, 1982).

Si de nombreuses études sur la mesure des propriétés moussantes des aliments ont pris en compte ses propriétés intrinsèques, en revanche, les paramètres physiques impliqués dans la mesure de ces propriétés fonctionnelles ont été le plus souvent ignorés. Parmi ces paramètres extrinsèques figurent le type de solvant utilisé pour les analyses et le ratio échantillon/solvant. De ces constats, ces paramètres physiques ne pourraient-ils pas influencer de façon significative les propriétés fonctionnelles des farines ou des poudres alimentaires et par conséquent induire les chercheurs et les industriels en erreur dans l'appréciation de leur qualité industrielle ?

Ainsi, l'objectif de ce travail est d'évaluer l'influence du type de solvant aqueux et de la concentration de la suspension aqueuse sur la capacité moussante et sur la stabilité de la mousse de différentes granulométries de poudres de racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2.

Matériels biologiques

Les matériels biologiques utilisés dans ce travail sont les racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* cultivar Bonoua 2. Les racines tubéreuses de manioc ont été récoltées à maturité physiologique après 12 mois de culture sur l'une des parcelles expérimentales du Laboratoire de Biocatalyse et des Bioprocédés située sur l'autoroute du Nord, à 44 kilomètres d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Après la récolte, les racines tubéreuses du manioc ont été transportés le même jour au Laboratoire de Biocatalyse et des Bioprocédés de l'Université NANGUI ABROGOUA pour la production des différentes poudres.

Méthodes

Production des différentes poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* cultivar Bonoua 2

Les poudres de manioc ont été obtenues selon la méthode décrite par **Aryee et al. (2006)** avec une légère modification. Cinq (5) kg de racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* cultivar Bonoua 2 ont été épluchées et débarrassées de ses fibres principales à l'aide d'un couteau en acier inoxydable. Les pulpes obtenues ont été découpées en gros morceaux, puis lavées soigneusement à l'eau distillée. Ces morceaux ont été découpés à leur tour en lamelles d'un millimètre (1mm) d'épaisseur à l'aide d'une râpe manuelle. Ces lamelles ont été étalées sur du papier aluminium puis séchées à l'étuve ventilée (MEMMERT) à 55 °C pendant 72 h. Après le séchage, les lamelles ont été broyées à l'aide d'un mixeur électrique de type MOULINEX. Le broyat obtenu a été tamisé à l'aide d'une colonne de tamis AFNOR (France) de différentes mailles (750, 500 et 250 µm) disposés dans l'ordre décroissant des mailles ou laissé en l'état. Quatre types de poudre ont été obtenus :

- Une poudre des racines tubéreuses de manioc dont les tailles des particules sont inférieures à 250 µm (PRM1) ;
- Une poudre des racines tubéreuses de manioc dont les tailles des particules sont comprises entre 250 et 500 µm (PRM2) ;
- Une poudre des racines tubéreuses de manioc dont les tailles des particules sont comprises entre 500 et 750 µm (PRM3) ;
- Le broyat total sec des racines tubéreuses de manioc (BTSRM).

Ces différents types de poudre ont été pesés à l'aide d'une balance de précision (Meltar), puis conditionnés dans des flacons en verre hermétiquement fermés et conservés dans un dessiccateur jusqu'à leur utilisation. Les impuretés du broyat total sec (FIRM) dont les tailles sont supérieures à 750 μm ont été pesées à l'aide d'une balance de précision (Meltar), puis jetées à la poubelle.

Méthode standard de détermination des propriétés moussantes dans l'eau

Les capacités moussantes et les stabilités des mousses des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2 (BTSRM, PRM1, PRM2 et PRM3) ont été déterminées selon la méthode de Coffman et Garcia (1977). Trois (3) g de poudre ont été prélevés et mis dans une éprouvette graduée de 50 ml. Ensuite, trente (30) ml d'eau distillée y ont été ajoutés pour faciliter la dispersion de la poudre et le volume a été noté (volume avant homogénéisation). Puis, l'éprouvette a été vigoureusement agitée à la main pendant 5 min et le nouveau volume a été lu sur l'éprouvette (volume après homogénéisation). Le volume de la mousse obtenue a été calculé en faisant la différence entre le volume après homogénéisation et le volume avant homogénéisation. L'éprouvette a été laissée au repos sur la pailleuse jusqu'à l'effondrement total de la mousse et à intervalle de temps de 10 min, le volume de la mousse a été déterminé. La capacité moussante et la stabilité de la mousse ont été calculées à partir des formules mathématiques suivantes:

$$\text{CM (\%)} = \frac{\text{VApH} - \text{VAvH}}{\text{VAvH}} \times 100 \quad (1)$$

CM : capacité moussante (%) ;
VApH : volume après homogénéisation ;
VAvH : volume avant homogénéisation

$$\text{SM (\%)} = \frac{\text{VM}(t)}{\text{VM}(t_0)} \times 100 \quad (2)$$

SM : stabilité (%) de la mousse ;
VM(t) : volume (ml) de la mousse au temps t ;
VM(t₀) : volume initial (ml) de la mousse.

Influences de quelques paramètres physiques expérimentaux

Les influences du type de solvant aqueux et de la concentration de la suspension aqueuse sur les propriétés moussantes des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2 ont été

déterminées à l'aide de la méthode standard. La concentration de la suspension aqueuse en poudre a été variée de 4 à 10 % (p/v). Les solvants aqueux utilisés ont été l'eau distillée et l'eau de robinet.

Traitement statistique

Les analyses statistiques ont été effectuées sur chacun des échantillons des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2 avec 3 répétitions pour chaque échantillon. Le logiciel STATISTICA 7.1 a été utilisé pour ces analyses. Le test statistique de Duncan a été utilisé pour la comparaison des moyennes. Il a permis d'établir la variabilité au sein des différents échantillons analysés et la signification statistique a été définie à $p < 0,05$.

Résultats

Influences du type de solvant aqueux sur les capacités moussantes des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2

Les capacités moussantes des poudres PRM1, PRM2, PRM3 et BTRSM des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2 sont statistiquement différentes les unes des autres au seuil de 5% quel que soit le type de solvant aqueux utilisé dans la détermination de cette propriété physico-fonctionnelle (Figure 1). A ce seuil, les capacités moussantes des poudres dissoutes dans l'eau distillée sont statistiquement supérieures à celles obtenues avec ces poudres dissoutes dans l'eau de robinet. Les capacités moussantes des poudres PRM1, PRM2, PRM3 et BTRSM délayés dans l'eau distillée sont respectivement de $21,96 \pm 0,86$ %, $11,59 \pm 0,42$ %, $11,80 \pm 0,56$ % et $09,02 \pm 0,77$ %, tandis que celles enregistrées avec l'eau de robinet sont respectivement de $11,59 \pm 0,42$ %, $12,31 \pm 0,58$ %, $07,63 \pm 0,79$ % et $08,33 \pm 0,32$ %. L'ordre croissant de ces capacités moussantes lorsque l'eau distillée est utilisée pour dissoudre les poudres est le suivant : CM-BTRSM < CM-PRM2 < CM-PRM3 < CM-PRM1, par contre, lorsque l'eau de robinet est utilisée, l'ordre est le suivant : CM-PRM3 < CM-BTRSM < CM-PRM1 < CM-PRM2.

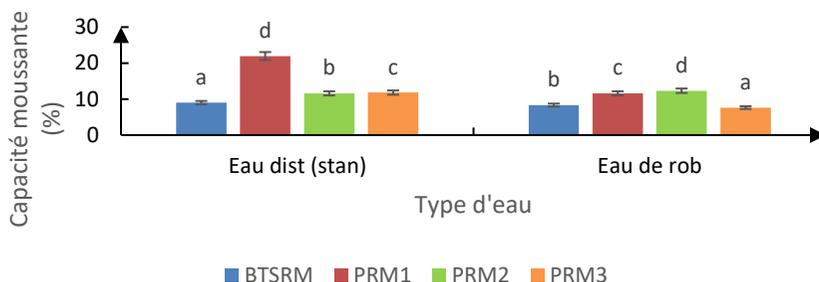


Figure 1. Influences du type de solvant aqueux sur les capacités moussantes des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2

Influences de la concentration de la suspension aqueuse sur les capacités moussantes des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2

Les capacités moussantes des poudres PRM1, PRM2, PRM3 et du broyat total sec BTSRM des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2 obtenues grâce à la méthode traditionnelle ayant utilisé des concentrations de suspensions aqueuses de poudre de 5, 7,5, 10 et 15 % (p/v), sont comprises respectivement entre $6,66 \pm 0,67\%$ et $21,97 \pm 0,69\%$, entre $6,67 \pm 0,70\%$ et $11,59 \pm 0,42\%$, entre $08,6 \pm 0,74\%$ et $11,80 \pm 0,56\%$ et entre $8,70 \pm 0,65\%$ et $10,76 \pm 0,77\%$ (Figure 2). La plus forte concentration (15%) des suspensions aqueuses des poudres PRM1, PRM2, PRM3 et du broyat total sec BTSRM des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2 a donné les capacités moussantes les plus élevées. Cette augmentation de capacités moussantes est liée à la granulométrie de la poudre.

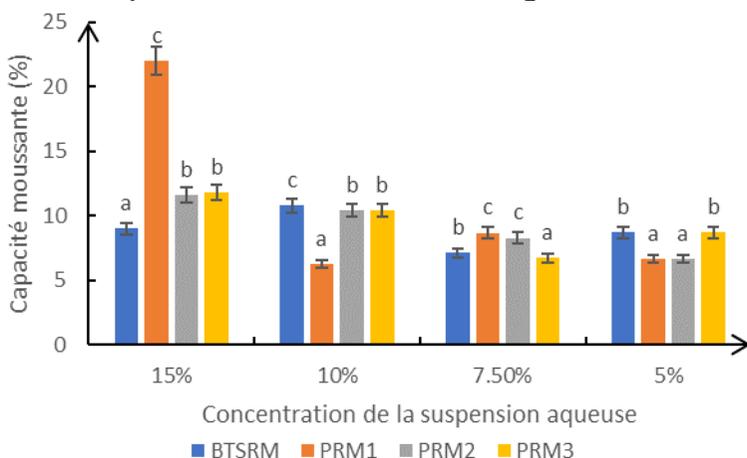


Figure 2. Influences de la concentration de la suspension aqueuse sur les capacités moussantes des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2

Influences du type de solvant aqueux et de la concentration de la suspension aqueuse sur les stabilités moussantes des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2

Les représentations graphiques « pourcentage de volume de mousse les poudres PRM1, PRM2, PRM3 et BTRSM en fonction du temps de conservation de cette mousse sur la paille à la température ambiante (28°C) » sont des courbes décroissantes. Ces pourcentages avec l'eau distillée pour 10 min sont respectivement de $72,59 \pm 0,76\%$, $87,79 \pm 0,78\%$, $82,22 \pm 0,58\%$ et $31,66 \pm 0,72\%$ (Figure 3). Lorsque le solvant aqueux est l'eau de robinet, ces pourcentages pour ces mêmes substances sont respectivement de $45,55 \pm 0,62\%$, $45,55 \pm 0,60\%$, $72,22 \pm 0,72\%$ et $66,66 \pm 0,76\%$. Pour un temps de conservation de 20 min de ces mousses dans le même environnement, les pourcentages des poudres PRM1, PRM2, PRM3 et BTRSM dissouts dans l'eau distillée sont respectivement de $60,74 \pm 0,70\%$, $75,55 \pm 0,64\%$, $58,88 \pm 0,89\%$ et $23,33 \pm 0,57\%$. L'eau de robinet utilisée comme solvant aqueux de dissolution de ces substances a permis d'obtenir des pourcentages respectifs de $28,88 \pm 0,89\%$, $28,89 \pm 0,75\%$, $38,88 \pm 0,79\%$ et $25,00 \pm 0,57\%$. A 20 min de conservation des mousses sur la paille à la température ambiante, l'ordre décroissant des pourcentages des volumes des mousses produites par les poudres dissouts dans l'eau distillée est le suivant : BTRSM < PRM3 < PRM1 < PRM2. Lorsque l'eau distillée est remplacée par l'eau de robinet, cet ordre est le suivant : BTRSM < PRM1 < PRM2 < PRM3. Les mousses produites par les poudres PRM1, PRM2, PRM3 et BTRSM des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2 disparaissent à 60 min de conservation sur la paille à la température ambiante. Avant ce temps de conservation, le pourcentage de volume de mousse d'une poudre obtenu avec l'eau distillée est statistiquement supérieur au seuil de 5% à celui de la même substance dissoute dans l'eau de robinet. Les mousses des poudres PRM3 et BTRSM dissouts dans l'eau distillée sont les plus stables parmi toutes les mousses produites dans ce travail. L'eau de robinet diminue donc la stabilité de la mousse de la poudre des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2. Cette diminution est fonction de la granulométrie de la poudre.

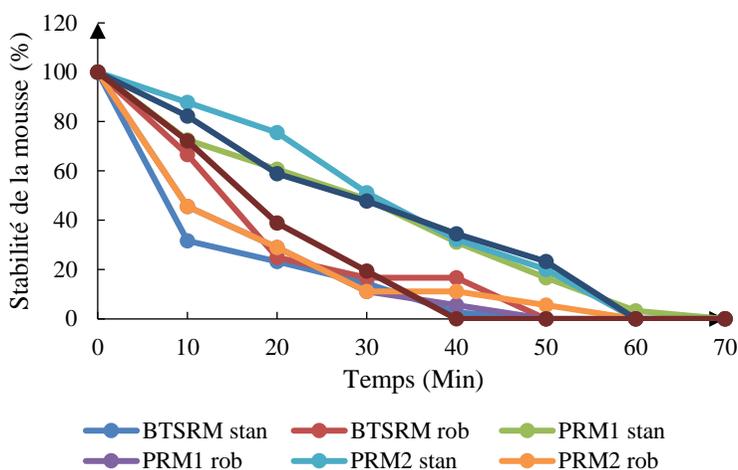


Figure 3. Influences du type de solvant aqueux sur les stabilités des mousses des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2

Influences de la concentration de la suspension aqueuse sur les stabilités moussantes des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2

Les courbes des volumes de mousse des différentes poudres en fonction du temps de conservation de cette mousse sur la paille à la température ambiante (28°C) sont décroissantes quelle que soit la concentration de la suspension aqueuse des poudres PRM1, PRM2, PRM3 et BTSRM. Les volumes des mousses produites par les suspensions aqueuses de 5, 7,5, 10 et 15 % (p/v), de ces substances conservées sur la paille pendant 10 min varient respectivement de $85,29 \pm 0,54\%$ à $88,88 \pm 0,76\%$, de $55,55 \pm 0,45\%$ à $85,98 \pm 0,59\%$, de $58,33 \pm 0,63\%$ à $82,22 \pm 0,72\%$ et de $31,66 \pm 0,63\%$ à $58,33 \pm 0,73\%$ (Figure 4). Pour 40 min de conservation, les pourcentages de ces mousses dans les mêmes conditions oscillent respectivement entre $16,66 \pm 0,77\%$ et $44,40 \pm 0,56\%$, entre $26,38 \pm 0,89\%$ et $55,55 \pm 0,64\%$, entre $08,33 \pm 0,38\%$ et $34,44 \pm 0,94\%$ et entre $09,52 \pm 0,80\%$ et $25,00 \pm 0,67\%$. A 10 min de conservation et avec une concentration de 5% (p/v) des poudres, l'ordre croissant des pourcentages de mousse est le suivant : BTSRM < PRM3 < PRM2 < PRM1. Lorsque cette concentration est de 15% (p/v), cet ordre est le suivant : BTSRM < PRM1 < PRM3 < PRM2. Les mousses produites par les poudres PRM1, PRM2, PRM3 et BTSRM disparaissent toutes à 60 min de conservation sur la paille à la température ambiante. Avant ce temps de conservation, le pourcentage de volume de mousse d'une poudre obtenu avec une suspension aqueuse de 5% (p/v) est statistiquement supérieur au seuil de 5% à ceux de la même substance obtenue avec les concentrations de 7,5% (p/v), 10% (p/v) et 15% (p/v). La

concentration de la suspension aqueuse en poudre influence la stabilité de la mousse de la poudre des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2. Cette influence est fonction de la granulométrie de la poudre.

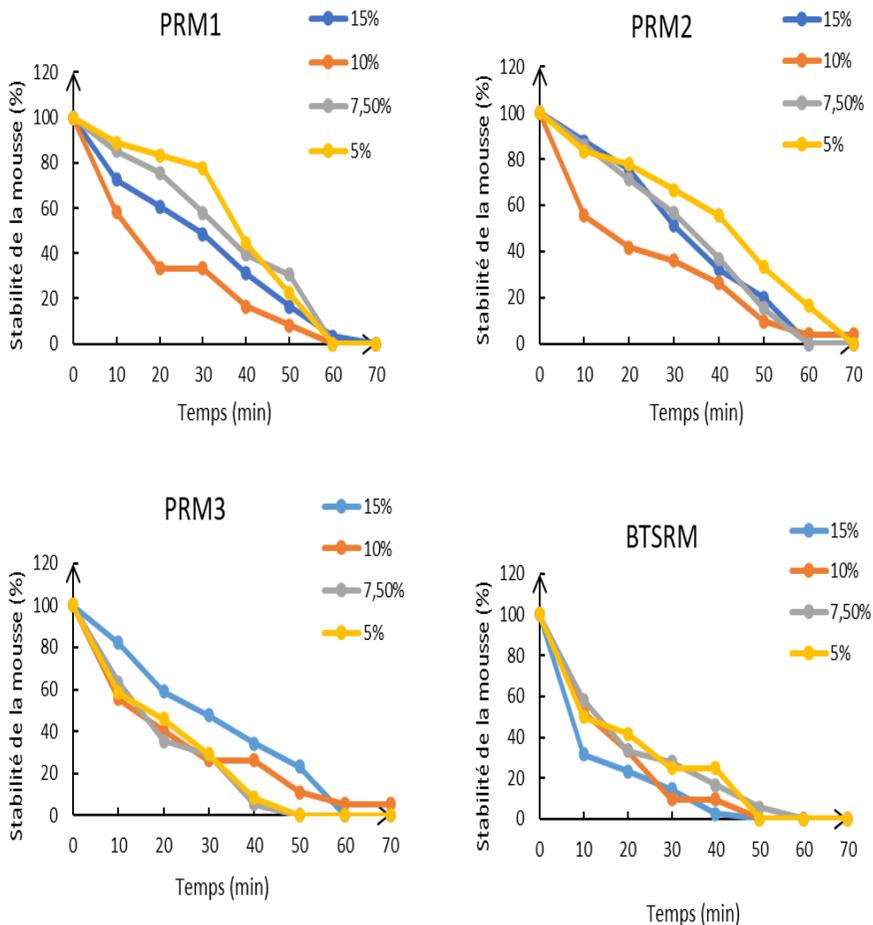


Figure 4. Influences de la concentration de la suspension aqueuse sur les stabilités des mousses des poudres des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonou

Discussion

La capacité moussante d'une poudre est une mesure de la capacité de cette poudre à produire de la mousse en présence d'un solvant aqueux. Les poudres ayant une capacité moussante et une stabilité de mousse élevées sont utiles en tant qu'agents d'aération dans des aliments qui exigent une

production de volumes stables de mousse une fois secoués (Akinyele et al., 1986).

Le type de solvant aqueux influence les capacités moussantes des poudres et du broyat total sec des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2. Cette situation s'est traduite par le fait que, les capacités moussantes de toutes les poudres et du broyat total sec des racines de manioc dissouts dans l'eau distillée sont généralement supérieures à celles des mêmes substances délayées dans l'eau de robinet. Cette variabilité de résultats montre que l'influence du type de solvant aqueux sur les capacités moussantes des poudres et du broyat total sec des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2 est liée non seulement à la composition chimique mais aussi au pH des solvants de dissolution. L'implication du pH dans la variation des capacités moussantes des poudres a été déjà évoquée par Olawuni et al. (2014). Pour ces auteurs, les protéines joueraient un rôle primordial dans la production de la mousse. Cette assertion est soutenue par le résultat obtenu au cours de l'étude de l'influence de la concentration de la suspension aqueuse sur les capacités moussantes des poudres et des broyats totaux secs des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2. En effet, cette étude a montré que l'augmentation de la concentration de la suspension aqueuse engendre une augmentation des capacités moussantes de ces substances. Ceci a pu se faire grâce à une augmentation de la concentration protéique dans le milieu réactionnel. La quantité de protéine dans le milieu réactionnel représente donc un paramètre physique expérimental important. A cette quantité, de nombreux travaux recherche rattachent la qualité des protéines. La quantité et la qualité de protéines sont significativement affectée par les méthodes de transformation (Onimawo et Egbekun (1998) ; Wadud et al., 2004 ; Solomon, 2005), le temps et la température (Onimawo et Egbekun, 1998 ; Wahid et al., 2004 ; Solomon, 2005), le pH, la structure et le type de protéine (Onimawo et Egbekun, 1998 ; Wadud et al, 2004). Ce résultat est en accord avec les travaux de Solomon (2005) et Anigo et al. (2009), qui ont rapporté que le traitement thermique empêchait la formation de mousse dans les farines de sorgho, de millet et la poudre d'Acha, tandis que la germination augmentait les capacités de formation de mousse de ces mêmes substances.

L'influence du type de solvant aqueux sur les capacités moussantes est fonction de la taille des particules des poudres et des broyats totaux secs des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2. Ceci s'explique par le fait que les poudres fines (PRM1 et PRM2) ont donné les capacités moussantes les plus élevées parmi les poudres et le broyat total sec délayés dans l'eau de robinet. Dans l'eau distillée, la poudre PRM1 a la capacité moussante la plus élevée.

Les mousses des poudres contenant les grosses particules (PRM3 et le broyat total sec) des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2 dissous dans l'eau distillée sont les plus stables parmi toutes les mousses produites dans ce travail. L'eau de robinet diminue donc la stabilité de la mousse de la poudre des racines tubéreuses du manioc *Manihot esculenta* (Crantz) cv Bonoua 2. Ce résultat signifie que le pH de l'eau distillée favorise la stabilité de la mousse produite que celle du pH de l'eau de robinet. Cette diminution est fonction de la granulométrie de la poudre.

Conclusion

Au terme de cette étude, nous pouvons noter que les facteurs extrinsèques influencent bien les propriétés de la poudre amylicée de manioc. En effet, la granulométrie influence les propriétés de surface des protéines des poudres des racines de manioc. Les poudres contenant de fines particules ont des propriétés de surface les plus élevées. De plus, le type de solvant agit sur la capacité moussante et la stabilité de la mousse des poudres. L'eau distillée est meilleure que l'eau de robinet comme solvant. En outre, la concentration de la poudre influence également les propriétés de surface des protéines de ces poudres alimentaires. Les propriétés moussantes des poudres de manioc sont influencées par les paramètres physiques expérimentaux évalués dans cette étude. Il serait alors judicieux d'en tenir compte dans l'appréciation de la qualité nutritionnelle, technologique, organoleptique et industrielle de ces poudres afin d'éviter des surprises qui pourraient être désagréables et dommageables en industries agroalimentaires.

Contribution des auteurs : Somala Tatiana Tanoh, Martin Luthère King N'gbo et William Kwithony Disseka ont contribué de façon égale aux travaux d'analyses et de rédaction de cette publication. Lucien Patrice Kouamé a supervisé les travaux et contribué à la rédaction de cette publication. Tous les auteurs ont contribué à la révision de cette publication.

Conflit d'intérêts : Les auteurs ne déclarent pas de conflits 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. Akinyele, I. O., Onigbinde, A. O., Hussain, M. A., & Omolulu, A. (1986). Physicochemical characteristics of eighteencultivars of

- Nigerian cowpeas (*Vigna unguiculata*) and their cooking properties. *Journal of Food Sciences*, 51, 1483-1485.
2. Akubor, P. I. (2007). Chemical, functional and cookie baking properties of soybean/maize flour blends. *Journal Food Sciences Technology*, 6, 619-622.
 3. Anigo, I. A., Ameh, D. A., Ibrahim, S., & Danbauchi, S., S. (2009). Nutrient composition of commonly used complimentary foods in north western Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 8, 4211-4216.
 4. Basha, S. M., & Pancholy, S. R. (1982). Composition and characteristics of basic proteins from peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 30, 1176-1179.
 5. Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food research international*, 43(2), 414-431.
 6. Coffman, C. W., & Garcia, W. (1977). Functional properties and amino acid content of protein isolate from mung bean flour. *Journal of Food Technology*, 12, 473-484.
 7. Foegeding, E. A., Luck P. J., & Davis, J. P. (2006). Factors determining the physical properties of protein foams. *Food hydrocolloids*, 20(2-3), 284-292.
 8. Kinsella, J. E. (1979). Functional properties of soy proteins. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 56 (3), 242-258.
 9. Moure, A., Sineiro, J., Dominiguez, H., & Parajo J. C. (2006). Functionality of oil seed protein product. *Food Research International*, 38, 945-963.
 10. Njintang, Y. N., Mbofung, C. M. F., Balaam, F., Kitissou, P., & Scher, J. (2008). Effect of taro (*Colocasia esculenta* L Schott) flour addition on the functional and alveographic properties of wheat flour and dough. *Journal of Science Food and Agriculture*, 88, 273-279.
 11. Olawuni, I., Osobie, C. C., Ebiringa, D., Amandikwa, C., Ibeabuchi, C. J., & Uzoukwu A. E. (2014). Effect of pH and temperature on selected functional properties of flour samples and protein isolate of cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. *Analytical Chemistry*, 14(7), 247-258.
 12. Onimawo, I. A., & Egbekun, K. M. (1998). Some techniques in food science and nutrition. *Comprehensive food science and nutrition. Everblessed Publishers, Benin City*, 177-183.
 13. Peroni, F. H. G., Rocha, T. S., & Franco, C. M. L. (2006). Some structural and physicochemical characteristics of tuber and root starches. *Food Sciences Technology International*, 12, 505-513.
 14. Sasaki, T., & Matsuki, J. (1998). Effect of wheat starch structure on swelling power. *Cereal Chemistry*, 75, 525-529.

15. Sharma, P., Jha, M. X., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive Oxygen Species, oxidative damage and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 12, 1-26.
16. Siddiq, M., Rav, R., Harte, J. B., & Dolan, K. D. (2010). Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaricus* (L.) flours. *LWT-Journal of Food Sciences Technology*, 43, 232-237
17. Solomon, M. (2005). Nutritive value of three potential complementary foods based on cereals and legumes. *African Journal of Food and Nutritional Sciences*, 5(2), 1-14.
18. Wadud, S., Abid, H., Ara, H., Kosar, S., & Shah, W. H. (2004). Production, quality evaluation and storage stability of vegetable protein-based baby foods. *Food chemistry*, 85(2), 175-179.
19. Wahid, A., Hameed, M. A. N. S. O. O. R., & Rasul E. J. A. Z. (2004). Salt-induced injury symptoms, changes in nutrient and pigment composition, and yield characteristics of mungbean. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6 :1143-1152.



Contribution of Aeromagnetic Data to the Structural Discontinuities Identification of Black Volta Catchment Aquifer System in Côte d'Ivoire

Armel Kouadio Kouame

Laboratory of Soil, Water and Geomaterials Sciences, Training and Research Unit of Earth, Sciences and Mineral Resources, University Felix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Marc Youan Ta

University Research Center of Remote Sensing and Application (CURAT), Training and Research Unit of Earth Sciences and Mineral Resources, University Felix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Bertrand Hounnigbo Akokponhoue

Laboratoire of Applied Hydrology, National Water Institute (INE), University of Abomey-Calavi, Cotonou, Benin

Omer Zéphir De Lasme

Department of Geosciences, Training and Research Unit, University Péléforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

Kouamé Loukou Nicolas

Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétique, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p307](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p307)

Submitted: 23 June 2023

Accepted: 08 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Kouame A.K., Ta M.Y., Akokponhoue B.H., De Lasme O.Z. & Kouamé L.N. (2023). *Contribution of Aeromagnetic Data to the Structural Discontinuities Identification of Black Volta Catchment Aquifer System in Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 307. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p307>

Abstract

This paper focuses on improving the structural knowledge of the fissured aquifers of the Black Volta catchment in Côte d'Ivoire based on the mapping of magnetic lineaments, which represent magnetic discontinuities such as magmatic body contacts or tectonic faults. Four filtering methods, pole reduction (equator), gradient (vertical and horizontal), upward extension, and

angle tilt, were applied to the residual magnetic field map to extract magnetic discontinuities while using the Oasis Montaj (Geosoft) program. Euler deconvolution coupled with the analytical signal provided, in addition to the horizontal location of the magnetic contacts, is an indication of their depths. The resulting structural map contains 458 structures, with lengths ranging from 9.03 to 66.54 km. Three directions, NW-SE, E-W and NE-SW, were detected with a predominance of the NW-SE direction. Depths estimated by Euler solutions range from 6.8 to 2847 m. This map is consistent with many faults already recognised or assumed by traditional structural studies and tectonic events affecting the Ivorian basement. These results contribute significantly to the improvement of the structural map of the Black Volta Basin in Côte d'Ivoire. In addition to the major known tectonic faults, numerous lineaments, particularly those at depth, have been highlighted by the present study.

Keywords: Aeromagnetic, Gesosoft Oasis Montaj, Euler Deconvolution, Structural Map, Filtering, Black Volta Catchment

Introduction

For a long time, aeromagnetic data has been used to support the mapping of geological structures and the faults that affect them. It also detects magnetic mineral concentrations through the measurement of magnetite in geological formations beneath the aircraft. Although these aeromagnetic surveys are widely used as a reconnaissance tool, there is growing recognition of their potential in the assessment of prospective areas given the unique information they provide (Reeves, 2005; Abbass et al., 2013). At present, hydrogeological applications of airborne geophysical methods are still few and generally concern the structural and lithological applications. They involve the identification of structures called geophysical lineaments. Geophysical lineaments (gravimetric and magnetic) are linear or curvilinear discontinuities caused by density or magnetization contrasts in rocks. These lineaments are usually associated with structural features such as faults, fractures, folding axes, and lithological contacts. Mapping by conventional methods (tracking faults on the ground and by aerial photographs, satellite images and radar) does not allow the identification of all existing lineaments. Certainly, airborne magnetic data, which allows us to see through surface layers such as sand, vegetation, and water, are a powerful tool for highlighting surface structures and deep, non-flush structures in the crust, whose hydraulic role is essential for exploring underground reservoirs. Experience has shown the value of geophysical data for lineament mapping and identification of geological structures (Khattach et al., 2004; Vanié et al., 2005; El Gout et al., 2010). This study aims to establish a fracturing map relevant to water

resources exploration in the Black Volta Basin in Côte d'Ivoire by identifying the structures buried in the subsurface. Aeromagnetic maps provide uniform geophysical coverage that is independent of topography. This makes it possible to identify deep and superficial structural discontinuities in the crust (too general, be precise) without constraints. Achieving a less evasive structural map, which can provide information on geometric characteristics by integrating surface, semi-profound and deep information, can be an indispensable tool for a better understanding of complex discontinuous environments.

Geological and Hydrogeological Framework

The study area (Figure 1) is the interface of the Black Volta transboundary basin in Côte d'Ivoire. It is located between latitudes 7°78 and 9°94N and longitudes 2°49 and 3°35W. Furthermore, it delimits a vast geographical area located in the northeast of Côte d'Ivoire. Its main river, the Black Volta (Mouhoun) River, originates in the Kong Mountains in the Dindéresso Forest Reserve, southwest of Burkina Faso. It is approximately 1,363 km long, and it drains a total area of 12,836 km² in Côte d'Ivoire. The relief is not very rugged. The highest peak, the Bondoukou Massif, reaches an altitude of 725 m. Geologically, the basin is located in the eastern compartment of the Precambrian basement called Baoulé-Mossi (Figure 1) of Paleo-Proterozoic, which is structured by the Eburnian megacycle (2400-1600 Ma). The eastern zone is covered by a complex set of geological formations. It is classified according to age and unevenly distributed in two domains: the Quaternary domain (Holocene) and the Birimian domain (Figure 1).

From a hydrogeological point of view, the conceptual model accepted in the basement zone indicates the presence of a superficial film (alterites). Accordingly, the capacitive fed is by the surface. This is followed by a fissured horizon (intermediate decompressed zone), with very high permeability forming the second aquifer level (Lachassagne et al., 2005). The third aquifer level is located in the sound bedrock, which is affected by tectonic fractures (faults). Level 2 and 3 constitute the semi-captive part of this multi-layered aquifer hosting a single water table (Ousmane, 1988).

Agency. The isomagnetic contours were compiled from magnetometric recordings made along the N-S oriented flight lines. The flight lines were plotted on the 1:50,000 photomosaics, and the coordinates of the turning points were determined and digitally compiled on magnetic tape. The field strengths were derived either from analogue magnetometric profiles after digital translation on tape, or from digital profiles at the nodes of a 2.5 mm square grid, according to a simulated polynomial variation of the field in the direction perpendicular to the flight lines. The grid was used as the basis for the mechanographic drawing of the original 1:50,000 map without the flight lines. For this work, two sheets covering 92% of the basin were used. The other part covers the Comoé National Park, which is of no interest for the valorisation of the results of this study.

Digital Processing Methods for Aeromagnetic Images

The aeromagnetic data provided in the form of digital maps of the total magnetic field containing isovalues curves were previously corrected (denoising, fence error, diurnal variations). The total magnetic field map was reconstructed using a GIS. The total magnetic field was subtracted from the International Geomagnetic Reference Field (IGRF), and the resulting residual magnetic field values were interpolated to a 50 m square grid. A series of treatments using optimal filters were applied to the grid to extract the maximum amount of structural information.

Reduction At The Pole (equator)

The residual magnetic field map was reduced at the pole (equator) using the parameters of the local Earth's magnetic field with declination $D = -8.2424^\circ$; inclination $I = 0.1967^\circ$, and intensity $H = 31947$ nT. It allowed the removal of the bipolarity of the magnetic anomalies, which is caused by nonvertical magnetisation directions. Thus, the magnetic anomaly values are recalculated as if they had been measured at the magnetic pole, where the magnetic field direction is vertical. In other words, it eliminated the distortions induced by the tilt of the Earth's magnetic field vector. It formed the base map for the application of the various filters and operators later on.

Vertical (dz), Horizontal (dx, dy and upward gradients)

These mathematically based operators reinforce the bodies at the origin of the anomaly by freeing them from the regional components of short and long wavelengths, thus highlighting either the location of the bodies or a lithological or structural contact between two bodies. The vertical gradient or vertical derivative of the field was applied to the reduced magnetic anomaly at the pole. The first derivative allowed better individualisation of nearby sources. The horizontal gradient along x and y allowed the magnetic effect of

geological contacts to be amplified visually by delineating the perimeter of geological bodies highlighting lithological contacts. An upward extension is carried out on the same slightly wider initial grids at a distance of 200 m.

Tilt Angle

The Tilt-angle (Miller & Singh, 1994; Verduzco et al., 2004; Salem et al., 2008) calculates the inverse tangent of the ratio, including the modulus of the horizontal partial derivatives and the vertical derivative of the magnetic field. Thus, it is written as follows:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\frac{\partial M}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2}} \quad (\text{Eq.1})$$

M being the grid of the magnetic field or anomaly.

The advantage of the transformation indicates that by calculating an angle, all shapes will be represented in a similar way, whether the anomalies are of low or high amplitude (Bouiflane, 2008). This operator is applied to the map of the magnetic anomaly, and it is reduced to the equator so as to discriminate the azimuth structures.

Euler Deconvolution

The Euler deconvolution method allowed the precise location of anomaly sources in the horizontal plane as well as the estimation of their depths (Keating, 1998; Asfirane-Haddadj & Galdeano, 2000). It is based on the Euler homogeneity equation (Eq.2), which relates the magnetic field and its gradient components to the location of the source, with a degree of homogeneity that a structural index (SI) can be interpreted (Thompson, 1982).

$$\frac{(x-x_0) \partial T}{\partial x} + \frac{(y-y_0) \partial T}{\partial y} + \frac{(z-z_0) \partial T}{\partial z} = N(B - T) \quad (\text{Eq.2})$$

Where (x_0, y_0, z_0) :magnetic source position ; (x, y, z) : observation point position ; T : total field strength detected at (x, y, z) ; B : regional value of total field ; N : degree of homogeneity, usually referred to as the structural index (SI). It indicates the structural index and refers to the geometry of the source and the rate of change of the field versus distance. In this work, the Euler deconvolution solutions were computed with a structural index (SI=0) to highlight the structures at depth and those affecting the cover. This aligns with the works of Vanié et al. (2005), El Gout et al. (2009), and Abderbi and Khattach (2010). Since the new method of localized Euler deconvolution supports the analytical signal, it was used instead of the standard Euler deconvolution.

The principle of the method is based on solving the equation with four unknowns: x_0, y_0, z_0 and B . All these treatments were performed using the USGS Oasis Montaj software (Geosoft).

Results

Results and Analysis of the Transformed Maps

Figure 2a shows the residual magnetic field map of the basin. It spatially spreads out the variations in the magnetic properties of the Earth's crust, thus reflecting geologically derived source structures. The reduced magnetic field map at the equator (Figure 2b) shows anomalies of size and amplitude, which varies between 31700 and 32115 nT. Two localised magnetic domains can be distinguished from north to south. The southern part, in the Gontougo region, is characterised by elongated E-W negative anomalies that are marked in the volcano-sedimentary formations. Positive anomalies oriented to NE-SW and NW-SE are more marked in the Paleo-proterozoic crustal rocks in the north. This variation in magnetic intensity reflects the heterogeneity of the underlying geological formations.

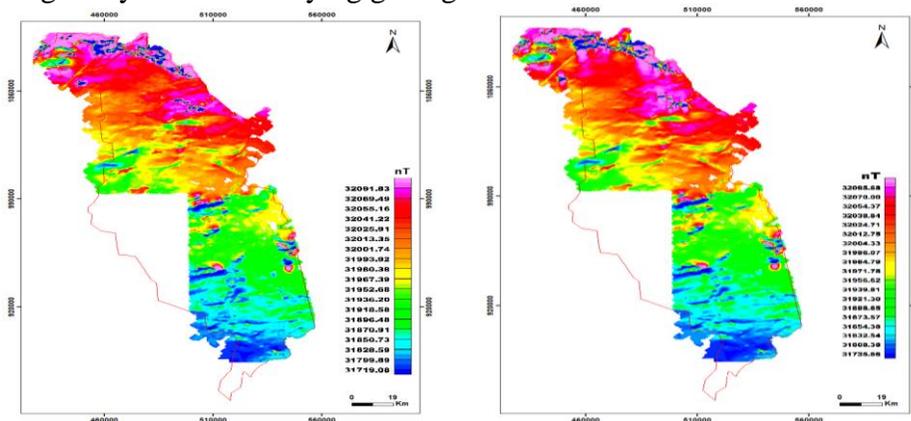


Figure 2. Transformed Maps a) Residual Magnetic Field Map, b) Map of the Reduced Field at the Equator

The first-order derivative transformed maps are shown in Figure 3. The vertical derivative (Figure 3a) highlights the surface anomalies by comparatively attenuating the long-wave (low frequency) anomalies. As the derivative order increases, the low frequency anomalies are attenuated. At the same time, the noise in the data is increased. The vertical derivative reveals anomalies that are hardly visible on the residual magnetic field maps. On these maps, the magnetic signatures are dominated by positive anomalies that describe a network of surface magnetic structures with numerous distortions. In general, they are mainly oriented to E-W and NE-SW. The horizontal derivative (Figure 3b) gives a good visualisation of these lineations. It completely eliminates the long-wave magnetic anomaly in the centre of the map. In

addition, the E-W and NE-SW lineations are better imaged and more continuous. On the upwardly extended map, the signal is smoothed out and the effects of large semi-deep structures are favoured over small surface objects. However, only the major anomalies are clearly visible. This implies that the higher the extension altitude, the smaller the amplitude of the anomalies.

Although small surface objects no longer appear on the map, the major anomalies are still clearly visible even at 60 m extension (Figure 3d).

The Tilt-angle transformation operator shows a clear structuring of the study area (Figure 3e). The magnetic lineations appear more clearly in a similar way, whether the anomalies are of low or high amplitude. In other words, while calculating an angle, all shapes are represented at the same time. The map (Figure 3e) shows the curve of the angle θ equivalent to the contact, which delimits elongated structures oriented to E-W. They are largely superimposed on the course of the hydrographic network in the basin. NW-SE and NE-SW directions are also shown. Through analytical signal, it is possible to present the magnetic anomalies stripped of any dependence on the inclination of the earth's inducing field. The anomalies that remain positive are located directly above the sources.

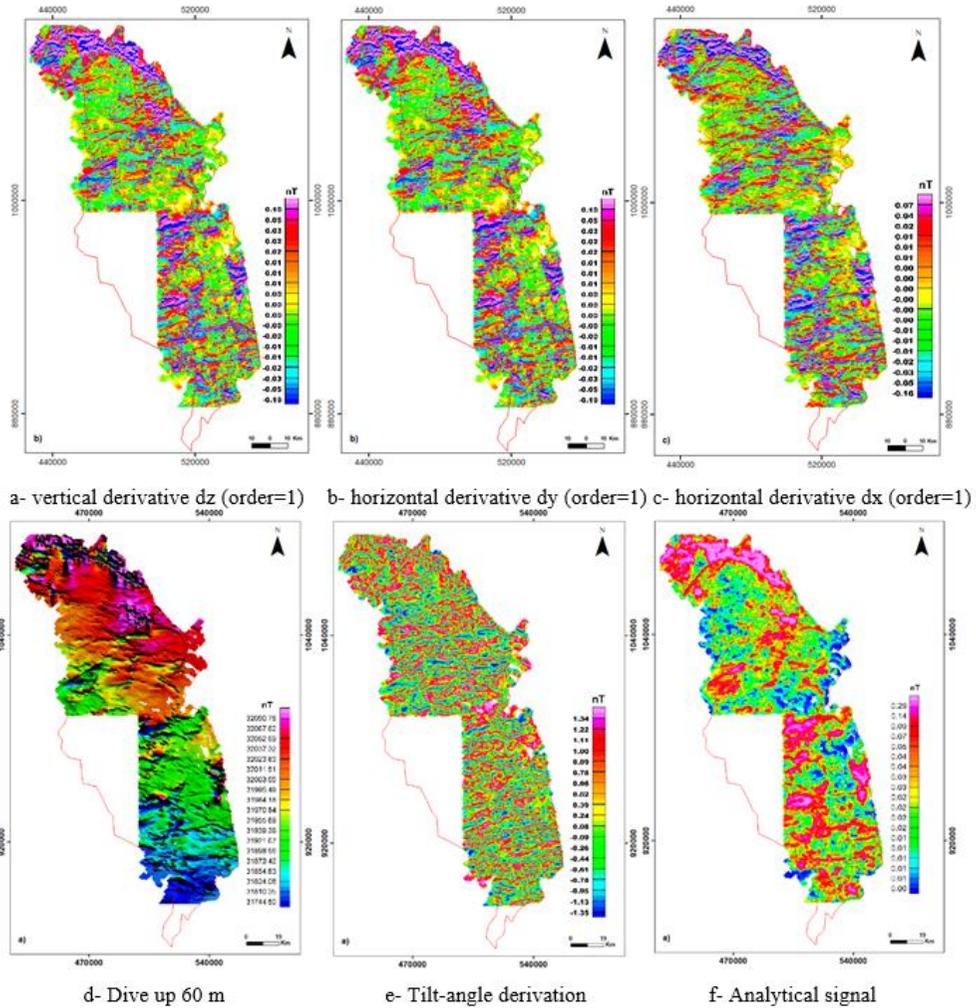


Figure 3. Magnetic Maps Transformed by Derivation (a, b, c.), Induced Field Extended Upwards to 60 m (d), Tilt-Angle Derivation (e) and Analytical Signal (f)

Structural Map

Figure 4 shows the field of major lineaments resulting from the interpretation of the transformed magnetic images. These structures correspond to two things: (i) magnetic stripes, i.e., direct observations of magnetic ridges and/or troughs associated with lithological contacts, and (ii) intersecting lineaments marked by abrupt breaks or breaks in magnetic susceptibility, with or without displacement. There are 458 lineaments with lengths ranging from 9.03 to 66.54 km and an arithmetic average of 18.33 km. The length histogram (Figure 5a) shows a strong heterogeneity in the distribution of lineament lengths. The directional rosette of the cumulative lengths (Figure 5b) indicates a predominance of the NW-SE direction

(N120-140), which is followed by the E-W (N80-90°) and NE-SW (N50-60°) directions. This distribution is confirmed by the frequency analysis.

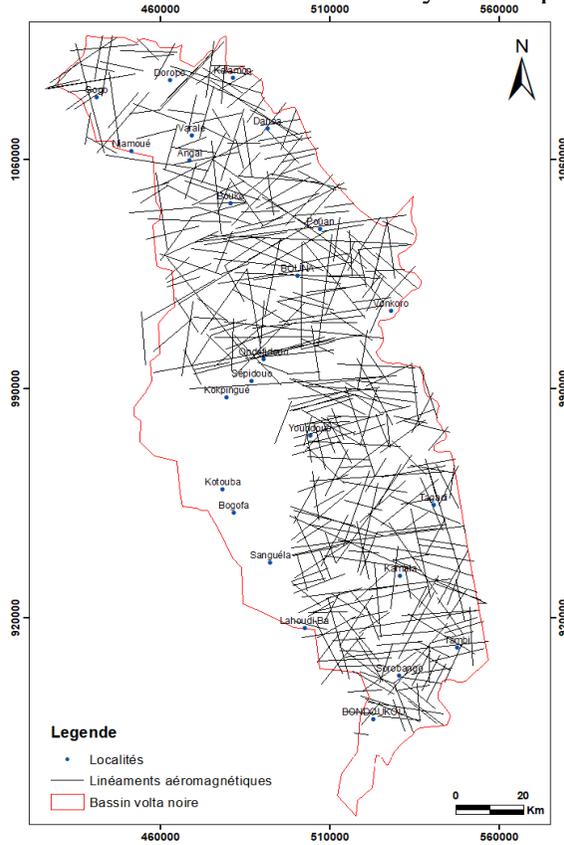


Figure 4. Structural Map of the Black Volta Catchment in Côte d'Ivoire

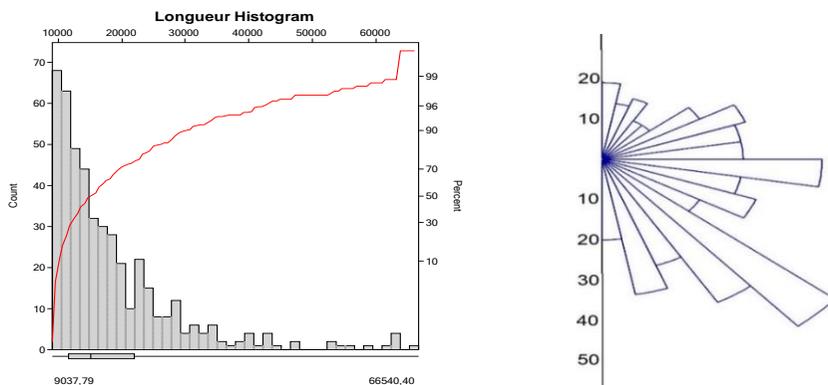


Figure 5. Geometric Parameters of Lineaments a) Lineament Length Distribution and b) Bi-directional Rosette of Cumulative Fracture Lengths from Transformed Magnetic Images

The use of Euler deconvolution coupled with the analytical signal was particularly effective in delineating the contacts and assessing their depths. Eulerian deconvolution solutions were obtained for a structural index = 0 (contact model), a window size of 10×10, and a maximum relative error of 15% on the depth. The solutions are presented in Figure 6a. The coloured dots indicate the depth of the source, and each colour is linked to one of the estimated depths, which are divided into seven (7) ranges. The estimated depths range from 6.8 to 2847 m, with a predominance of depths between 1500 and 2000 m in crystalline or metamorphic basement rocks. The superposition of these solutions on the structural cover shows the main contacts highlighted. In general, the Euler solutions show preferential N-S (N0-20°; N160-180°) and NW-SE (N110-120°) trends as illustrated in Figure 6b.

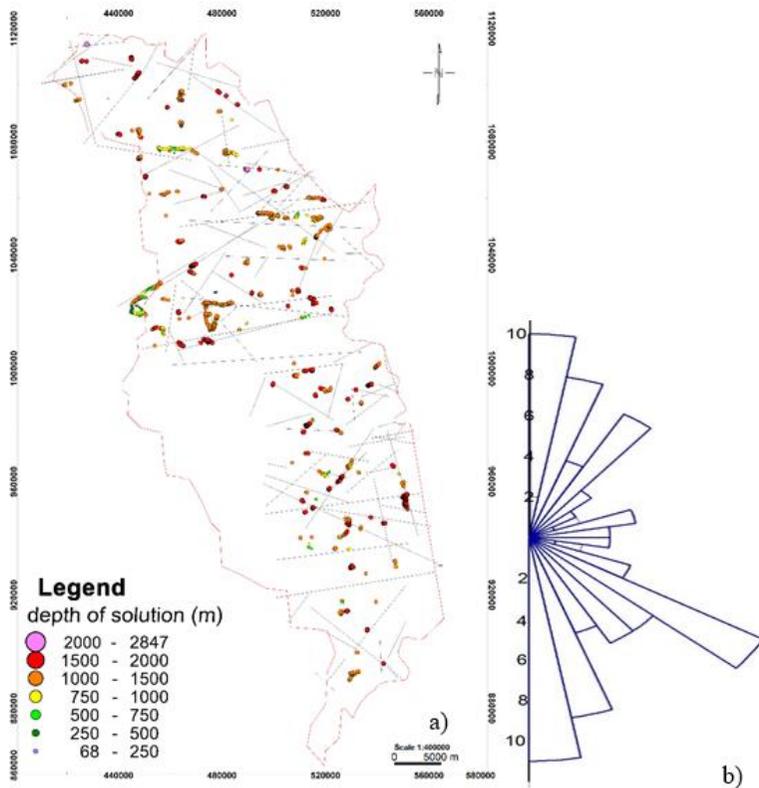


Figure 6. Euler Deconvolution Solutions of a) Aeromagnetic Data (SI=0; window=10×10 m; maximum relative error=15%); b) Directional Rosette Diagram of Deep Fractures

Discussion

This study is based on the use of aeromagnetic data in the framework of geophysics applied to structural mapping. Several filtering techniques were used to extract the maximum information on the distribution of magnetic anomalies. In geology, these methods are known either to map magnetic anomalies that may be induced by crystalline or metamorphic basement rocks or to detect linear anomalies (responses) that are dependent on tectonic and lithological contacts (Grauch et al., 2006). The methods applied in this study have a common approach, which determines the horizontal and/or depth locations of magnetic contacts. Gradients (dx, dy, and dz), tilt angle, and analytical signal combined with upward extension methods allowed a multiscale and all round analysis of magnetic contacts. Since these methods are relatively sensitive to noise and aliasing, they require pole-reduced magnetic data. Here, the residual magnetic field data was reduced to the equator due to the strong asymmetry of magnetic anomalies observed in low magnetic latitudes (less than 45°), especially in regions close to the magnetic equator such as the Ivory Coast. This transformation has been used in many works (Baranov, 1975; Hildenbrand, 1983) in order to eliminate the distortions induced by the tilt of the Earth's magnetic field vector.

Using the above techniques, the magnetic data of the region processed show three major directional families: NW-SE, E-W, and NE-SW. These identified preferential directions have similarities with the directions of the tectonic events that affected the Ivorian Precambrian basement. These include the NE-SW birimian direction in reference to the tectonic-metamorphic deformation of the Eburnian cycle in the volcano-sedimentary formations, as well as the E-W direction of the Pan-African orogeny (Faillat, 1986). The NW-SE direction is the most marked in the basin. According to Kouamé et al. (2019), it characterises the most abundant and longest fractures mapped and uses OLI 8 satellite images in the Volta Noir basin in Côte d'Ivoire.

This study reveals that some subsurface structures have depth values. Through euler deconvolution, it is possible to delineate these contacts and evaluate their depths. The quality of this assessment depends largely on the appropriate choice of structural index (SI), which is a function of the geometry of anomalies caused by isolated and multiple anomalous sources. It also depends on the window used and the depth tolerance. The structural index or degree of homogeneity defines the type of source sought. According to Reid et al. (1990), an index between 0 and 1 should be used for mapping contacts and faults. Thompson et al. (1982) states that the correct index for a given feature is the one that provides the tightest clustering of solutions. Therefore, the SI is viewed as a primary control and

the correct SI produces the most accurate results. Since $SI=0$, characteristic of the contacts indicated satisfactory results. The new localised 3D Euler method was used instead of the standard Euler method. This is because unlike the standard Euler method, where all grid locations are tested and only those locations whose valid solutions satisfy the input criteria are retained, the localised method first calculates the grid of the analytical signal, finds the peaks in the grid, and then uses these peak locations for Euler deconvolution (Reid et al., 1990). The deep structures revealed by the Euler solutions are oriented along the N-S and NW-SE directions. These directions correspond to those of the discontinuities of the Eburnian orogeny, which is mainly N-S direction. However, this has influenced the layout of the hydrographic network of the large rivers of the Ivory Coast. In the area, it coincides with the direction of the Volta River, which is the main watercourse of the basin studied. The NW-SE direction characterises the long outcropping kilometric structures identified on the transformed magnetic images. They correlate well with the topographic fractures highlighted by the parcel studies (Youan Ta et al., 2008; Jofack-Sokeng, 2013; Mangoua, 2013; Coulibaly, 2014; Kouamé et al., 2019; Kouamé et al., 2022).

Conclusion

The use of aeromagnetic maps has revealed a network of superficial and deep structures that have affected the Precambrian basement of the Black Volta Basin in Côte d'Ivoire. These numerous lineaments representing magnetic discontinuities include fractures and faults. Quantitative analysis revealed 458 lineaments, with lengths ranging from 9.03 to 66.54 km, and a dominance, both in frequency and length, of E-W and NNE-SSW directions. Through the Euler deconvolution, it was possible to delineate some discontinuities and evaluate their depths. The estimated depths range from 6.8 to 2847 m and the deep structures are organised along N-S and NW-SE directions. These directions mark the different tectonic events that affected the Ivorian Precambrian basement. This study provides new elements on the deep structure of the study area, and thus contributes to better knowledge of the aquifer system of the Volta catchment. Subsequently, the mapping method used to identify the fracture network has proved useful. Through this means, it is possible to collect information that was previously unavailable in the region. This in turn contributes to a better understanding of the fractured reservoirs for future hydrogeological prospecting in the BVNCI. Clearly, the results obtained reveal that there is currently enough data to characterise the geometry of fractured reservoirs in the future.

Acknowledgement

The authors would like to thank the Swiss Centre for Scientific Research for the funding of project N°234/2020 between the “Programme d'Appui Stratégique à la Recherche (PASRES)” and the “Laboratoire Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux (SSEG)” of the UFR “des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Abidjan, Côte d'Ivoire”.

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

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

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

References:

1. Abbass, A. A. & Mallam, A. (2013). Estimating the Thickness of Sedimentation within Lower Benue Basin and Upper Anambra Basin, Nigeria, Using Both Spectral Depth Determination and Source Parameter Imaging. *ISRN Geophysics*.
2. Abderbi, J. & Khattach, D. (2010). The contribution of gravimetry to the study of the structure of the High Plateaux (Maroc). *Bull. Inst. Sci., Rabat, Earth Sciences section*, 32, 19-30.
3. Armel Kouame, K., Marc Youan Ta, O., Zéphir De Lasme, Derving Baka, Carine. A. M., Njeugeut Fernand, & Kouame, K. (2019). Analysis of Fracture Networks of the Black Volta Catchment in Côte D'ivoire; *Journal of Geography, Environment and Earth Science International (JGEESI) ISSN: 2454-7352, n°46635, Feb. 2019, 1-14p*
4. Asfirane-haddadj, F. & Galdeano, A. (2000). The use of Euler deconvolution and analytical signal for locating magnetic sources. *Bulletin of the Geological Society, France*, (1), 71-81.
5. Baranov, V. (1957). A new method for interpretation of aeromagnetic maps: pseudo gravimetric anomalies. *Geophysics*, 22 (2), 359-382.
6. Bouiflane, M. (2008). Aeromagnetic and magnetic multi-scale mapping: structural study of a region of the Rhine Graben. *Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg 1*.
7. Coulibaly, A. (2014). Contribution of the electrical resistivity method (Trails and Electrical Soundings) to the location of aquifers in crystalline and crystallophyllous basement zones: the case of the Tanda region (north-east of Côte d'Ivoire), PhD thesis, Félix Houphouët Boigny University 148 p
8. El Gout, R., Khattach, D., Houari, M. R., Kaufmann, O., & Aqil, H. (2010). Main structural lineaments of northeastern Morocco derived

- from gravity and aeromagnetic data. *Journal of African Earth Science*, (58), 255–271.
9. Faillat, J. P. (1985). Fissured aquifers in humid tropical zones: structure, hydrodynamics and hydrochemistry (West Africa). University thesis. Languedoc (Montpellier), 534 p.
 10. Grauch, V. J. S., Sawyer, D. A., Minor, S. A., Hudson, M. R., & Thompson, R. A. (2006). Gravity and Aeromagnetic Studies of the Santo Domingo Basin Area, New Mexico. Chapter D of *The Cerrillos Uplift, the La Bajada Constriction and Hydrogeologic Framework of the Santo Domingo Basin, Rio Grande Rift, New Mexico*, edited by Scott A. Minor. U. S. Geological Survey, Denver, 63-86.
 11. Jofack-Sokeng, V.C. (2013). Contributions of neural networks to the lithostructural mapping of the Precambrian basement of the Bondoukou region (north-east of Côte d'Ivoire), Earth Sciences MASTER degree dissertation. University. Félix Houphouët BOIGNY (Abidjan), 94 p
 12. Keating, P. (1997). Automated trend reinforcement of aeromagnetic data. *Geophysical Prospecting*, 45 (3), 521-534.
 13. Khattach, D., Keating, P., Mili, E., Chennouf, T., Andrieux, P., & Milhi, A. (2004). The contribution of gravimetry to the study of the structure of the Triffa cathment (north-eastern Morocco): hydrogeological implications. *Comptes Rendus Géoscience*, (336), 1427-1432.
 14. Lachassagne, P. & Wyns, R. (2005). Aquifères de socle : nouveaux concepts - Application à la prospection et la gestion de la ressource en eau. *Géosciences* 2, p. 32-37.
 15. Mangoua, J. (2013). Evaluation of the potential and vulnerability of the groundwater resources of the fissured aquifers of the Baya catchment area (East of Côte d'Ivoire). PhD thesis, 171p. Nanguy Abrogoua University.
 16. Miller, H.G. & Singh, V. (1994). Potential field tilt- a new concept for location of potential field sources. *Journal of applied Geophysics*, 32, 213-217.
 17. Ousmane, B. (1988). Etude géochimique et isotopique des aquifères du socle de la bande sahélienne du Niger (Liptako, Sud-Maradi et Zinder-Est). Thèse Univ. Niamey. 175 p. *Journal of African Earth Science*, (58), 255–271.
 18. Reeves, C. (2005). Aeromagnetic surveys: principles, practice and interpretation. Course unit i, 50, 150 pages.
 19. Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. J., & Somerton, I.W. (1990). Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, 55, 80-91.

20. Salem, A., William, S., Fairhead, D., Smith, R., & Ravat, D. (2008). Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives. *Geophysics*, 73, NO. 1 _JANUARY-FEBRUARY 2; P. L1–L10, 7 FIGS.
21. Vanié, L.T.A., Khattach, D., & Houari, M. R., (2005). Contribution of gravity anomaly filtering to the study of deep structures in eastern Morocco. *Bulletin of the Scientific Institute, Rabat, Earth Sciences section*, (27), 29-40.
22. Verduzco, B., Fairhead, J. D., Green, C. M., & Mackenzie, C. (2004). New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *SEG the Leading Edge February*, 116-119.
23. Youan Ta, M., Lasm, T., Jourda, J. P., Kouame. K. F., & Razack, M. (2008). Structural mapping using Landsat-7 ETM+ satellite imagery and analysis of fracture networks in the Precambrian basement of the Bondoukou region (north-eastern Côte d'Ivoire). *Remote Sensing Journal*, 2008, vol. 8, no. 2, p. 119-135, 2008, vol. 8, n° 2, p. 119-135.

Asphyxie Périnatale à la Maternité du CHU Kara : Aspects Epidémiologique, Clinique et Pronostique

Kossi Edem Logbo-Akey

Gynécologue-obstétricien,

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara, Togo

Tina Kétévi

Gynécologue-obstétricien, Service de gynécologie-obstétrique du CHU

Sylvanius Olympio, Lomé, Togo

Kignomon Bingo M'Bortché

Gynécologue-obstétricien, Clinique ATBEF, Lomé Togo

Yendoubé Pierre Kambote

Gynécologue-obstétricien,

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara, Togo

Noe Kibandou Patidi

CHU Sylvanius Olympio, Lomé, Togo

Dédé Régina Ajavon

Abdoul-Samadou Aboubakari

Gynécologue-obstétricien,

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara Togo

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n30p323](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p323)

Submitted: 26 July 2023

Accepted: 25 October 2023

Published: 31 October 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Logbo-Akey K.E., Kétévi T., M'Bortché K.B., Kambote Y.P., Patidi N.K., Ajavon D.R. & Aboubakari A.S. (2023). *Asphyxie Périnatale à la Maternité du CHU Kara : Aspects Epidémiologique, Clinique et Pronostique*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (30), 323. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p323>

Résumé

Objectifs Décrire les aspects épidémiologiques, cliniques et pronostiques de l'asphyxie périnatale à la maternité du CHU Kara. Matériel et Méthode : Il s'est agi d'une étude rétrospective, descriptive et analytique menée de Janvier 2022 à Décembre 2022. Etaient inclus tous les nouveau-nés à terme, accouchés durant la période de l'étude qui avaient un score d'Apgar inférieur ou égal à 7 à la cinquième minute de vie. Résultat : La fréquence était de 3,37%. Le sex-ratio était de 1,53. Dans 90,12%, les accouchées avaient

moins de 35ans, avec un âge moyen de 24,45ans. Elles étaient en majorité ménagère (58,02%), non instruites ou de niveau d'instruction primaire (72,84%) et primipares (50,62%). Il s'agissait pour la plupart de patientes référées dans 90,13% des cas, n'ayant effectué aucun bilan prénatal dans 44,44% des cas. La voie basse constituait le principal mode d'accouchement dans 77,78% des cas, à un âge gestationnel moyen de 38,6 semaines d'aménorrhée. Le liquide amniotique était méconial dans 60,49% et clair dans 20,99% des cas. Dans 69,14%, le score d'Apgar était à 7-6 à la cinquième minute. Après une durée moyenne de 7,6 minutes de réanimation du nouveau-né, le score d'Apgar à la dixième minute est inférieure à 7 dans 49,38% des cas. Le taux de décès néonatal précoce était de 27,16%. Conclusion : L'asphyxie périnatale est grave. L'amélioration du pronostic néonatal nécessite une amélioration du suivi prénatal et la prise en charge efficiente de l'accouchement.

Mots-clés: Asphyxie périnatale, Apgar, maternité CHU Kara

Perinatal Asphyxia at the Maternity Ward of CHU Kara: Epidemiological, Clinical, and Prognostic Aspects

Kossi Edem Logbo-Akey

Gynécologue-obstétricien,

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara, Togo

Tina Kétévi

Gynécologue-obstétricien, Service de gynécologie-obstétrique du CHU

Sylvanius Olympio, Lomé, Togo

Kignomon Bingo M'Bortché

Gynécologue-obstétricien, Clinique ATBEF, Lomé Togo

Yendoubé Pierre Kambote

Gynécologue-obstétricien,

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara, Togo

Noe Kibandou Patidi

CHU Sylvanius Olympio, Lomé, Togo

Dédé Régina Ajavon

Abdoul-Samadou Aboubakari

Gynécologue-obstétricien,

Service de gynécologie-obstétrique du CHU Kara Togo

Abstract

Objectives: describe the epidemiological, clinical and prognostic aspects of perinatal asphyxia at the Kara university hospital maternity unit

Material and Method: This was a retrospective, descriptive and analytical study conducted from January 2022 to December 2022. All full-term neonates delivered during the study period who had an Apgar score of less than or equal to 7 at fifth minute of life were included. **Results:** Perinatal asphyxia rate was 3.37%. The sex ratio was 1.53. In 90.12% of cases, the mothers were under 35 years of age, with an average age of 24.4 years. The majority were housewives (58.02%), uneducated or with primary education (72.84%) and primiparous (50.62%). Most of the patients were referred in 90.13% of cases, and 44.44% had not undergone any antenatal check-up. The vaginal delivery was the main mode of delivery in 77.78% of cases, at an average gestational age of 38.6 weeks' amenorrhoea. Amniotic fluid was meconium in 60.49% and clear in 20.99% of cases. In 69.14% of cases, the Apgar score was 7 or 6 at the fifth minute. After 7.6 minutes mean resuscitation, the Apgar score at the tenth minute was less than 7 in 49.38% of cases. The rate of early neonatal death was 27.16%. **Conclusion:** Perinatal asphyxia is serious. Improving neonatal prognosis requires better antenatal monitoring, quality pregnancy monitoring and efficient management of delivery.

Keywords: Perinatal asphyxia, Apgar, maternity unit CHU Kara

Introduction

L'asphyxie périnatale (APN) est un défaut d'établir ou d'initier une respiration normale à la naissance (WHO, 1998). Elle résulte d'une altération sévère des échanges gazeux utéroplacentaires conduisant à une hypoxie sévère et une acidose témoignant d'une altération du métabolisme cellulaire fœtal (Bouiller et al., 2016; Langer et al., 2013). Elle constitue un problème majeur de santé publique particulièrement dans les régions à faibles revenus. En effet, il est estimé à environ 4 et 9 millions le nombre de nouveau-nés qui souffriraient d'asphyxie chaque année dans le monde. Elle est responsable de près de 1,2 million de décès néonatal et plus d'un million d'incapacités motrices d'origine cérébrale chaque année dans le monde (Omo-Aghoja et al., 2014). En Afrique, la situation est particulièrement préoccupante en raison de l'insuffisance de moyens diagnostics et de prise en charge. Le taux de létalité y est élevé et varie de 10,4% à 34,8% (Coulibaly et al., 2021 ; Thiam et al., 2017)

Au Togo, malgré une tendance à la baisse du décès néonatal, le taux reste élevé, en majorité liée l'asphyxie périnatale qui en est la première cause (Segbedji et al., 2022 ; Ministère de la santé, Togo, 2020). Face à l'insuffisance de plateaux technique de prise en charge de l'APN, il s'avère opportun d'identifier plutôt en amont, les facteurs anténataux et perpartum aggravant le pronostic néonatal. D'où l'initiative de cette étude à la maternité du CHU Kara, afin de contribuer à l'amélioration du pronostic périnatal et donc la réduction de la mortalité néonatale.

1 Matériel et Méthode

L'étude a été réalisée à la maternité du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Kara, le plus grand centre de référence de la partie septentrionale du Togo. Il s'est agi d'une étude rétrospective, descriptive menée de Janvier 2022 à Décembre 2022. La population d'étude était constituée de tous les nouveau-nés accouchés à la maternité du CHU Kara. Etaient inclus, tous les nouveau-nés ayant présenté une APN avec un score d'Apgar inférieur à 7 à la 5ème minute associée à une anomalie du rythme cardiaque fœtale (décélération persistantes, tachycardie ou bradycardie fœtale), avec ou sans anomalie du liquide amniotique. N'étaient pas inclus les nouveau-nés ayant une malformation congénitale, les nouveau-nés prématurés (âge gestationnel inférieur à 37 SA), et les petits poids pour l'âge gestationnel. Une revue documentaire faite de dossiers obstétricaux, du registre d'admission, d'accouchement et du registre d'admission en néonatalogie a servi à collecter

les données. Les paramètres étudiés étaient relatifs aux données sociodémographiques des accouchées, au suivi de la grossesse, aux données cliniques du travail et au pronostic des nouveau-nés. Le logiciel Epi info 7.2 a servi à analyser les données. Le test de Chi2 et le test exact de Fisher étaient utilisés avec un seuil de significativité $p < 0.05$, et un intervalle de confiance à 95%.

2 Résultats

2.1 Fréquence

Durant la période de l'étude, 81 nouveau-nés avaient présenté une APN sur un total de 2399 accouchements. Soit une fréquence de 3,37%

2.1 Données socio-démographiques

L'âge moyen des accouchées était de 24,45ans avec des extrêmes de 15ans et 41ans. Les accouchées de moins de 35ans représentaient 90,12%. Quarante-sept accouchées étaient ménagères soit 58,02%. Concernant la scolarisation, 34 accouchées avaient un niveau primaire soit 41,98% et 25 accouchées n'étaient pas scolarisées, soit 30,86%. Pour le nombre d'accouchement déjà effectué, 50,62% était à leur premier accouchement donc primipares, et paucipares dans 23,46% des cas. Soixante-treize accouchées étaient référées à la maternité du CHU Kara soit 90,13% des cas.

2.2 Suivi de la grossesse

Les caractéristiques du suivi de la grossesse sont résumées dans le tableau I ci-dessous.

Tableau I : Répartition des accouchées en fonction du suivi de la grossesse

	Effectif (n=81)	Pourcentage (%)
<i>Visites prénatales</i>		
Moins de 4	27	33,33
4 et plus	54	66,67
<i>Bilan prénatal</i>		
Oui	45	55,56
Non	36	44,44
<i>Pathologie gravidique</i>		
Anémie	16	19,75
Prééclampsie/HTA	2	2,47
Diabète	1	1,24
Aucune pathologie	62	76,54
<i>Antécédent de mort-né</i>		
Non	66	81,48
Oui	15	18,52

2.3 Données cliniques du travail et de l'accouchement

L'âge gestationnel moyen à l'entrée en travail était de 38SA+6jours. Les motifs d'admission à la maternité sont renseignés dans le tableau II ci-après

Tableau II. Répartition des accouchées en fonction du motif d'admission à la maternité

Motif d'admission	Effectif (n=81)	Pourcentage (%)
<i>Non référées</i>		
Travail d'accouchement	8	9,87
<i>Référées</i>		
Non progression du travail	37	45,68
Dépassement de terme	12	14,82
Suspicion d'asphyxie	7	8,64
Rupture des membranes	6	7,41
Prééclampsie	3	3,70
Placenta prævia/ Hématome retro placentaire	3	3,70
Procidence du cordon	2	2,47
Anémie	2	2,47
Crises vaso occlusives	1	1,24
Total	81	100

La voie basse a été le principal mode d'accouchement, soit 77,78%. Le déroulement du travail d'accouchement est représenté dans le tableau III ci-dessous.

Tableau III. Déroulement du travail d'accouchement

	Effectif (n=81)	Pourcentage (%)
<i>Phase à l'admission</i>		
Phase de latence	33	40,74
Phase active	48	59,26
<i>Durée de la référence*</i>		
Moins 1h	9	12,33
1h-2h	27	36,99
Plus de 2h	37	50,68
<i>Durée du travail au CHU</i>		
Moins de 6h	55	67,90
Plus de 6 heures	26	32,10
<i>Aspect du liquide amniotique</i>		
Clair	17	20,99
Fétide	4	4,94
Méconial	49	60,49
Purée de pois	11	13,58
<i>Mode d'accouchement</i>		
Voie basse non instrumentale	58	71,61
Ventouse	5	6,17
Césarienne	18	22,22

*Elles étaient 73 femmes à être référées au CHU Kara

2.4 Pronostic immédiat du nouveau-né

Quarante-neuf nouveau-nés étaient de sexe masculin soit 60,49%, et 32 de sexe féminin soit 39,51%. Le sex-ratio était de 1,53. Dans 69,14% des cas, les nouveau-nés avaient un Apgar à 7-6 à la 5^e minute, et dans 30,86% l'Apgar était inférieur à 5. Après une durée moyenne de réanimation de 7,62 minutes, 49,38% des nouveau-nés avaient toujours des difficultés respiratoires, soit un Apgar inférieur à 7 à la 10^e minute. Dans le tableau IV est illustrée la corrélation entre la mauvaise adaptation à la 10^e minute et les paramètres maternels. Durant les 7 premiers jours de vie, 22 nouveau-nés étaient décédés, soit un taux de létalité de 27,16%.

Tableau IV. Corrélation entre la mauvaise adaptation à la 10^e minute et les paramètres maternels

Paramètres maternels	Apgar à la 10 ^e minute		P-value	X ²
	< à 7 n (%)	> à 7 n (%)		
Mode d'admission				
Référée	34 (46,58)	39 (53,42)	0,12	2,33
Non référée (venue d'elle-même)	6 (75)	2 (25)		
Visites prénatales				
Moins de 4	15 (55,56)	12 (44,44)	0,43	0,61
4 et plus	25 (46,30)	29 (53,70)		
Durée de référence				
Plus de 2heures	27 (72,97)	10 (27,03)	0,02*	5,01
Moins de 2 heures	17 (47,22)	19 (52,78)		
Durée du travail au CHU				
Plus de 6 heures	11 (42,31)	15 (57,69)	0,38	0,76
Moins de 6 heures	29 (52,73)	26 (47,27)		
Aspect du liquide amniotique				
Pathologique	36 (56,25)	28 (43,75)	0,04*	3,87
Clair	5 (29,41)	12 (70,59)		
Voie d'accouchement				
Voie basse	32 (50,79)	31 (49,21)	0,63	0,22
Voie haute	8 (44,44)	10 (55,56)		
Sexe du nouveau-né				
Masculin	24 (48,98)	25 (51,02)	0,92	0,008
Féminin	16 (50,00)	16 (50,00)		

Liquide amniotique pathologique : Méconial, purée de pois, fétide

*p< 0.05

3 Discussion

Le taux de l'APN était de 3,37%, proche de celle rapportée au Benin (4,5%) (d'Almeida et al., 2017) et au Niger (4,85%) (Kamaye et al., 2021). D'autres études antérieures africaines avaient rapporté des taux plus élevés d'APN (8% à 35,4%) (Balaka et al., 2015 ; Okoko et al., 2016 ; Barkat et al., 2019). Ce contraste entre les incidences serait d'ordre méthodologique. En effet cette différence viendrait des critères d'inclusion et du cadre d'étude. La

présente étude étant réalisée à la maternité, alors que bon nombre d'études ont été réalisées dans des services de pédiatrie et de néonatalogie de référence, recevant des nouveau-nés d'autres hôpitaux et centres périphériques. Quelque soit la méthode utilisée, le taux reste élevé. Ce fait serait lié à la méconnaissance des signes d'alerte, au retard à la référence des parturientes. Il requiert une surveillance rigoureuse du travail d'accouchement, l'amélioration des moyens techniques de surveillance du travail d'accouchement et une référence à temps dès le moindre signe d'anomalie du travail.

La majorité des accouchées avaient moins de 35ans (90,12%). Elles étaient à leur première expérience d'accouchement dans 50,62%, de caractéristique socio-économique précaire (ménagères 58,02% ; sous scolarisées 72,84% ; venant de la périphérie 90,12%). Des études antérieures Africaines avaient rapporté les mêmes constats (Thiam et al., 2017 ; Diallo et al., 2018 ; Sidibé et al., 2019 ; Coulibaly et al., 2021 ; Segbedji et al., 2022). La prépondérance des moins de 35ans serait le fait de la période d'activité sexuelle active et donc un taux de fécondité élevée dans cette tranche d'âge. La mécanique du travail d'accouchement étant plus longue chez la primipare, et donc une susceptibilité d'hyper production de lactate fœtal et maternel durant une phase active prolongée expliquerait le taux élevé de l'APN chez les primipares. La majorité des mères étaient référées. Les prestataires ignorent le degré de sévérité de l'APN et ne tiennent certainement pas souvent compte de difficultés financières et d'accessibilité géographique des hôpitaux de référence. D'où l'importance de la sensibilisation des femmes et des couples à la préparation de l'accouchement lors des consultations prénatales, mais également d'un renforcement de capacité des prestataires sur les APN et les références à temps (avant travail ou lors du travail d'accouchement) en tenant compte des difficultés d'accessibilité géographiques.

Dans 33,33% des cas, les accouchées avaient effectué moins de 4 CPN et près de la moitié n'avait effectué aucun bilan prénatal. Des études antérieures africaines avaient retrouvé une corrélation entre avec le nombre réduit des CPN et la survenue de l'APN (Ouedraogo et al., 2015 ; Okoko et al., 2016 ; Thiam et al., 2017 ; Coulibaly et al., 2021). Les CPN constituent le cadre idéal de détection d'anomalie maternelle et ou fœtal pouvant compromettre le pronostic de la grossesse ou de l'accouchement. A l'heure où l'OMS recommande des pratiques pour une « expérience positive de la grossesse et de l'accouchement », d'avantages d'efforts devraient se faire pour plus d'adhésion des femmes aux visites prénatales. L'anémie maternelle (19,75%) était la pathologie la plus retrouvée lors des visites prénatales. Constat similaire au Sénégal (Thiam et al., 2017) où l'anémie maternelle (37,0%) et l'infection (36,4%) étaient les pathologies les plus rapportées. Par contre en Guinée Conakry (Diallo et al., 2018) et en République Démocratique

du Congo (Mwansa et al., 2018), le risque d'une APN serait fortement corrélé à l'apparition d'une hypertension artérielle (HTA) au cours de la grossesse qui engendrerait un retard de croissance intra-utérin par réduction de la perfusion utéro-placentaire.

La voie basse était le principal mode d'accouchement (77,78%). C'était également le cas dans plusieurs études antérieures en Afrique où la voie vaginale constituait le principal mode d'accouchement avec des taux variant de 74,1% à 84,3% (Coulibaly et al., 2021 ; Sidibe et al., 2019 ; Liu et al., 2012). L'hyper production de lactate fœtal et maternel à la phase active du travail d'accouchement serait responsable de l'APN lors de l'accouchement par voie basse en cas de travail prolongé. D'ailleurs le prolongement de la durée du travail a été rapporté dans des études comme facteur de risque de l'APN (d'Almeida et al., 2017 ; Coulibaly et al., 2021). Mais ce constat ne fait pas l'unanimité. En effet, pour certains auteurs, la césarienne en serait plus incriminée (Balaka et al., 2015). La diminution de la perfusion utéro placentaire survenant quelques fois lors de l'anesthésie locorégionale ou plutôt la dépression respiration du nouveau-né accompagnant l'anesthésie générale en seraient responsables.

Le liquide amniotique était méconial dans 60,49% des cas. L'aspect du liquide amniotique était corrélé à l'adaptation à la vie extra utérine. En effet, un liquide amniotique pathologique (méconial, purée de pois, fétide) était significativement associé à un mauvais score d'Apgar à la 10^e minute de vie ($p=0,04$). Des études antérieures avaient aussi rapporté les mêmes constats où l'APN était souvent accompagné d'anomalies du liquide amniotique (Ouedraogo et al., 2015 ; d'Almeida et al., 2017 ; Thiam et al., 2017). L'émission prématurée du méconium in utéro serait un mécanisme reflexe d'épargne et de protection de certains organes nobles, secondaire à l'hypoxie par activation du système sympatho-adrénergique. Ainsi un liquide amniotique méconial serait un signe d'alerte d'hypoxie fœtale puisqu'il s'accompagnerait d'une augmentation significative de l'acidose fœtale (Ndiaye et al., 2008 ; Bang Ntamack et al., 2013). Cependant, un liquide amniotique méconial n'est pas spécifique de l'APN. Il est rapporté 10 à 20% d'accouchement normal sans asphyxie fœtale avec un liquide méconial (Hankins et al., 2003). Les nouveau-nés de sexe masculin prédominaient dans notre étude, soit un sex-ratio de 1,53. Cette susceptibilité du sexe masculin à l'APN bien qu'il n'existe pas de corrélation a été constatée dans des études antérieures (Chiabi et al., 2013 ; Aslam et al., 2014 ; Coulibaly et al., 2021 ; Kamaye et al., 2021). Les oestrogènes auraient un rôle neuroprotecteur contre les lésions hypoxémiques chez le nouveau-né de sexe féminin (Johnston et al., 2007).

Le pronostic néonatal de l'APN dans nos milieux est mauvais. En effet dans notre étude, le taux de létalité était de 27,16%, proche de celui rapporté

au Bénin (26,6%) (d'Almeida et al., 2017) et à Madagascar (34,8%) (Rasoanirina et al., 2022). De par sa gravité, elle constituait la première cause de mortalité néonatale rapportée au nord Togo (Segbedji et al., 2022). Le mauvais pronostic dans nos régions à ressources limitées serait le fait de l'insuffisance de moyens de dépistage et de prise en charge de l'APN. D'où l'importance des références à temps, la surveillance rigoureuse du travail et la formation continue en réanimation du nouveau-né des prestataires intervenant dans les maternités.

Conclusion

L'APN constitue un problème de santé publique en raison de sa fréquence et de sa gravité. Un meilleur suivi des grossesses, les références à temps et une amélioration des moyens de surveillance du travail et de prise en charge de l'APN amélioreront le pronostic

Contribution des auteurs : Tous les auteurs ont participé à l'élaboration et la rédaction de cet article

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

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

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

Déclaration pour les participants humains : Cette étude a été approuvée par la direction régionale de la santé de Kara et la direction du centre hospitalier universitaire de Kara. Les principes de la déclaration d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. d'Almeida, M., Lalya, F., Bagnan, L., Djidita Hagne, Y., Adedemy, J. D., Ayivi, B. Asphyxie périnatale du nouveau-né à terme : facteurs de risque et pronostic au Centre National Hospitalier et Universitaire (CNHU-HKM) de Cotonou. *Journal Africain de Pédiatrie et de Génétique Médicale* 2017 ; 1: 10-15
2. Aslam, H.M., Saleem, S., Afzal, R., Iqbal, U., Saleem, S.M., Shaikh, M.W.A., Shahid, N. Risk factors of birth asphyxia. *Ital J Pediatr* 2014 ; 40 : 94
3. Balaka, B., Tomta, D., Douiti, N.K., Houkporti-Lawson, A., Tchamon, A. Impact de la césarienne subventionnée sur l'asphyxie périnatale à

- l'hôpital de district de Be. J Rech Sci Univ Lomé (Togo) 2015 ; 17(2) : 337-343
4. Bang Ntamack, J., Ovono Abessolo, F., Ngou-mve Ngou, JP., Zoleko, R., Mbang Bengone, A., Mounanga, M., Meye, J.F., Ngou-Milama, E. Paramètres obstétricaux et néonataux associés à la concentration des lactates dans l'artère ombilicale du nouveau-né Int. J. Biol. Chem. Sci 2013 ; 7(3): 1271-1278
 5. Barkat, A., Kharbach, A., Barkat, A. Étude de l'association entre les conditions de l'accouchement et la gravité de l'asphyxie périnatale au centre national de référence pour la néonatalogie et la nutrition de Rabat. J Pédiatr Puéricult 2019 ; 32(2) : 90-98
 1. 6. Bouillier, JP., Dreyfus, M., Mortamet, G., Guillois B., Benoist, G. Asphyxie perpartum à terme : facteurs de risque de survenue et conséquences à court terme à propos de 82 cas. J. Gynécologie Obstétrique Biol. Reprod 2016 ; 45 : 626-32
 6. Chiabi, A., Nguéfacq, S., Mah, E., Nodem, S., Mbuagbaw, L., Mbonda, E., Tchokoteu, P.F., Doh, A. Risk Factors for Birth Asphyxia in an Urban Health Facility in Cameroon. Iran J Child Neurol. 2013 ; 7(3) : 46 - 54
 7. Coulibaly, O., Koné, I., Kanté, M., Traoré, M., Sacko, D., Haïdara, M. et al. Aspects Cliniques de l'Asphyxie Périnatale du Nouveau-Né et Devenir Immédiat au Centre Santé de Référence de la Commune V de Bamako Health Sci. Dis August 2021 ; 22(8): 32-36
 8. Diallo, A., Bah, IK., Magassouba, A.S., Conté, I., Diallo, I.S., diallo, B.S., Balde, O., Noba, A., Sy, T. Souffrance fœtale aigüe : facteurs de risque et pronostic néonatal dans une maternité à ressources limitées en Guinée Conakry Journal de la SAGO 2018 ; 19 (2) : 23-29
 9. Hankins, G.D., Speer, M. Defining the pathogenesis and pathophysiology of neonatal encephalopathy and cerebral palsy. Obst Gynec 2003 ; 102 : 628-36
 10. Johnston, M.V., Hagberg, H. Sex and the pathogenesis of cerebral palsy. Dev Med Child Neurol. 2007 ; 49(1) : 74-8
 11. Kamaye, M., Alido, S., Ayouba, ZM., Aboubacar, S., Tidjani, H., Amadou, A. Facteurs de risque et profil évolutif à court terme de l'asphyxie périnatale à la maternité Issaka gazobi de Niamey (Niger). J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo) 2021 ; 23(1): 265-275
 12. Langer, B. Repérage de l'asphyxie au cours du travail. Rev Méd Périnat 2013 ; 5 : 73-80
 13. Liu, L., Johnson, H.L., Cousens, S., Perin, J., Scott, S., Lawn, J.E., Rudan, I., Campbell, H., Cibulskis, R., Li, M., Mathers, C., Black, R.E. Global Regional and National Causes of Child

- Mortality: An Updated Systematic Analysis for 2010 with Time Trends since 2000. *The Lancet* 2012 ; 379: 2151-61
14. Mwansa, J.C., Tambwe, A.M., Thaba, J.N., Ndoudule, A.M., Museba, B.Y., Thabu, T.M., Muenze P.K. Etude des anomalies du rythme cardiaque fœtal observées à l'examen cardiotocographique à Lubumbashi: cas suivis aux Cliniques Universitaires de Lubumbashi et à l'Hôpital Général du Cinquantenaire Karavia. *Pan Afr. Med. J.* 2018 ; 30(278) :1-10
 15. Ndiaye, O., Diouf, S., Cisse Bathily, A., Lamine Fall, A., Moreau, S.C., Kuakuvi, N. Facteur de risque associé à l'asphyxie du nouveau-né à terme à l'hôpital Aristide le Dantec de Dakar. *Méd. Afr. Noire* 2008 ; 55 : 522-528
 16. Okoko, A.R., Ekouya-Bowassa, G., Moyen, E., Togho-Abessou, L.C., Atanda, H.L., Moyen G. Asphyxie périnatale au centre hospitalier et universitaire de Brazzaville. *J Pédiatr Puéricult* 2016 ; 29 : 295-300
 17. Omo-Aghoja, L. Maternal and fetal acid-base chemistry: a major determinant of perinatal outcome. *Ann Med Health Sci Res* 2014; 41:8-17
 18. Ouédraogo Yugbaré, S.O., Coulibaly, G., Kouéta, F., Yao, S., Savadogo, H., Dao, L., Kam, L., Pfister, R., Lougué, C., Ouédraogo, R., Yé, D. Profil à risque et pronostic néonatal de l'asphyxie périnatale en milieu hospitalier pédiatrique à Ouagadougou. *J Pédiatr Puéricult* 2015 ; 28 : 64-70
 19. Rasoanirina, M.C.M.R., Rabeloson, S.H., Rakotomalala, L.H., Samena, H.S.C., Robinson, A.L. Désordres électrolytiques et hématologiques au cours de l'asphyxie néonatale. *Rev. Malg. Ped.* 2022 ; 5(2) : 63-71
 20. République Togolaise. Ministère. Ministère de la Santé de l'Hygiène Publique et de l'Accès Universel aux Soins. Direction Régionale de la Santé de Kara. Rapport d'activités 2020, Kara
 21. Segbedji, K.A.R., Tchagbele, O.B., Takassi, O.E., Agbéko, F., Talboussouma, S.M., Kombieni, K., Atakouma, Y.D, Djadou, K.E, Gbadoé, A.D., Azoumah K.D (2022). Mortalité Néonatale dans le Service de Pédiatrie du Centre Hospitalier Universitaire de Kara de 2016 à 2020. *European Scientific Journal, ESJ* 2022 ; 18 (11) : 39 – 50
 22. Sidibé, L.N., Diall, H., Coulibaly, O. Epidemio-Clinical Characteristics of Perinatal Anoxia and Immediate Outcome of Patients at Hospital Teaching Gabriel Touré of Bamako, Mali. *Open Jnl of Ped.* 2019 ; 9 : 326-36
 23. Thiam, L., Dramé, A., Coly, I.Z., Diouf, F.N., Sylla, A., Ndiaye, O. Asphyxie périnatale au service de néonatalogie de l'hôpital de la Paix

- De Ziguinchor (Sénégal). European Scientific Journal, ESJ 2017 ;
13(21) : 217-226
24. World Health Organization. Maternal and Newborn Health/Safe
Motherhood. (1998). Basic newborn resuscitation : a practical guide.
World Health Organization. [Internet]. [cité 18 Avril 2023].
Disponible sur <https://apps.who.int/iris/handle/10665/63953>