

European Scientific Journal, *ESJ*

November 2024

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

November 2024 edition vol. 20, No. 33

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

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

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

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

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

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

Sincerely,

Daniel B. Hier, MD

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

Editor in Chief

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Robert Szucs,
University of Debrecen, Hungary

Dragica Vujadinovic,
University of Belgrade, Serbia

Pawel Rozga,
Technical University of Lodz, Poland

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

Rashmirekha Sahoo,
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Faranak Seyyedi,
Azad University of Arak, Iran

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

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Noor Alam,
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

Rashad A. Al-Jawfi,
Ibb University, Yemen

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

Hans W. Giessen,
Saarland University, Saarbrücken, Germany

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of 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,
Shamakhy Astrophysical Observatory of the Ministry of Science and Education of the
Republic of Azerbaijan

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

Saltanat Meiramova,
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

Rajasekhar Kali Venkata,
University of Hyderabad, India

Ruzica Loncaric,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Stefan Vladutescu,
University of Craiova, Romania

Billy Adamsen,
University of Southern Denmark, Denmark

Marinella Lorinczi,
University of Cagliari, Italy

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

N. K. Rathee,
Delaware State University, USA

Michael Ba Banutu-Gomez,
Rowan University, USA

Adil Jamil,
Amman University, Jordan

Habib Kazzi,
Lebanese University, Lebanon

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Henry J. Grubb,
University of Dubuque, USA

Daniela Brevenikova,
University of Economics, Slovakia

Genute Gedviliene,
Vytautas Magnus University, Lithuania

Vasilika Kume,
University of Tirana, Albania

Mohammed Kerbouche,
University of Mascara, Algeria

Adriana Gherbon,
University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania

Pablo Alejandro Olavegogeoascoechea,
National University of Comahue, Argentina

Raul Rocha Romero,
Autonomous National University of Mexico, Mexico

Driss Bouyahya,
University Moulay Ismail, Morocco

William P. Fox,
Naval Postgraduate School, USA

Rania Mohamed Hassan,
University of Montreal, Canada

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

Tilahun Achaw Messaria,
Addis Ababa University, Ethiopia

George Chiladze,
University of Georgia, Georgia

Elisa Rancati,
University of Milano-Bicocca, Italy

Alessandro Merendino,
University of Ferrara, Italy

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

Anastassios 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

A. Zahoor Khan,
International Islamic University Islamabad, Pakistan

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Andrzej Palinski,
AGH University of Science and Technology, Poland

Jose Carlos Teixeira,
University of British Columbia Okanagan, Canada

Martin Gomez-Ullate,
University of Extremadura, Spain

Nicholas Samaras,
Technological Educational Institute of Larissa, Greece

Emrah Cengiz,
Istanbul University, Turkey

Francisco Raso Sanchez,
University of Granada, Spain

Simone T. Hashiguti,
Federal University of Uberlandia, Brazil

Tayeb Boutbouqalt,
University, Abdelmalek Essaadi, Morocco

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

Ismail Ipek,
Istanbul Aydin University, Turkey

Olena Kovalchuk,
National Technical University of Ukraine, Ukraine

Oscar Garcia Gaitero,
University of La Rioja, Spain

Alfonso Conde,
University of Granada, Spain

Jose Antonio Pineda-Alfonso,
University of Sevilla, Spain

Jingshun Zhang,
Florida Gulf Coast University, USA

Olena Ivanova,
Kharkiv National University, Ukraine

Marco Mele,
Unint University, Italy

Okyay Ucan,
Omer Halisdemir University, Turkey

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

Matti Raudjarv,
University of Tartu, Estonia

Cosimo Magazzino,
Roma Tre University, Italy

Susana Sousa Machado,
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

Jelena Zascerinska,
University of Latvia, Latvia

Umman Tugba Simsek Gursoy,
Istanbul University, Turkey

Zoltan Veres,
University of Pannonia, Hungary

Vera Komarova,
Daugavpils University, Latvia

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

Pierluigi Passaro,
University of Bari Aldo Moro, Italy

Georges Kpazai,
Laurentian University, Canada

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

Michele Russo,
University of Catanzaro, Italy

Nikolett Deutsch,
Corvinus University of Budapest, Hungary

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

Brian Sloboda,
University of Maryland, USA

Natalia Sizochenko
Dartmouth College, USA

Marisa Cecilia Tumino,
Adventista del Plata University, Argentina

Luca Scaini,
Al Akhawayn University, Morocco

Aelita Skarbaliene,
Klaipeda University, Lithuania

Oxana Bayer,
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

Onyeka Uche Ofili,
International School of Management, France

Aurela Saliq,
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 Università Mediterranea, Italy

Rachid Sani,
University of Niamey, Niger

Luis Aliaga,
University of Granada, Spain

Robert McGee,
Fayetteville State University, USA

Angel Urbina-Garcia,
University of Hull, United Kingdom

Sivanadane Mandjiny,
University of N. Carolina at Pembroke, USA

Marko Andonov,
American College, Republic of Macedonia

Ayub Nabi Khan,
BGMEA University of Fashion & Technology, Bangladesh

Leyla Yilmaz Findik,
Hacettepe University. Turkey

Vlad Monescu,
Transilvania University of Brasov, Romania

Stefano Amelio,
University of Unsubria, Italy

Enida Pulaj,
University of Vlora, Albania

Christian Cave,
University of Paris XI, France

Julius Gathogo,
University of South Africa, South Africa

Claudia Pisoschi,
University of Craiova, Romania

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

Joseph Ntale,
Catholic University of Eastern Africa, Kenya

Kate Litondo,
University of Nairobi, Kenya

Maurice Gning,
Gaston Berger University, Senegal

Katarina Marosevic,
J.J. Strossmayer University, Croatia

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

Syed Shadab,
Jazan University, Saudi Arabia

Koffi Yao Blaise,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Mario Adelfo Batista Zaldivar,
Technical University of Manabi, Ecuador

Kalidou Seydou,
Gaston Berger University, Senegal

Patrick Chanda,
The University of Zambia, Zambia

Meryem Ait Ouali,
University IBN Tofail, Morocco

Laid Benderradji,
Mohamed Boudiaf University of Msila, Algeria

Amine Daoudi,
University Moulay Ismail, Morocco

Oruam Cadex Marichal Guevara,
University Maximo Gomes Baez, Cuba

Vanya Katsarska,
Air Force Academy, Bulgaria

Carmen Maria Zavala Arnal,
University of Zaragoza, Spain

Francisco Gavi Reyes,
Postgraduate College, Mexico

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

Patricia Randrianavony,
University of Antananarivo, Madagascar

Roque V. Mendez,
Texas State University, USA

Kesbi Abdelaziz,
University Hassan II Mohammedia, Morocco

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

Ilknur Bayram,
Ankara University, Turkey

Elenica Pjero,
University Ismail Qemali, Albania

Gokhan Ozer,
Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Turkey

Veronica Flores Sanchez,
Technological University of Veracruz, Mexico

Camille Habib,
Lebanese University, Lebanon

Larisa Topka,
Irkutsk State University, Russia

Paul M. Lipowski,
Holy Family University, USA

Marie Line Karam,
Lebanese University, Lebanon

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

Mohamed Berradi,
Ibn Tofail University, Morocco

Visnja Lachner,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Sangne Yao Charles,
University Jean Lorougnon Guede, Ivory Coast

Omar Boubker,
University Ibn Zohr, Morocco

Kouame Atta,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Patience Mpanzu,
University of Kinshasa, Congo

Devang Upadhyay,
University of North Carolina at Pembroke, USA

Nyamador Wolali Seth,
University of Lome, Togo

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,
Universite d'Abomey-Calavi, Benin

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

Rene Mesias Villacres Borja,
Universidad Estatal De Bolivar, Ecuador

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

Qamil Dika,
Tirana Medical University, Albania

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

Hariti Hakim,
University Alger 3, Algeria

Emel Ceyhun Sabir,
University of Cukurova, Turkey

Salomon Barrezueta Unda,
Universidad Tecnica de Machala, Ecuador

Belkis Zervent Unal,
Cukurova University, Turkey

Elena Krupa,
Kazakh Agency of Applied Ecology, Kazakhstan

Carlos Angel Mendez Peon,
Universidad de Sonora, Mexico

Antonio Solis Lima,
Apizaco Institute Technological, Mexico

Roxana Matefi,
Transilvania University of Brasov, Romania

Bouharati Saddek,
UFAS Setif1 University, Algeria

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

Serigne Modou Sarr,
Universite Alioune DIOP de Bambey, Senegal

Nina Stankous,
National University, USA

Lovergine Saverio,
Tor Vergata University of Rome, Italy

Fekadu Yehualashet Maru,
Jigjiga University, Ethiopia

Karima Laamiri,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Elena Hunt,
Laurentian University, Canada

Sharad K. Soni,
Jawaharlal Nehru University, India

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

Florence Kagendo Muindi,
University of Nairobi, Kenya

Maximo Rossi Malan,
Universidad de la Republica, Uruguay

Haggag Mohamed Haggag,
South Valley University, Egypt

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

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

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

Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

Stefan Cristian Gherghina,
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

Aristide Yemmafouo,
University of Dschang, Cameroon

Gabriel Anibal Monzón,
University of Moron, Argentina

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

Arburim Iseni,
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

Raoufou Pierre Radji,
University of Lome, Togo

Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,
Universidad de Almeria, Spain

Satoru Suzuki,
Panasonic Corporation, Japan

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

Russell Kabir,
Anglia Ruskin University, UK

Nasreen Khan,
SZABIST, Dubai

Luisa Morales Maure,
University of Panama, Panama

Lipeng Xin,
Xi'an Jiaotong University, China

Harja Maria,
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

Benie Aloh J. M. H.,
Felix Houphouët-Boigny University of Abidjan, Cote d'Ivoire

Bertin Desire Soh Fotsing,
University of Dschang, Cameroon

N'guessan Tenguel Sosthene,
Nangui Abrogoua University, Cote d'Ivoire

Ackoundoun-Nguessan Kouame Sharll,
Ecole Normale Supérieure (ENS), Cote d'Ivoire

Abdelfettah Maouni,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Alina Stela Resceanu,
University of Craiova, Romania

Alilouch Redouan,
Chouaib Doukkali University, Morocco

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

Sufi Amin,
International Islamic University, Islamabad Pakistan

Sanja Milosevic Govedarovic,
University of Belgrade, Serbia

Elham Mohammadi,
Curtin University, Australia

Andrianarizaka Marc Tiana,
University of Antananarivo, Madagascar

Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,
Udayana University, Indonesia

Yue Cao,
Southeast University, China

Audrey Tolouian,
University of Texas, USA

Asli Cazorla Milla,
Universidad Internacional de Valencia, Spain

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

Tabou Talahatou,
University of Abomey-Calavi, Benin

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

Hamidreza Izadi,
Chabahar Maritime University, Iran

Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,
Ain Shams University, Egypt

Rachid Ismaili,
Hassan 1 University, Morocco

Tamar Ghutidze,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Emine Koca,
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

David Perez Jorge,
University of La Laguna, Spain

Irma Guga,
European University of Tirana, Albania

Jesus Gerardo Martínez del Castillo,
University of Almeria, Spain

Mohammed Mouradi,
Sultan Moulay Slimane University, Morocco

Marco Tulio Ceron Lopez,
Institute of University Studies, Mexico

Mangambu Mokoso Jean De Dieu,
University of Bukavu, Congo

Hadi Sutopo,
Topazart, Indonesia

Priyantha W. Mudalige,
University of Kelaniya, Sri Lanka

Emmanouil N. Choustoulakis,
University of Peloponnese, Greece

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

Pinnawala Sangasumana,
University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

Abdelali Kaaouachi,
Mohammed I University, Morocco

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

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

Amaya Epelde Larranaga,
University of Granada, Spain

Franca Daniele,
"G. d'Annunzio" University, Chieti-Pescara, Italy

Saly Sambou,
Cheikh Anta Diop University, Senegal

Daniela Di Berardino,
University of Chieti-Pescara, Italy

Dorjana Klosi,
University of Vlore "Ismail Qemali, Albania

Abu Hamja,
Aalborg University, Denmark

Stankovska Gordana,
University of Tetova, Republic of Macedonia

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

Maria Leticia Bautista Diaz,
National Autonomous University, Mexico

Bruno Augusto Sampaio Fuga,
North Parana University, Brazil

Anouar Alami,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Vincenzo Riso,
University of Ferrara, Italy

Janhavi Nagwekar,
St. Michael's Hospital, Canada

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

Xi Chen,
University of Kentucky, USA

Fateh Mebarek-Oudina,
Skikda University, Algeria

Nadia Mansour,
University of Sousse, Tunisia

Jestoni Dulva Maniago,
Majmaah University, Saudi Arabia

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

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

Enriko Ceko,
Wisdom University, Albania

Laura Fischer,
National Autonomous University of Mexico, Mexico

Mauro Berumen,
Caribbean University, Mexico

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

Maria Carlota,
Autonomous University of Queretaro, Mexico

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

Bhupendra Karki,
University of Louisville, Louisville, USA

Evens Emmanuel,
University of Quisqueya, Haiti

Iresha Madhavi Lakshman,
University of Colombo, Sri Lanka

Francesco Scotognella,
Polytechnic University of Milan, Italy

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

Rawaa Qasha,
University of Mosul, Iraq

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

Hani Nasser Abdelhamid,
Assiut University, Egypt

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

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

Ilenia Farina,
University of Naples "Parthenope, Italy

Luisa Zanolla,
Azienda Ospedaliera Universitaria Verona, Italy

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

Adriana Burlea-Schiopoiu,
University of Craiova, Romania

Fernando Espinoza Lopez,
Hofstra University, USA

Ammar B. Altemimi,
University of Basrah, Iraq

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

Davide Calandra,
University of Turin, Italy

Nicola Varrone,
University of Campania Luigi Vanvitelli, Italy

Luis Angel Medina Juarez,
University of Sonora, Mexico

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

Sameer Algburi,
Al-Kitab University, Iraq

Braione Pietro,
University of Milano-Bicocca, Italy

Mounia Bendari,
Mohammed VI University, Morocco

Stamatios Papadakis,
University of Crete, Greece

Aleksey Khlopytskyi,
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

Sung-Kun Kim,
Northeastern State University, USA

Nemanja Berber,
University of Novi Sad, Serbia

Krejsa Martin,
Technical University of Ostrava, Czech Republic

Magdalena Vaverkova,
Mendel University in Brno, Czech Republic

Jeewaka Kumara,
University of Peradeniya, Sri Lanka

Antonella Giacosa,
University of Torino, Italy

Paola Clara Leotta,
University of Catania, Italy

Francesco G. Patania,
University of Catania, Italy

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

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

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

Usama Konbr,
Tanta University, Egypt

Branislav Radeljic,
Necmettin Erbakan University, Turkey

Anita Mandaric Vukusic,
University of Split, Croatia

Barbara Cappuzzo,
University of Palermo, Italy

Roman Jimenez Vera,
Juarez Autonomous University of Tabasco, Mexico

Lucia P. Romero Mariscal,
University of Almeria, Spain

Pedro Antonio Martin-Cervantes,
University of Almeria, Spain

Hasan Abd Ali Khudhair,
Southern Technical University, Iraq

Qanqom Amira,
Ibn Zohr University, Morocco

Farid Samir Benavides Vanegas,
Catholic University of Colombia, Colombia

Nedret Kuran Burcoglu,
Emeritus of Bogazici University, Turkey

Julio Costa Pinto,
University of Santiago de Compostela, Spain

Satish Kumar,
Dire Dawa University, Ethiopia

Favio Farinella,
National University of Mar del Plata, Argentina

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

Salwa Alinat,
Open University, Israel

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

Rasool Bukhsh Mirjat,
Senior Civil Judge, Islamabad, Pakistan

Samantha Goncalves Mancini Ramos,
Londrina State University, Brazil

Mykola Nesprava,
Dnoproperetrovsk State University of Internal Affairs, Ukraine

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

Giacomo Buoncompagni,
University of Florence, Italy

Elza Nikoleishvili,
University of Georgia, Georgia

Mohammed Mahmood Mohammed,
University of Baghdad, Iraq

Oudgou Mohamed,
University Sultan Moulay Slimane, Morocco

Arlinda Ymeraj,
European University of Tirana, Albania

Luisa Maria Arvide Cambra,
University of Almeria, Spain

Charahabil Mohamed Mahamoud,
University Assane Seck of Ziguinchor, Senegal

Ehsaneh Nejad Mohammad Nameghi,
Islamic Azad University, Iran

Mohamed Elsayed Elnaggar,
The National Egyptian E-Learning University , Egypt

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

Harouna Issa Amadou,
Abdou Moumouni University of Niger

Achille Magloire Ngah,
Yaounde University II, Cameroun

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

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

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

Oumar Bah,
Sup' Management, Mali

Angelica Selene Sterling Zozoaga,
Universidad del Caribe, Mexico

Josephine W. Gitome,
Kenyatta University, Kenya

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

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

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

Desara Dushi,
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

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

Aziz Dieng,
University of Portsmouth, UK

Ruth Magdalena Gallegos Torres,
Universidad Autonoma de Queretaro, Mexico

Alami Hasnaa,
Universite Chouaid Doukkali, Maroc

Emmanuel Acquah-Sam,
Wisconsin International University College, Ghana

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

Hicham Chairi,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

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 Belo,
University of Biea, Cameroon

El Agy Fatima,
Sidi Mohamed Ben Abdelah University, Morocco

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

Nato Durglishvili,
University of Georgia, Georgia

Abdelkrim Salim,
Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

Omar Kchit,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Isaac Ogundu,
Ignatius Ajuru University of Education, Nigeria

Giuseppe Lanza,
University of Catania, Italy

Monssif Najim,
Ibn Zohr University, Morocco

Luan Bekteshi,
"Barleti" University, Albania

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

Oudani Hassan,
University Ibn Zohr Agadir, Morocco

Merita Rumano,
University of Tirana, Albania

Mohamed Chiban,
Ibn Zohr University, Morocco

Tal Pavel,
The Institute for Cyber Policy Studies, Israel

Jawad Laadraoui,
University Cadi Ayyad of Marrakech, Morocco

El Mourabit Youssef,
Ibn Zohr University, Morocco

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

Krzysztof Nesterowicz,
Ludovika-University of Public Service, Hungary

Laamrani El Idrissi Safae,
Ibn Tofail University, Morocco

Suphi Ural,
Cukurova University, Turkey

Emrah Eray Akca,
Istanbul Aydin University, Turkey

Selcuk Poyraz,
Adiyaman University, Turkey

Ocak Gurbuz,
University of Afyon Kocatepe, Turkey

Umut Sener,
Aksaray University, Turkey

Mateen Abbas,
Capital University of Science and Technology, Pakistan

Muhammed Bilgehan Aytac,
Aksaray University, Turkey

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

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

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

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

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

Atif Ali,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Shahzda Adnan,
Pakistan Meteorological Department, Pakistan

Waqar Ahmed,
Johns Hopkins University, USA

Faizan ur Rehman Qaiser,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Choua Ouchemi,
Université de N'Djaména, Tchad

Syed Tallataf Hussain Shah,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Saeed Ahmed,
University of Management and Technology, Pakistan

Hafiz Muhammad Arshad,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Johana Hajdini,
University "G. d'Annunzio" of Chieti-Pescara, Italy

Mujeeb Ur Rehman,
York St John University, UK

Noshaba Zulfiqar,
University of Wah, Pakistan

Muhammad Imran Shah,
Government College University Faisalabad, Pakistan

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

Titilayo Olotu,
Kent State University, Ohio, USA

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

Sajjad Ali,
Karakoram International University, Pakistan

Hiqmet Kamberaj,
International Balkan University, Macedonia

Sanna Ullah,
University of Central Punjab Lahore, Pakistan

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

Heba Mostafa Mohamed,
Beni Suef University, Egypt

Abdul Basit,
Zhejiang University, China

Karim Iddouch,
International University of Casablanca, Morocco

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

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

Dolantina Hyka,
Mediterranean University of Albania

Yaya Dosso,
Alassane Ouattara University, Ivory Coast

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

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

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

Rafael Antonio Estevez Ramos,
Universidad Autónoma del Estado de México

Mohamed El Mehdi Saidi,
Cadi Ayyad University, Morocco

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

Murry Siyasiya,
Blantyre International University, Malawi

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

Emmanuel Gitonga Gicharu,
Mount Kenya University, Kenya

Er-razine Soufiane,
Regional Centre for Education and Training Professions, Morocco

Foldi Kata,
University of Debrecen, Hungary

Elda Xhumari,
University of Tirana, Albania

Daniel Paredes Zempual,
Universidad Estatal de Sonora, Mexico

Jean Francois Regis Sindayihebura,
University of Burundi, Burundi

Luis Enrique Acosta Gonzlez,
University of Holguin, Cuba

Odoziobodo Severus Ifeanyi,
Enugu State University of Science and Technology, Enugu, Nigeria

Maria Elena Jaime de Pablos,
University of Almeria, Spain

Soro Kolotcholoma Issouf
Peleforo Gon Coulibaly University, Cote d'Ivoire

Compaore Inoussa
Université Nazi BONI, Burkina Faso

Dorothee Fegbawe Badanaro
University of Lome, Togo

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

Compaore Inoussa

Université Nazi BONI, Burkina Faso

Dorothee Fegbawe Badanaro

University of Lome, Togo

Kouakou N'dri Laurent

Alassane Ouattara University, Ivory Coast

Jalila Achouaq Aazim

University Mohammed V, Morocco

Georgios Farantos

University of West Attica, Greece

Maria Aránzazu Calzadilla Medina

University of La Laguna, Spain

Tiendrebeogo Neboma Romaric

Nazi Boni University, Burkina Faso

Dionysios Vourtsis

University of West Attica, Greece

Zamir Ahmed

Government Dehli Degree Science College, Pakistan

Akinsola Oluwaseun Kayode

Chrisland University, Nigeria

Rosendo Romero Andrade

Autonomous University of Sinaloa, Mexico

Belamalem Souad

University Ibn Tofail, Morocco

Hoummad Chakib

Cadi Ayyad University, Morocco

Jozsef Zoltan Malik

Budapest Metropolitan University, Hungary

Sahar Abboud Alameh

LIU University, Lebanon

Table of Contents:

**Comparative Study of Information Security Awareness and Practice
Within Home and Work Environments: Case Study in Libya.....1**

Abdalmonem Tamtam

Hamida Asker

**El potencial terapéutico del Sistema Endocannabinoide en el tratamiento
del acné: revisión sistemática.....19**

Luis Aldo Zatarain-López

Uriel Ulises Rodríguez-Mejía

Dalia Samanta Aguilar-Ávila

Nicte Selene Fajardo Robledo

Edgardo Flores-Torales

Paola Trinidad Villalobos-Gutiérrez

Juan Manuel Viveros-Paredes

Neural Network Approaches for Early Breast Cancer Detection.....42

Ala'a R. Al-Shamasneh

Najla Althuniyan

Nadia Alabdulkarim

Maya Ahmad

**Exploring Disease Manifestations and Influencing Factors in Acute and
Chronic Hepatitis B.....59**

Napoleon Bellua Sam

Abena Serwaa Oforu

Saeed Folorunsho Majeed

**Selection and phenotypic stability of M4 mutants of pearl millet
(*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) derived from gamma rays induced
mutagenesis in Niger.....76**

Moukaila Boureim Mouhamadoua

Daouda Ousmane Sani

Issa Yacouba Abdoul-Bachir

Sani Daouda Abdoul Razak

Mahamadou Adamou Nassirou

Lawali Mamane Nassourou

Soumaila Sounakoye Illiassa

**Comportement alimentaire et niveau de masse grasse des adolescents
Ivoiriens vivants à Abidjan (Côte d'Ivoire).....85**

Affoué Marie-Paule Anko

Kouakou Jérôme Kouadio

Kouakou Firmin Kouassi

Kouakou Siméon Kouassi

Ahia Monique Lydie Beugré Kouassi

Le suivi de l'efficacité et de la tolérance des antiviraux à action directe dans le traitement de l'hépatite virale C chronique à l'Hôpital national Donka CHU Conakry.....100

Diallo Mamadou Sarifou

Youssouf Oumarou

Diallo Mamadou Oury Safiatou

Diallo Kadiatou

Diallo Djenabou

Diallo Ahmed Tidiane

Wann Thierno Amadou

Bah Mamadou Lamine Yaya

Sylla Djibril

Prise en charge des personnes âgées dépendantes : une analyse du modèle socioculturel baoulé Agba de Côte d'Ivoire.....115

Anoua Adou Serge Judicaël

Dynamique spatio-temporelle du couvert forestier dans le bassin de Kara au Nord Togo (Afrique de l'Ouest).....137

Atsu K. Dogbeda Hlovor

Kossi Adjonou

Kossi Segla

Katché Komlanvi Akoete

Kouami Kokou

Deviance Psychiatrique et Déterminants Psychosociaux : Au sujet de huit cas de l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville.....162

Michel K. Gbagbo

Kolotcholoma Issouf Soro

Dynamics of Water Erosion in the Aghien Lagoon Catchment.....187

Ehouman Serge Koffi

Amidou Dao

Dabissi Djibril Noufe

Mamadi Ouedraogo

Nagnon Bernard Yeo

Luc Seguis

Jean Louis Perrin

Bamory Kamagate

Lancine Droh Gone

Variabilité et tendances interannuelles du climat à l'échelle de la Côte d'Ivoire sur la période 1961-2016.....218

Jean-Muller Kouao

Bertrand Ouessé Tagnon

Brenger Koffi

Amani Michel Kouassi

Kouamé Auguste Kouassi

Droh Lanciné Gone

Influence des facteurs abiotiques sur la biodiversité des macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Mgbaba dans le département de la Léké (région du Centre Cameroun).....241

Alfred Mbassi Mvogo

Deutchoua Arthur Ngangoué

Gertrude Estelle Yogback

Gideon Aghaindum Ajeegah

Cartographie des fractures productives en eau souterraine dans le bassin versant de la Bénoué : apport de la géomatique.....265

Oumarou Baba Nana

Mboudou Guillaume Ewodo

Kepnamou Amadou Diguim

Gabriel Messi

L'éducation, l'unique frein pouvant ralentir, voire arrêter l'exploitation abusive de l'environnement, dans le cadre du développement durable, cas de la Région Boeny.....293

Basile Tsimisanda

Tahiana Andriaharimalala

Félicitée Rejo-Fienena

Dynamique de la Population de Sarda sarda (Bloch, 1793) du Golfe de Guinée, Côte d'Ivoire.....317

Angui Kouamé Jean Paul

Affourmou Kouamé

Assan N'dri Florentine

Diaha Constance N'guessan

Konan Jacques Kouamé

Yao N'guessan

Yao Kouakou

**Réhabilitation et Valorisation d’Anciens Sites Miniers en Champ de
Tomate.....335**

Rachel Honorine Camara

Koya Kaba Ousmane

Salif Ismaël Sylla

Abdoulaye Keïta

**Contribution to the sustainable management of water and soil resources
in North-West Benin: characterization of the watershed heads of the
Ouémé and Pendjari rivers in the commune of Copargo.....353**

Kamarou Faré Kondo

Ibrahim Tchakala

Masamaéya Dadjá-Toyou Gnazou

Wèré Gédéon Sambienou

Firmin Adandedji

Ousmane Boukari

Daouda Mama

Comparative Study of Information Security Awareness and Practice Within Home and Work Environments: Case Study in Libya

Abdalmonem Tamtam, PhD

Nalut University, Libya

Dublin City University, Ireland

Hamida Asker, MSc

Nalut University, Libya

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p1](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p1)

Submitted: 16 June 2024

Accepted: 21 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Tamtam A. & Asker H. (2024). *Comparative Study of Information Security Awareness and Practice Within Home and Work Environments: Case Study in Libya*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p1>

Abstract

The abundance of information available through the internet, mobile applications, and cloud computing has made it convenient for users to access a wide range of data. However, this convenience comes at a cost, as this information is constantly at risk of being compromised by cybercriminals and hackers. While the recognition of potential information security dangers is increasing in developed countries, regions like Libya in North Africa still exhibit insufficient protection levels. The purpose of this study is to compare various factors that may influence or affect users' practices and awareness in home and work environments. Specifically, the factors investigated are policy, behavior, IT knowledge, and education. To achieve the study's goals, a quantitative methodology was employed, and a survey was created to assess the correlation between these key factors and security awareness and practices in home and workplace settings. The survey attracted 220 respondents and was analyzed using statistical methods to determine the relationship between the independent variables and the dependent variables. The results of this study indicate a moderate positive correlation between policy, IT knowledge, and education with security awareness and practice in both home and workplace environments. Only the behavior factor had a low correlation for home users.

These findings indicate that the level of security awareness and practices at home and in the workplace is generally moderate. This study aims to serve as an initial step in emphasizing the importance of security training sessions for employees and highlighting the need to increase knowledge of information security. The findings are intended to inspire further research and focus on providing security information to the public, thereby disseminating new knowledge on the importance of security training and enhancing awareness of information security.

Keywords: Security awareness, Security practice, Information security, home users, workplace users

1. Introduction

The enhancement and integration of technology into everyday life has had many effects. The economic impact of security breaches is estimated at nearly half a trillion dollars globally (Mamonov, S., & Benbunan-Fich, R. 2018). Information security threats have experienced a significant evolution in terms of volume and nature, shifting from savvy hackers with unerring skills who meticulously organize and crack cybersecurity walls in an attempt to gain financial benefits for their work (Talib et al., 2010). The increasing threats to information systems have brought new solutions that focus on technological means, while research focused on human factors remains limited; hence, researchers have called for more examination in this area (Metalidou et al., 2014).

The human factor has a formidable influence on the success and failure of organizations' efforts to secure and protect their services and information systems. The end-user remains the weakest link with regard to information security. Information security is not solely a technological issue but also a user issue; it is arguably one of the most important requirements in the working day of employees and employers (Kemper, G. 2019; Metalidou et al., 2014).

Albrechtsen (2007) explored users' experience of information security and their personal role in information security work. The main patterns of the study were: (1) users state they are motivated for information security work but do not perform many individual security actions; (2) high information security workload creates a conflict of interest between functionality and information security; and (3) documented requirements of expected information security behavior and general awareness campaigns have little effect on user behavior and awareness. Moreover, the author claims that users consider the user-involving approach to be much more effective for influencing user awareness and behavior. Information security awareness has been used in organizations to promote information security culture by

increasing employees' (who are also considered home users) knowledge of information security.

Several organizations have instituted information security awareness programs to ensure their employees are aware of security threats (Kruger & Kearney, 2006). Both academic and commercial communities have given attention to information security awareness in the past few years. Organizations are increasingly acknowledging the significance of their information assets and the development of effective strategies to enhance awareness within the company. This has been further supported by effective corporate governance regulation and legislation (Von Solms and Von Solms, 2006). Successful security practices require management support that defines strategy to implement effective security practices in their organization to protect information assets. Information security represents a considerable concern of organizational management. Security solutions depend on technical aspects as well as appropriate end-user behavior. Employees who are also home users of computing technology are susceptible to security attacks unless they comply with organizational policy, increase their knowledge and education, and undergo training via increased awareness and practice through good information security programs (Asker and Tamtam, 2023).

This paper will conduct a comparative study of employees' attitudes toward the factors that influence security awareness and practice in both workplace and home environments.

1.1 Study Questions:

There is a difference in attitude of the participants on the factors that affect information security awareness of employees in their workplace and home.

2. Related Works:

Attacks and hacks on computer systems and information assets continue to be a problem for employees and home users. Although technological means are used to provide protection for information systems from cyber breaches and threats, there is still a risk from users represented by errors, misuse, defects, misinformation, and damage or loss of information in computer systems. In other words, errors resulting from humans using information systems represent a threat to information security and protection (Khando et al., 2021; Edwards, 2015).

Information security awareness has been used in organizations to promote information security culture by increasing employees' knowledge of information security. Several organizations have instituted information security awareness programs to ensure their employees are aware of security threats (Kruger & Kearney, 2006). Both academic and commercial

communities have given attention to information security awareness in recent years. Organizations are increasingly acknowledging the significance of their information assets and the development of effective strategies to enhance awareness within the company. This is supported by successful corporate governance regulation and legislation (Von Solms and Von Solms, 2006).

Unclear and unorganized methodologies in relation to current security awareness approaches and their proposed classifications provide a guide to identify the range of options available to researchers and practitioners when designing their research and practice on information security awareness. On the other hand, home users have various resources to enhance their online threat awareness, and they are provided with supporting information from anti-virus providers, operating system vendors, and government initiatives (Talib et al., 2012; Tsohou et al., 2010). Information security policies (ISPs) are considered to be a significant practice within information security to increase employees' awareness of information security issues (Jaeger, L. 2018). Evidently, the main threats to information security occur due to employees who do not comply with their organization's security policy.

Employees' awareness, beliefs, attitudes, and social norms have important and recognizable effects when it comes to complying with security policies. Information security programs should include all factors that promote employees to comply with security policy, such as beliefs which show positive attitudes towards security policy (Bulgurcu et al., 2010).

It is clear that most threats faced by information systems are due to erroneous user behavior. Several studies in information security have linked information security incidents in organizations with employee behavior, which results from a lack of security awareness in their organizations (Guo, 2013; Lim et al., 2009).

Human behavior varies among individuals, where users' behavior can be influenced by demographic groups. There is a relation between users' security behaviors and their information security awareness level. The success of security in the organization relies on the behavior of employees who administer and maintain information resources; suitable and constructive behavior of employees and system administrators can promote the efficacy of information security (Grant, 2010).

Training in information security awareness is one of the most important factors for improving information security of end users. Training frequency, training method, and training compliance monitoring are all mentioned in the literature as playing a role in security awareness training effectiveness (Quagliata, 2010).

Offering training is one of the factors that increase employees' level of satisfaction. However, employees' training on security risks and measures against attacks should be conducted carefully (Metalidou et al., 2014).

Training programs are significant for disseminating security awareness to users to do their jobs (Bada & Sasse, 2014).

With respect to home users, most training programs are provided in institutions for employees while few programs are concerned with security training for home users (Hammarstrand, J., & Fu, T. 2015).

Additionally, there is an impact of customer knowledge, as presented by Gharaibeh & Zanoon (2013), on the security of E-business, which discussed some security gaps resulting from low levels of customer knowledge in information technology. Most organizations depend on information technology in their work, such as managing records, as technology helps to facilitate daily work through organized information. Knowledge can alter human behavior, and users can behave appropriately when something occurs regarding information security systems.

Integrating awareness of information security into the educational system develops appropriate knowledge among individuals, which will increase the next generation's access to an appropriate background in information security (Hentea et al., 2006).

Security education, training, and awareness (SETA) programs are educational programs designed to develop security awareness among employees to reduce security violations that refer to deficient security awareness. The SETA program could be considered as part of risk management, which determines the security tone for employees by keeping security as a daily activity in their work (Alyami et al., 2024).

Five main factors that have an impact on security awareness and practices were presented in the study of Askar & Tamtam (2020), where the study presented the effects of behavior, policy, training, knowledge, and education on the security awareness and practices of employees in their workplace.

On the other hand, the two researchers presented the impact of these factors on the security awareness and security practices of home users (Asker & Tamtam, 2023). Figure 1 shows the conceptual framework of the factors that influence information security awareness and practices in both workplace and home environments.

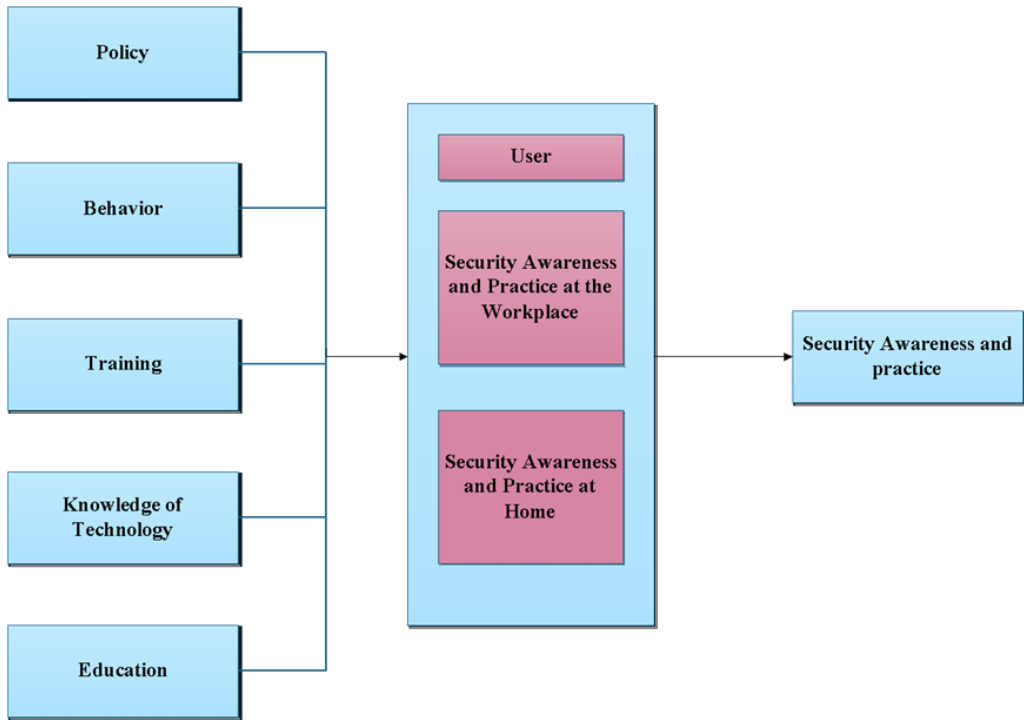


Figure 1: A conceptual framework for the security awareness and practice

According to a report by Specops Software in 2020, the United States has witnessed the highest number of cyberattacks, with 156 incidents reported between May 2006 and June 2020. Notably, 2018 marked the peak year for such attacks, with a total of 30 incidents recorded. One of the most recent cyberattacks in the United States occurred in May 2020, detected by the National Security Agency (NSA). The agency uncovered those hackers exploited a vulnerability in a widely utilized email server to access sensitive information from American organizations.

Following the United States, the United Kingdom has faced the second-highest number of cyberattacks, with 47 significant incidents reported between May 2006 and June 2020. This includes large-scale attacks targeting the digital platforms of the Labour Party during the 2019 general election. India ranks third in the number of significant cyberattacks, experiencing 23 incidents. In June 2020, India encountered a high-profile attack where malware was deployed to target nine human rights activists, compromising their keystrokes, recording their audio, and stealing their personal information.

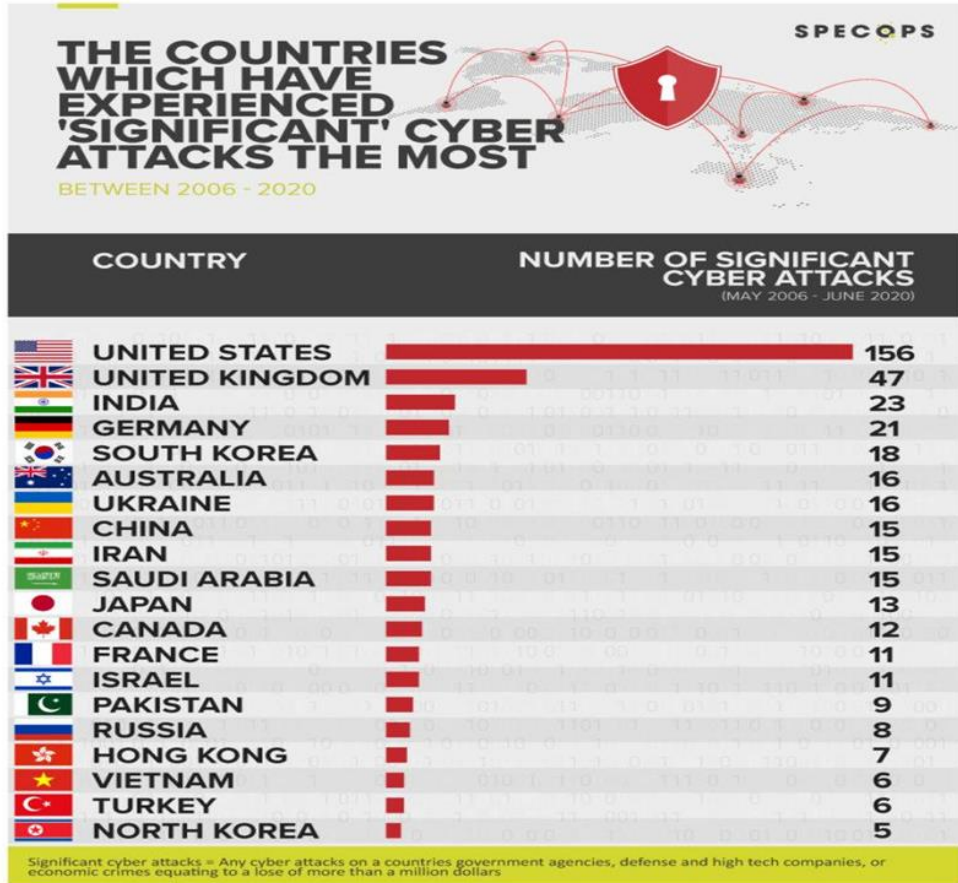


Figure 2: Significant Cyber Attacks Per Country 2006-2020

Methods:

The aim of this paper is to conduct a comparative study, identify and describe the relationship between employees' security awareness and practices at home and in the workplace.

A total of 202 questionnaires were collected from participants in Nalut city, situated at the western end of the Nafusa Mountains in Libya. The survey employed a three-point Likert scale, with responses categorized as "1 = No, 2 = Not Sure, and 3 = Yes."

The questionnaire was divided into three sections:

1. Section 1 gathered demographic information from the respondents.
2. Section 2 focused on acquiring insights into their security awareness and practices, both at home and in the workplace, with questions designed to gauge the level of information security awareness and practice.

3. Section 3 sought to gather information concerning the factors influencing information security awareness and practices in both home and workplace environments.

4. Findings:

The data were analyzed using SPSS version 29 (Bennett et al., 2022). The analysis included descriptive statistics and correlation tests to identify key factors influencing information security awareness and practices among users at home and the workplace in the Nalut area.

4.1 Demographic information:

The table below presents the distribution of demographic information including gender, age group and education.

Table 1: Frequencies of demographic information

Demographic factor		Frequency	Percent
Gender	Male	89	44.1%
	Female	113	55.9%
Age Group	Below20	3	1.5%
	20-24	18	24.3%
	25-29	49	34.7%
	30-34	70	33%
	35-39	29	14.4%
	40 and above	33	16.3%
Education Level	Certificate	24	11.9%
	Diploma	70	34.7%
	Bachelor	60	29.7%
	Master	43	21.3%
	PhD	5	2.5%

4.2 Descriptive Analysis:

4.2.1 Security Awareness

The results of the descriptive statistics for each item of security awareness at home and the workplace are presented in Table 2.

Table 2: Descriptive Statistics for Security Awareness at Home and Work Environments

Items	Home		Workplace	
	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%
I am aware with the vulnerabilities associated with sharing devices.	2.65	2.65 ±0.0923 (±3.5%)	2.62	2.62 ±0.0952 (±3.6%)
I am aware with the encryption that can prevent unauthorised	2.50	2.50 ±0.103 (±4.1%)	2.50	2.50 ±0.103 (±4.1%)

access to confidential information.				
I am aware that it is important to back up my files.	2.67	2.67 ±0.0894 (±3.3%)	2.64	2.64 ±0.0946 (±3.6%)
I am aware that information security is necessary to protect my information.	2.80	2.80 ±0.0678 (±2.4%)	2.75	2.75 ±0.0792 (±2.9%)
I am aware with virus protection software that requires frequent updates.	2.73	2.73 ±0.0800 (±2.9%)	2.81	2.81 ±0.0641 (±2.3%)

Participants were asked about their security awareness at home and workplace using a Likert scale with "1 = No, 2 = Not Sure, and 3 = Yes". The results revealed an overall mean of 2.67 for home and overall mean of 2.66 for workplace. The statement with the highest mean at home was "I am aware that information security is necessary to protect my information" with a mean of 2.80 and Confidence Interval for Confidence level 95% 2.80 ±0.0678 (±2.4%). while in workplace was "I am aware with virus protection software that requires frequent updates" with a mean of 2.81 and Confidence Interval for Confidence level 95% 2.81 ±0.0641 (±2.3%). On the other hand, the statement with the lowest mean was for both environments "They were aware of encryption that can prevent unauthorized access to confidential information" with a mean of 2.50 and Confidence Interval for Confidence level 95% 2.50 ±0.103 (±4.1%).

4.2.2 Security Practice

The results of descriptive statistics to each item of security practice at home and the workplace are presented in table 3.

Table 3: Descriptive Statistics for Security Practice at Home and Work Environments

Items	Home		Workplace	
	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%
I log off my computer whenever I leave it.	2.72	2.72 ±0.0905 (±3.3%)	2.67	2.67 ±0.0895 (±3.4%)
I regularly backup my data.	2.51	2.51 ±0.105 (±4.2%)	2.51	2.51 ±0.106 (±4.2%)
I do not download or install unauthorized copies of software.	2.63	2.63 ±0.0885 (±3.4%)	2.59	2.59 ±0.0946 (±3.7%)
I make sure the antivirus software is enabled and updated.	2.64	2.64 ±0.0914 (±3.5%)	2.58	2.58 ±0.0960 (±3.7%)
I use firewall protection	2.67	2.67 ±0.0883 (±3.3%)	2.62	2.62 ±0.0942 (±3.6%)

Participants were asked about their security practices at home and in the workplace using a Likert scale of "1 = No, 2 = Not Sure, and 3 = Yes." The results revealed an overall mean score of 2.63 for home users and 2.59 for workplace users.

The highest mean score for both environments was observed for the statement: "Participants log off their computer whenever they leave it," with a mean score of 2.72 and a 95% Confidence Interval of 2.72 ± 0.0905 ($\pm 3.3\%$). Conversely, the lowest mean score for both environments was recorded for the statement: "Participants regularly back up their data," with a mean of 2.51 for home users and a 95% Confidence Interval of 2.51 ± 0.105 ($\pm 4.2\%$).

This difference may stem from the perception that data backup is not a critical issue, despite its importance as a policy and procedure for disaster recovery and protecting information systems.

4.2.3 Policy

The results of descriptive statistics to each item for policy at home and workplace are presented in Table 4.

Table 4: Descriptive Statistics for Policy at Home and Work Environments

Items	Home		Workplace	
	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%
Team related to security is needed.	2.55	2.55 ± 0.0953 ($\pm 3.7\%$)	2.69	2.69 ± 0.0832 ($\pm 3.1\%$)
I know who to contact if my computer is hacked or infected.	2.61	2.61 ± 0.0963 ($\pm 3.7\%$)	2.49	2.49 ± 0.105 ($\pm 4.2\%$)
My computer is configured to automatically update.	2.60	2.60 ± 0.0914 ($\pm 3.5\%$)	2.54	2.54 ± 0.0964 ($\pm 3.8\%$)
I have policies on which websites I am allowed to visit.	2.26	2.26 ± 0.118 ($\pm 5.2\%$)	2.59	2.59 ± 0.0996 ($\pm 3.8\%$)
There are guidelines regarding information security that I can refer to.	2.27	2.27 ± 0.117 ($\pm 5.2\%$)	2.56	2.56 ± 0.0961 ($\pm 3.8\%$)

Participants were asked about the policy at home and workplace using a Likert scale of "1 = No, 2 = Not Sure, and 3 = Yes" The results revealed an overall mean of 2.45 for home users and mean of 2.57 for workplace. The highest mean score was obtained for the statement "Knowing who to contact if my computer is hacked or infected" for home users with a mean score of 2.61 and Confidence Interval for Confidence level 95% 2.61 ± 0.0963 ($\pm 3.7\%$), while the highest mean score was obtained for the statement " Team related to security is needed " for workplace with a mean score of 2.69 and Confidence Interval for Confidence level 95% 2.69 ± 0.0832 ($\pm 3.1\%$). On the other hand, the lowest mean score was obtained

for the statement "Having policies regarding the allowed websites to be visited" with a mean score of 2.26 and Confidence Interval for Confidence level 95% 2.26 ± 0.118 ($\pm 5.2\%$) for home users and "I know who to contact if my computer is hacked or infected" with a mean score of 2.49 and Confidence Interval for Confidence level 95% 2.49 ± 0.105 ($\pm 4.2\%$) for workplace.

4.2.4 Behavior factor

The results of the descriptive statistics to each item of the behavior factor at home and the workplace presented in table 5.

Table 5: Descriptive Statistics for Behavior at Home and Work Environments

Items	Home		Workplace	
	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%
I'll make sure that when I delete a file from the computer or USB stick, that the information is totally removed.	2.65	2.65 ± 0.0889 ($\pm 3.4\%$)	2.70	2.70 ± 0.0851 ($\pm 3.2\%$)
I feel that my PC is safe.	2.50	2.50 ± 0.0965 ($\pm 3.9\%$)	2.50	2.50 ± 0.0975 ($\pm 3.9\%$)
I often take information from the office and use a computer at home to work on it.	2.52	2.52 ± 0.103 ($\pm 4.1\%$)	2.50	2.50 ± 0.104 ($\pm 4.2\%$)
I do not share my password.	2.56	2.56 ± 0.0971 ($\pm 3.8\%$)	2.59	2.59 ± 0.0936 ($\pm 3.6\%$)
I use the same password both for work and home accounts.	2.48	2.48 ± 0.107 ($\pm 4.3\%$)	2.51	2.51 ± 0.103 ($\pm 4.1\%$)

Participants were asked about behavior factors at home and in the workplace using a Likert scale of "1 = No, 2 = Not Sure, and 3 = Yes." The results revealed an overall mean score of 2.54 for home users and 2.56 for workplace users.

The highest mean score was recorded for the statement: "I'll make sure that when I delete a file from the computer or USB stick, the information is totally removed." Home users had a mean score of 2.65, with a 95% Confidence Interval of 2.65 ± 0.0889 ($\pm 3.4\%$), while workplace users scored slightly higher with a mean of 2.70 and a 95% Confidence Interval of 2.70 ± 0.0851 ($\pm 3.2\%$).

Conversely, the lowest mean score for home users was observed for the statement: "I use the same password both for work and home accounts," with a mean of 2.48 and a 95% Confidence Interval of 2.48 ± 0.107 ($\pm 4.3\%$). For workplace users, the lowest mean scores were tied between the statements: "I feel that my PC is safe" and "I often take information from the office and

use a computer at home to work on it," both with a mean of 2.50 and a 95% Confidence Interval of 2.50 ± 0.0975 ($\pm 3.9\%$).

4.2.5 Knowledge of IT

The results of descriptive statistics to each item of knowledge of IT at home and workplace are presented in Table 6.

Table 6: Descriptive Statistics for Knowledge of IT Factor at Home and Work Environments

Items	Home		Workplace	
	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%
I have installed, updated, and enabled, antivirus software on my computer.	2.63	2.63 ± 0.0958 ($\pm 3.6\%$)	2.62	2.62 ± 0.0969 ($\pm 3.7\%$)
I know what the risk is when opening e-mails from unknown senders; especially if there is an attachment.	2.61	2.61 ± 0.0943 ($\pm 3.6\%$)	2.56	2.56 ± 0.0952 ($\pm 3.7\%$)
I know what an email scam is and how to identify it.	2.45	2.54 ± 0.100 ($\pm 3.9\%$)	2.46	2.46 ± 0.107 ($\pm 4.4\%$)
I know how to use antivirus software and how to scan for viruses.	2.57	2.57 ± 0.101 ($\pm 3.9\%$)	2.62	2.62 ± 0.0979 ($\pm 3.7\%$)

Participants were asked about their knowledge of IT at home and workplace using a three-point Likert scale of "1 = No, 2 = Not Sure, and 3 = Yes". The results revealed an overall mean of 2.56 for home users and overall mean of 2.56 for workplace. The highest mean score of 2.63 and Confidence Interval for Confidence level 95% 2.63 ± 0.0958 ($\pm 3.6\%$) for home users was obtained for statements: "Having installed, updated, or enabled antivirus software on their computers" and the highest mean score of 2.62 and Confidence Interval for Confidence level 95% 2.62 ± 0.0979 ($\pm 3.7\%$) two statements for workplace "I have installed, updated, and enabled, antivirus software on my computer" and "I know how to use antivirus software and how to scan for viruses" On the other hand, the lowest mean score was obtained from the statement for both "Knowledge about what an email scam is and how to identify it" with a mean score of 2.45 with Confidence Interval for Confidence level 95% 2.54 ± 0.100 ($\pm 3.9\%$) and 2.46 with Confidence Interval for Confidence level 95% 2.46 ± 0.107 ($\pm 4.4\%$). This may be attributed to the fact that participants are not familiar with the threats posed by email scams.

4.2.6 Education

The results of descriptive statistics to each item of education at home and workplace are presented in table 7.

Table 7: Descriptive Statistics for Education at Home and Work Environments

Items	Home		Workplace	
	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%	Mean	Confidence Interval for Confidence level 95%
I know what social engineering (phishing) attack is.	2.50	2.50 ±0.108 (±4.3%)	2.52	2.52 ±0.109 (±4.3%)
I know what to do if my computer is infected with a virus.	2.56	2.56 ±0.0961 (±3.8%)	2.52	2.52 ±0.0994 (±3.9%)
I never found a virus or a Trojan on my computer.	2.49	2.49 ±0.104 (±4.2%)	2.51	2.51 ±0.100 (±4.0%)
My computer has no value to hackers, they do not target me.	2.47	2.47 ±0.105 (±4.2%)	2.44	2.44 ±0.106 (±4.3%)
I always download and install software on my computer.	2.64	2.64 ±0.0884 (±3.3%)	2.63	2.63 ±0.0906 (±3.4%)

Respondents were asked about their education at home using a three-point Likert scale of "1 = No, 2 = Not Sure, and 3 = Yes". The results revealed an overall mean of 2.49 for home users and a mean of 2.63 for workplace. The highest mean was obtained for the statement "Users always download and install software on their computers" with a mean score of 2.64 with Confidence Interval for Confidence level 95% 2.64 ±0.0884 (±3.3%). The lowest mean for both was obtained for the statement "My computer has no value to hackers; they do not target me " with a mean score of 2.47 for home with Confidence Interval for Confidence level 95% 2.47 ±0.105 (±4.2%) and mean 2.44 with Confidence Interval for Confidence level 95% 2.44 ±0.106 (±4.3%) for workplace. This may be attributed to the fact that users think that only computers with high values are hacked and targeted.

4.3 Correlation Analysis

Pearson correlation analysis was used to explore the relationships between the independent variables (policy, behavior, knowledge of technology, and education) and the dependent variables (security awareness and security practice) in both home and workplace settings. Correlation analysis is a statistical method used to describe the strength and direction of the linear relationship between two variables (Mukaka, 2012). The degree of

correlation measures the strength and significance of the relationship between the variables.

This analysis was conducted by performing a bivariate association and calculating the Pearson correlation coefficient, including significance levels. The Pearson correlation coefficient ranges from -1 to 1, where -1 indicates a strong negative correlation, 0 indicates no correlation, and 1 indicates a strong positive correlation. Burn (2000) provides guidelines for interpreting the strength of these relationships (r), as summarized in Table 8.

Table 8: Burn Guideline of Correlation Strength

Absolute Value of Correlation Coefficient	Remarks on Correlation (rho)	Nature of Relationship
0.90 - 1.00	Very high correlation	Very strong relationship
0.70 - 0.90	High correlation	Marked relationship
0.40 - 0.70	Moderate correlation	Substantial relationship
0.20 - 0.40	Low correlation	Weak relationship
Less than 0.20	Slight correlation	Relationship so small as to be negligible

Source: Burn (2000)

4.3.1 Independent Variables and Security Awareness at Home and the Workplace

Table 9 represents an outline of the relationships between the independent variables (policy, behavior, education and knowledge of technology) and the dependent variable (security awareness) in home and workplace. In general, the results revealed that there is a moderate positive relationship between policy, education, knowledge of IT except behavior has a low positive relationship and the correlation value were ($R = .393^{**}$)

Table 9: Summary of correlations of variables Policy, Behavior, Education, Knowledge of IT and Security Awareness at Home and the Workplace (Dependent variable) of the study model

Independent variables	Home		Workplace	
	Correlation coefficient	Strength of relationship	Correlation coefficient	Strength of relationship
Policy	.403**	Moderate	.650**	Moderate
Behavior	.393**	low	.639**	Moderate
Education	.526**	Moderate	.605**	Moderate
Knowledge of IT	.518**	Moderate	.566**	Moderate

* Correlation is significant at 0.01 level (2-tailed)

4.3.2 Independent variables and Security Practice at Home

Table 10 represents an outline of the relationships between the independent variables (policy, behavior, education and knowledge of technology) and the dependent variable (security practice) at home and workplace. The results showed that there are significant moderate

relationships between policy, behavior, education and knowledge of IT with security practice at home.

Table 10: Summary of Correlations of Variables Policy, Behavior, Education, Knowledge of IT and Security Practice at Home and Workplace (Dependent variable) of the study model

Independent variables	Home		Workplace	
	Correlation coefficient	Strength of relationship	Correlation coefficient	Strength of relationship
Policy	.430**	Moderate	.616**	Moderate
Behavior	.472**	Moderate	.601**	Moderate
Education	.602**	Moderate	.569**	Moderate
Knowledge of IT	.541**	Moderate	.532**	Moderate

* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

To enhance information security awareness in both home and workplace environments, users must be continuously developed through security awareness campaigns and training programs. These initiatives aim to elevate the level of awareness and improve security practices. As a result, employees will not only adopt proper security behaviors at home but also expand their IT knowledge.

Conclusion

Technology users need to enhance their information security awareness and practices to recognize the importance of adopting good security habits in their daily activities. This study reviewed existing knowledge on security awareness and practices at home and in the workplace, focusing on four key factors: policy, behavior, IT knowledge, and education. A survey instrument was designed to assess perceptions of these independent variables and their relationship with the dependent variable.

The findings revealed that all factors—policy, behavior, education, and IT knowledge—showed moderate positive associations with security awareness and practices in both home and workplace settings. However, behavior demonstrated only a low positive correlation with security awareness at home. Overall, participants exhibited a moderate level of security awareness and practices in both environments.

It is recommended that users further enhance their knowledge and adoption of security practices, both at home and in the workplace.

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

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

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

Declaration for Human Participants: This study followed the Ministry of Higher Education in Libya and its Guidelines for Research Ethics Involving Human Subjects. The study was approved by the Faculty of Education at Nalut University, Libya.

References:

1. Albrechtsen, E. 2007. A qualitative study of users' view on information security, *Computers & Security*, Volume 26, Issue 4, Pages 276-289.
2. Alyami, A., Sammon, D., Neville, K. and Mahony, C., 2024. Critical success factors for Security Education, Training and Awareness (SETA) programme effectiveness: an empirical comparison of practitioner perspectives. *Information & Computer Security*, 32(1), pp.53-73.
3. Asker, H., and Tamtam, A. 2020. An investigate of the information security awareness and practice level among third level education staff, case study in Nalut Libya. *European Scientific Journal*. Vol. 16. No. 15. pp. 20- 33
4. Asker, H., and Tamtam, A. 2023. Knowledge of Information Security Awareness and Practices for Home Users: Case Study in Libya. *European Scientific Journal*. Vol. 19. No. 15. P. 238
5. Bada, M., and Sasse, A. 2014. Cyber security awareness campaigns: Why do they fail to change behaviour? Global Cyber Security Capacity Centre, University of Oxford: Oxford, UK
6. Bennett, K., Heritage, B. and Allen, P., 2022. *SPSS Statistics: A Practical Guide 5e*. Cengage AU.
7. Bulgurcu, B., Cavusoglu, H. and Benbasat, I., 2010. Information security policy compliance: an empirical study of rationality-based beliefs and information security awareness". *MIS quarterly*, pp.523-548.
8. Burn, R.B., 2000. Introduction to research method. Australia: Longman
9. Edwards, k. 2015. Examining Security Awareness, Information Privacy, and the Security Behaviors of Home Computer Users. *Thesis Degree of Doctor of Philosophy*, College of Engineering and Computing Nova Southeastern University.
10. Gharaibeh, N. and Zanoon, N. 2013. The impact of customer knowledge on the security of e-banking. *International Journal of Computer Science and Security (IJCSS)*, 7(2), p.81.

11. Grant, G. J. 2010. Ascertaining the relationship between security awareness and the security behavior of individuals. Nova Southeastern University. Retrieved from ProQuest Dissertations and Theses, UMI Number: 3423144
12. Guo, K.H. 2013. Security-related behavior in using information systems in the workplace: A review and synthesis. *Computers & Security*, Vol. 32, pp 242-251.
13. Hammarstrand, J. and Fu, T., 2015. Information security awareness and behaviour: of trained and untrained home users in Sweden.
14. Hentea, M., Dhillon, H.S. and Dhillon, M., 2006. Towards changes in information security education. *Journal of Information Technology Education: Research*, 5(1), pp.221-233.
15. Hight, S. D. 2005. The importance of security, education, training and awareness program. November 2005. Retrieved on 10 March 2022 from: http://www.infosecwriters.com/text_resources/pdf/SETA_SHight.pdf.
16. Jaeger, L. 2018. Information security awareness: literature review and integrative framework. In *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*
17. Quagliata, K. 2010. Impact of Security Awareness Training Components on Security Effectiveness". Research Findings Federal Information Systems Security Educators' Association (FISSEA) Annual Conference National Institute of Standards and Technology.
18. Kemper, G. 2019 Improving employees' cyber security awareness, *Computer Fraud & Security*. Volume 2019, Issue 8, Pages 11-14.
19. Khando, K. Shang, G. Sirajul, M. I., and Ali, S., 2021. Enhancing employees information security awareness in private and public organisations: A systematic literature review. *Computers & Security*, Volume 106, 102267, ISSN 0167-404
20. Kruger, H.A., Kearney, W.D., 2007. A prototype for assessing information security awareness. *Computers & Security*, Volume 25, Issue 4, Pages 289-296.
21. Lim, J.S., Chang, S., Maynard, S. and Ahmad, A. 2009. Exploring the relationships between organizational culture and information security culture". In – 7th Australian Information Security Management Conference. Australia.
22. Mamonov, S. and Benbunan-Fich, R. 2018. The Impact of Information Security Threat Awareness on Privacy-Protective Behaviors. *Computers in Human Behavior*. 83, 32-44. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.01.02>
23. Metalidou, Efthymia & Marinagi, Catherine & Trivellas, Panagiotis & Eberhagen, Niclas & Skourlas, Christos & Giannakopoulos, Georgios.

2014. The Human Factor of Information Security: Unintentional Damage Perspective. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 147. 10.1016/j.sbspro.2014.07.133.
24. Mukaka M. M. 2012. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi medical journal : the journal of Medical Association of Malawi*, 24(3), 69–71
25. Specops company 2020. Which Country Has the Highest Number of Significant Cyber-Attacks. Retrieved on 10 March 2022 from: <https://specopssoft.com/blog/countries-experiencing-significant-cyber-attacks/>
26. Schultz, E. 2004. Security Training and Awareness Fitting a Square peg in a Round Hole. *Computers & Security*, 23 (1), pp. 1-2.
27. Talib, S., Clarke, N. L., & Furnell, S. M. 2012. Establishing A Personalized Information Security Culture. *International Journal of Mobile Computing and Multimedia Communications (IJMCMC)*, 3(1), pp. 63-79.
28. Talib, S., Clarke, N. L., and Furnell, S. M. 2010. An analysis of information security awareness within home and work environments. In *Availability, Reliability, and Security, 2010. ARES'10 International Conference on* (pp. 196-203). IEEE
29. Tsohou, A., Karyda, M., Kokolakis, S., and Kiountouzis, E. 2010. Analyzing information security awareness through networks of association. In *Trust, Privacy and Security in Digital Business* (pp. 227-237). Springer Berlin Heidelberg.
30. Von Solms, R, and Von Solms S.H. (Basie), 2006. Information security governance: Due care. *Computers & Security*, Volume 25, Issue 7, Pages 494-497.

El potencial terapéutico del Sistema Endocannabinoide en el tratamiento del acné: revisión sistemática

Luis Aldo Zatarain-López, estudiante

Uriel Ulises Rodríguez-Mejía, PhD

Dalia Samanta Aguilar-Ávila, PhD

Nicte Selene Fajardo Robledo, PhD

Departamento de Farmacobiología, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, México

Edgardo Flores-Torales, PhD

Departamento de Biología Celular y Molecular, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, México

Paola Trinidad Villalobos-Gutiérrez, PhD

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Vida, Centro Universitario de los Lagos, Universidad de Guadalajara, México

Juan Manuel Viveros-Paredes, PhD

Departamento de Farmacobiología, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, México

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p19](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p19)

Submitted: 30 October 2024

Accepted: 22 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Zatarain-López L.A., Rodríguez-Mejía U.U., Aguilar-Ávila D.S., Fajardo Robledo N.S., Flores-Torales E., Villalobos-Gutiérrez P.T. & Viveros-Paredes J.M. (2024). *El potencial terapéutico del Sistema Endocannabinoide en el tratamiento del acné: revisión sistemática*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 19. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p19>

Resumen

El acné es una afección compleja que afecta a millones de personas en todo el mundo, está constituida por unidades pilosebáceas de la piel y aparece tanto en forma inflamatoria como no inflamatoria. Dada su naturaleza multifactorial, el tratamiento del acné a menudo implica una variedad de terapias integrales, que pueden aumentar los costos. **Objetivo:** realizar una investigación teórica sobre la fisiopatología del acné y sus características para enfocar dicho conocimiento en el establecimiento de nuevas dianas terapéuticas como el sistema endocannabinoide que mejore el entendimiento para el desarrollo potencial de tratamientos más efectivos contra este

padecimiento. **Métodos.** Se utilizaron plataformas para la búsqueda de la información, considerando algunas palabras clave como: "Endocannabinoid System", "sebaceous glands" and "acne vulgaris". **Resultados:** Se encontraron alrededor de 3,242 artículos, en el buscador de PubMed, "*Acne vulgaris*" (1,588), "Endocannabinoid System" (812), "sebaceous glands" (842). En el Google scholar, se encontraron alrededor de 199,000, 93,800 y 135,000 artículos respectivamente. Los principales hallazgos mencionan que entre los años 1990 – 2022, los estudios epidemiológicos en Europa y Reino Unido mostraron prevalencia de la cepa *Cutibacterium acnes* resistente a distintos antibióticos como la eritromicina y clindamicina, siendo los sebocitos, queranocitos cutáneas y mastocitos, las células que presentan componentes del sistema endocannabinoide; reportándose algunos cannabinoides con efecto sobre la lipogénesis de éstas células. **Conclusión:** El sistema endocannabinoide se considera una diana terapéutica potencial para el tratamiento del acné debido a que las glándulas sebáceas muestran relación con este sistema, presentando efectos antiinflamatorios y antiproliferativos sobre células dérmicas.

Palabras clave: *Acné vulgar*, terapéutica, glándulas sebáceas, endocannabinoides, cannabinoides

The therapeutic potential of the Endocannabinoid System in acne treatment: systematic review

Luis Aldo Zatarain-López, estudiante
Uriel Ulises Rodríguez-Mejía, PhD
Dalia Samanta Aguilar-Ávila, PhD
Nicte Selene Fajardo Robledo, PhD

Departamento de Farmacobiología, Centro Universitario de Ciencias Exactas
e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, México

Edgardo Flores-Torales, PhD

Departamento de Biología Celular y Molecular, Centro Universitario de
Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, México

Paola Trinidad Villalobos-Gutiérrez, PhD

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Vida, Centro Universitario de
los Lagos, Universidad de Guadalajara, México

Juan Manuel Viveros-Paredes, PhD

Departamento de Farmacobiología, Centro Universitario de Ciencias Exactas
e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, México

Abstract

Millions of people worldwide suffer from acne, a complicated disorder that can be either inflammatory or non-inflammatory and affects the skin's pilosebaceous units. Because acne is complex, treating it frequently entails using a range of integrative therapies, which might raise expenses. **Aim:** To conduct theoretical research on acne pathophysiology and its features to concentrate that knowledge on identifying novel therapeutic targets, such as the endocannabinoid system, which advances our understanding of the condition and may lead to the creation of more potent treatments. **Methods:** Information was found using platforms that took into account keywords like "Endocannabinoid System," "sebaceous glands", and "acne vulgaris". **Findings:** The PubMed search engine yielded about 3,242 articles about "Acne vulgaris" (1,588), "Endocannabinoid System" (812), and "sebaceous glands" (842). Google Scholar yielded about 199,000, 93,800, and 135,000 articles, respectively. The main findings mention that between the years 1990 - 2022, epidemiological studies in Europe and the United Kingdom showed the prevalence of *Cutibacterium acnes* strain resistant to different antibiotics such as erythromycin and clindamycin, with sebocytes, skin keranocytes and mast cells being the cells that present components of the endocannabinoid system. Therefore, some cannabinoids have been reported to affect the lipogenesis of these cells. **Conclusion:** Because of its association with the sebaceous glands and its anti-inflammatory and antiproliferative effects on

dermal cells, the endocannabinoid system is thought to be a promising therapeutic target for acne treatment.

Keywords: *Acne Vulgaris*, therapeutics, sebaceous glands, endocannabinoids, cannabinoids

Introduction

El acné es una enfermedad que afecta en mayor medida a la población adolescente o joven (entre los 12 y los 24 años) y es capaz de tener graves repercusiones sobre el desarrollo personal de quienes lo padecen. A nivel mundial las cifras arrojan un pico de prevalencia del 85.00 %. En México, las estadísticas muestran que el acné representa un 43.20 % de las consultas dermatológicas a nivel de institución de salud pública y un 59.24 % de las consultas privadas. Sin embargo, el padecimiento también se puede presentar en la edad adulta de manera aislada. Estudios epidemiológicos realizados en países occidentales respecto a la prevalencia del acné clínico, muestran que este padecimiento es más común entre los 18 a 23 años en hombres que en mujeres y que a partir de los 23 años la situación se revierte, presentando mayor prevalencia en mujeres para este grupo de edad (Litardo, 2018; Addor & Schalka, 2010).

Al ser el acné una condición frecuente en la adolescencia, esta etapa es considerada como una de las más críticas de la vida. Al sufrir este problema dermatológico se puede generar un impacto en la percepción corporal, el desarrollo psicológico, social y emocional de un individuo, ya que al ser un periodo en el que se experimenta una fase de transición dentro del ciclo vital humano y al presentarse procesos trascendentales como la conformación de la identidad, la búsqueda de la independencia, cambios físicos, psicológicos y emocionales, puede tener consecuencias importantes en el desarrollo hacia la edad adulta. La razón principal de este impacto, es debido al hecho de que es una condición física que compromete la apariencia del paciente afectado, provocando lesiones antiestéticas en zonas de la piel muy visibles y ligadas a la interacción social convencional (como el rostro). Al ser la piel uno de los órganos sobre los cuales se han construido imágenes culturales muy arraigadas que generan presiones sociales respecto a la apariencia de esta, genera en quienes padecen esta enfermedad que se vean expuestos a sufrir de un estigma a nivel social por su apariencia física, además vuelve al individuo más susceptible a ser víctima de acoso escolar y de diferentes tipos de violencia por parte de sus pares (Addor & Schalka, 2010), desencadenando un posible comportamiento ansiogénico e incluso depresivo que conlleve a pensamientos suicidas. Esto, debido a la posible marginación e inhibición social, inseguridad, así como sentimientos de ira o tristeza.

Las repercusiones también llegan a abarcar el ámbito académico y profesional debido a que las condiciones psicológicas antes mencionadas conducen a alteraciones conductuales y emocionales que afectan de forma negativa a los procesos de aprendizaje; dificultando el desarrollo de habilidades sociales que son vitales para el aprovechamiento escolar y la trayectoria profesional (Litardo, 2018).

Por esta razón, el conocimiento de nuevas dianas terapéuticas como el Sistema Endocannabinoide, resulta esencial contextualizarla para desarrollar tratamientos más efectivos que no solo aborden los síntomas físicos, sino que también mitiguen los impactos psicológicos y sociales enfocados a mejorar los efectos adversos relacionados con la fisiopatología del acné.

Metodología

Se realizó una revisión de distintas plataformas de artículos científicos entre ellos: PubMed, Google Académico y Scielo. Las palabras clave utilizadas para esta revisión fueron: "*Acne vulgaris*", "Endocannabinoid System", "sebaceous glands". Utilizando como criterios de inclusión a todo aquello que estuviera vinculado con los sebocitos y las glándulas sebáceas y estableciendo como criterios de exclusión a términos generales como: enfermedades de piel, psoriasis y terapias convencionales.

Resultados

La cantidad de artículos encontrados mediante los buscadores y palabras clave propuestas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Cantidad de artículo encontrados en cada buscador mediante el uso de las palabras clave propuestas

<i>Palabras clave</i>	<i>Buscadores</i>		
	PubMed	Google Scholar	Scielo
<i>Acne vulgaris</i>	1,588	199,000	95
Endocannabinoid System	812	93,800	75
Sebaceous glands	842	135,000	44

Fisiopatología del acné

El acné es un padecimiento multifactorial de las unidades pilosebáceas que resulta del incremento en la producción de sebo por parte de las glándulas sebáceas presentes en la piel, manifestándose regularmente en regiones con mayor presencia de éstas, como son las áreas de la cara, el cuello, el tórax, la espalda y los hombros (Stewart & Bazergy, 2018; Williams et al., 2012).

Para comprender adecuadamente la fisiopatología del acné y los posibles mecanismos de acción que se pueden aprovechar para el tratamiento

farmacológico de este padecimiento, primero se debe comprender como está estructurado el órgano de la piel y qué tipos celulares la conforman.

La piel está conformada por tres capas: **la epidermis** que deriva del ectodermo, considerada como la capa más superficial, que está constituida por un epitelio estratificado plano queratinizado que se encuentra en continuo crecimiento pero su grosor permanece constante debido al proceso de descamación, su función principal es servir como una barrera de protección frente a agentes externos; por debajo de esta capa se encuentra **la dermis** que deriva del mesodermo y se conforma por tejido conectivo denso que brinda sostén mecánico, resistencia y espesor a la piel; por último se encuentra **la hipodermis** que es la capa más profunda y contiene tejido adiposo organizado en lóbulos que se separan entre sí por tabiques de tejido conectivo (Grice et al., 2008).

En la región de la epidermis se encuentran los llamados derivados epidérmicos de la piel (también llamados anexos cutáneos) entre los que se localizan los folículos pilosos, el pelo y las glándulas sebáceas (que en conjunto conforman las unidades pilosebáceas antes mencionadas), además de las uñas y las glándulas sudoríparas (las cuales son apocrinas cuando se encuentran asociadas a la unidad pilosebácea y ecrinas cuando se distribuyen de forma libre al no asociarse con estas unidades) (Grice et al., 2008) (Figura 1).

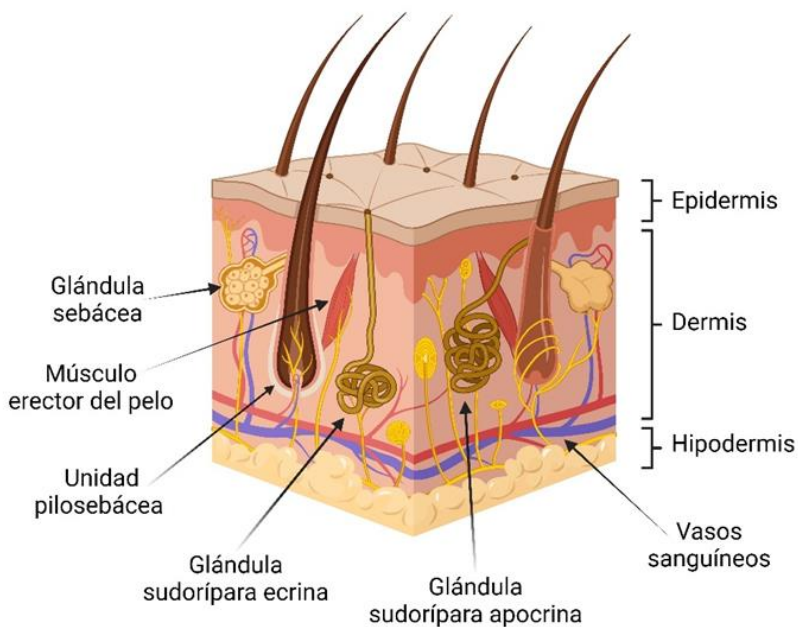


Figura 1: Estructura anatómica de la piel y sus componentes. Destacando las tres capas, epidermis, dermis e hipodermis, así como las glándulas presentes en piel

Las glándulas sebáceas se originan como brotes de la vaina radicular externa del folículo piloso y generalmente hay varias glándulas por folículo. Las células que componen a las glándulas sebáceas se denominan sebocitos y sintetizan una sustancia oleosa que secretan de forma holocrina denominada sebo. Los sebocitos aumentan la cantidad de retículo endoplasmático liso que contienen y comienza a sintetizar gran cantidad de lípidos que se van acumulando y reemplazando al citoplasma de las células, lo que conduce a la apoptosis de estas. Finalmente, el producto de secreción rico en lípidos y los detritos celulares de los sebocitos son eliminados desde la glándula sebácea hacia el infundíbulo del folículo piloso que en conjunto con el conducto corto de la glándula sebácea conforman el conducto pilosebáceo (Grice et al., 2008). Para comprender la patología el acné se clasifica en diferentes tipos de acuerdo con distintos criterios.

Desde el punto de vista del sistema inmune, se considera que existen dos tipos de acné: el *acné inflamatorio* y el *no inflamatorio*. En ambos tipos de acné, se produce un bloqueo de la unidad pilosebácea que conduce a la acumulación de secreciones en la misma. En el caso del acné no inflamatorio, la unidad pilosebácea se dilata de forma progresiva por la acumulación de secreciones, pero dicha unidad no llega a romperse. En el acné de tipo inflamatorio además de la obstrucción de la unidad pilosebácea, se da una proliferación bacteriana que conduce a la inflamación y a la posible ruptura de la unidad (Zaenglein et al., 2016).

También se puede clasificar al acné de acuerdo con el tipo de lesión con el que se presenta; entre los cuáles está el tipo comedonal, papulo-pustular, nodular y conglobata (Figura 2). El acné *comedonal* consiste en el desarrollo de lesiones no inflamatorias abiertas (puntos negros) o cerradas (puntos blancos) que como antes se mencionó no implican la ruptura de la unidad pilosebácea; por otro lado, en el acné *papulo-pustular* se presentan lesiones de tipo inflamatorio que incluyen pápulas y pústulas desarrolladas por la ruptura de la unidad pilosebácea y el crecimiento microbiano que se caracteriza por un infiltrado principalmente de neutrófilos, acompañándose generalmente por enrojecimiento e inflamación de la piel. El acné *nodular* se considera una de las formas más severas y produce lesiones inflamatorias profundas con un infiltrado compuesto principalmente por linfocitos y macrófagos, generan lesiones de gran tamaño, de forma redondeada y presentan enrojecimiento, además éstas no tienen una excreción espontánea de su contenido, por lo que son más propensas a generar cicatrices. Por último, el acné *conglobata* es una forma inusual y muy severa, se caracteriza por abscesos interconectados y cicatrices irregulares con un foco inflamatorio crónico acompañado de infección en las regiones foliculares y perifoliculares del cuerpo (Williams et al., 2012).

Los microorganismos que colonizan la unidad pilosebácea secretan enzimas como las lipasas que degradan los lípidos del sebo producido generando ácidos grasos libres que inducen la inflamación dando la consecuente formación de comedones ya sea abiertos o cerrados que pueden romperse y favorecer una respuesta a cuerpo extraño que a su vez provoca la formación de pápulas, nódulos o pústulas, cuya rotura e inflamación puede conducir a la cicatrización (Williams et al., 2012).

En general, los factores que desencadenan el desarrollo de la patología consisten en una excesiva producción de sebo en las glándulas sebáceas, cambios en la composición lipídica de este sebo, hiperqueratinización folicular, alteraciones en la microbiota de la piel (principalmente por la proliferación de *Cutibacterium acnes* así como una disfunción de la respuesta inmune innata y adaptativa (Dessinioti et al., 2022).

Las moléculas que están involucradas en los procesos fisiopatológicos del acné son aquellas que estimulan la producción de sebo como lo son los esteroides sexuales entre los cuales se encuentra la testosterona, el estradiol y la progesterona así como los precursores involucrados en su biosíntesis como la deshidroepiandrosterona (DHEA), la pregnenolona y el colesterol además de los glucocorticoides; el Factor de Crecimiento Similar a la Insulina Tipo 1 (IGF-1); los Receptores del Factor de Crecimiento Epidérmico (EGFR); las perilipinas y el Receptor γ Activado por el Proliferador del Peroxisoma (PPAR- γ). Por su parte en la diferenciación y proliferación de sebocitos se involucran lipoperóxidos, ácidos grasos monoinsaturados (MUFAs), sustancia P, la Hormona Liberadora de Corticotropina (CRH), la Hormona Estimuladora de Melanocitos α (α -MSH), el Polipéptido Vasoactivo Intestinal (VIP), el neuropéptido γ , la β -endorfina IGF-1 y los anteriormente mencionados esteroides sexuales. Por último, los argumentos moleculares involucrados con el estado inflamatorio que se presenta en el acné constan del Factor de Necrosis Tumoral (TNF), interleucinas proinflamatorias, β -defensina, prostaglandinas, metaloproteinasas de la matriz extracelular (MMP), la granulicina, bacteriósidos, leucotrienos, lipopolisacárido (proveniente de *Cutibacterium acnes*), el Factor Nuclear κ B (NF- κ B) y las antes mencionadas CRH, α -MSH, VIP, neuropéptido γ y β -endorfina (Dessinioti & Katsambas, 2022; Moradi et al., 2015).

El acné también puede clasificarse de acuerdo con su severidad. Se considera acné *leve* cuando se presenta un número menor a 20 lesiones no inflamatorias (comedones), o menos de 15 lesiones inflamatorias (pápulas y pústulas) y el número total de lesiones es inferior a 30; acné *moderado* cuando se presentan entre 20 y 100 comedones o entre 15 y 50 lesiones inflamatorias y se tiene un número total de lesiones de entre 30 y 125; y acné *severo* cuando se observan más de 5 nódulos inflamatorios, más de 50 lesiones inflamatorias o cuando el número total de lesiones es mayor a 125 (Williams et al., 2012).

Entre los factores que dan origen a la obstrucción de la unidad pilosebácea, se encuentra el hecho de que se induce el crecimiento de la glándula sebácea, también existe un aumento en la secreción de sebo, así como queratinización y descamación de las células epiteliales que recubren el interior de la unidad pilosebácea (todo este proceso generalmente es estimulado por los andrógenos). La unidad pilosebácea estimulada se dilata; el sebo y las células queratinizadas que se descaman forman un “tapón” que terminan por obstruir la unidad. Esta obstrucción y el ambiente rico en lípidos generado por la secreción de sebo favorecen la colonización bacteriana por parte de *Cutibacterium acnes* y *Staphylococcus epidermidis* principalmente (Williams et al., 2012).

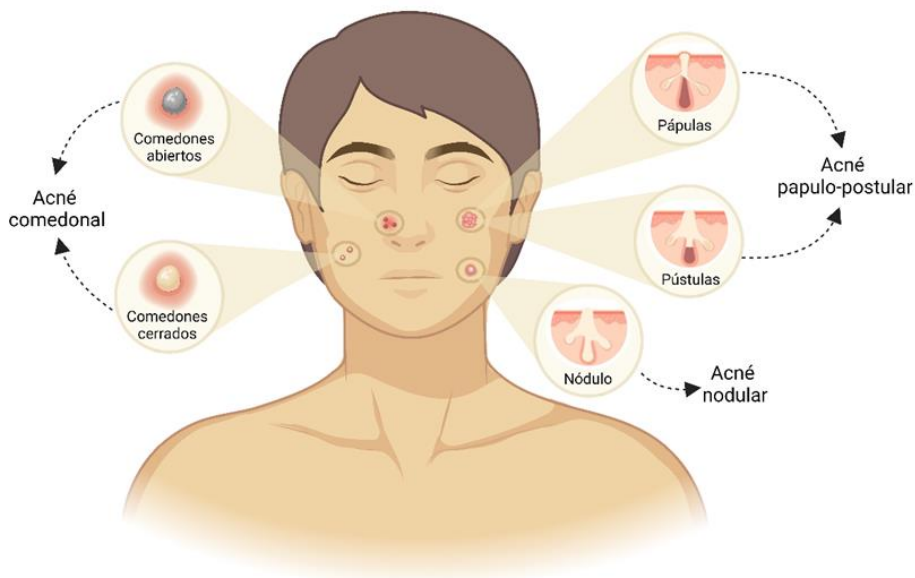


Figura 2: Tipos de acné clasificado con base al tipo de lesiones generadas

La microbiota normal de la piel saludable varía dependiendo de la localización anatómica. En las zonas con mayor cantidad de glándulas sebáceas predominan especies lipofílicas del género *Propionibacterium* mientras que en las zonas donde predominan más las glándulas sudoríparas (como los pies y las axilas) se encuentran principalmente especies de *Staphylococcus* y *Corynebacterium* (Dessinioti & Katsambas, 2010).

La disbiosis (cambios en la composición y diversidad de la microbiota de la piel) se ha relacionado con numerosos padecimientos cutáneos como el acné, eccema y en heridas crónicas. En los pacientes con acné se ha encontrado que existe mayor proliferación de ciertos filotipos de *Cutibacterium acnes* que se consideran promotores de la enfermedad, así como una pérdida en la diversidad de filotipos de *C. acnes* presentes. Las cepas de *Cutibacterium*

acnes que son promotoras de la enfermedad, modulan la diferenciación de los queratinocitos e incrementan la inflamación local, lo que conlleva al desarrollo de lesiones inflamatorias y a la formación inicial de los comedones en las etapas tempranas del acné, además de estar implicadas con la lipogénesis y la producción de sebo por parte de los sebocitos. Además *C. acnes* tiene efecto sobre los fibroblastos de la dermis, a través de la adipogénesis reactiva, un proceso en el cual los fibroblastos experimentan una proliferación localizada y una diferenciación en un linaje de preadipocitos en respuesta a un estímulo bacteriano. Por su parte los adipocitos en turno montan una respuesta inmune innata que contribuyen a la fisiopatología del acné (Kistowska et al., 2015; Kistowska et al., 2014; Isard et al., 2011; Katsambas & Dessinioti, 2008).

Por la presencia del *C. acnes* en el desarrollo del acné, como parte de la farmacoterapia del padecimiento se suelen utilizar antibióticos tanto por vía tópica (clindamicina y eritromicina) como oral (trimetoprima-sulfametoxazol, macrólidos, tetraciclinas, amoxicilina y cefalexina) debido a que su uso conduce a una disminución en la inflamación local y a la consecuente mejora clínica de las lesiones causadas por el acné (Nast et al., 2016). Sin embargo, el uso excesivo de antibióticos y la larga duración que suelen tener los tratamientos para el acné, han contribuido al surgimiento de cepas resistentes a antibióticos (Dessinioti & Katsambas, 2022).

La relevancia clínica de la resistencia de *C. acnes* a los antibióticos fue documentada por primera vez en Estados Unidos de América en 1983, en pacientes con acné que no respondieron al tratamiento con antibióticos orales (Asai et al., 2016). A pesar de que actualmente la mayoría de guías clínicas internacionales (US guidelines 2016, Canadian guidelines 2015, UK NICE guidelines 2021 y European guidelines 2016) para el tratamiento del acné recomiendan limitar la administración de antibióticos orales a un máximo de 3 meses, en la práctica médica es común que se lleven a cabo tratamientos más prolongados (Xu et al., 2021; Coates et al., 2002). Entre los años de 1990 y 2022 se han recabado numerosos estudios epidemiológicos principalmente en Europa y el Reino Unido respecto a la prevalencia de cepas de *Cutibacterium acnes* resistentes a distintos antibióticos (Stasiulewicz et al., 2020; Alkhawaja et al., 2020; Reddy et al., 2020; Tóth et al., 2019; Zákány et al., 2018; Oláh et al., 2016; Luk et al., 2013; Mendoza et al., 2013; Moon et al., 2012; Dumont-Wallon et al., 2010; Biró et al., 2009). El más extenso de estos fue realizado por Coates y colaboradores (2002) en el Reino Unido en donde se monitoreó a 4 274 pacientes con acné durante 10 años aproximadamente (desde 1991 hasta 2000) observándose que la frecuencia de *Cutibacterium acnes* resistente a cualquier antibiótico aumentó del 34.50 % en 1991 al 55.00 % en el año 2000 (Tan et al., 2007). En otros países como Hungría se han realizado estudios sobre la prevalencia de *Cutibacterium acnes* resistente a antibióticos en pacientes con acné, observándose una frecuencia de *C. acnes* resistente a

cualquier antibiótico del 50.80 % (Alkhawaja et al., 2020); mientras que en España se ha mostrado una frecuencia del 93.60 % (Alkhawaja et al., 2020), del 36.70 % en Corea (Biró et al., 2009), 40.00 % en Colombia (Stasiulewicz et al., 2020), 55.00 % en Jordania (Reddy et al., 2020), 47.00 % en Hong Kong (Oláh et al., 2016) y 14.90 % en Singapur (Tóth et al., 2019; Zákány et al., 2018). La resistencia más prevalente es a la eritromicina, seguida por la clindamicina; siendo la resistencia a tetraciclinas la menos frecuente.

Costo económico del acné

El precio promedio para el tratamiento del acné en México es de \$2,382.00 pesos (119.27 dólares estadounidense-fecha de cambio: 21/10/2024), estando sujeto al tratamiento específico que se aplique para cada paciente. En este precio se suele incluir el costo de las consultas dermatológicas (costo que depende de la institución o del especialista con el que se acuda), procedimientos como exfoliaciones, productos de higiene personal especializados (jabones, cremas, ungüentos, etc.), además de tratamientos farmacológicos. Cabe destacar que este procedimiento puede tener diversas vertientes y tratamientos a seguir dependiendo del especialista al que se consulte y el tipo de acné que se padezca. El costo al 2023 de las consultas de valoración con un dermatólogo especialista en México (principalmente en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco) puede rondar entre los \$500.00 y los \$1,000.00 pesos (25.03 - 50.07 dólares fecha de cambio: 28/10/2024); además los tratamientos establecidos suelen consistir en exfoliaciones de la piel, jabones y cremas de aplicación tópica, así como la administración de antibióticos e incluso tratamientos hormonales en ciertos casos; durando estos tratamientos periodos de entre cuatro y seis meses aproximadamente. La duración y el tipo de tratamiento pueden variar mucho de un caso a otro, por lo que los precios en conjunto pueden ir desde los \$3,000.00 hasta los \$10,000.00 pesos (150.22-500.75 dólares-fecha de cambio: 21/10/2024).

No existen muchos datos recientes respecto a los costos anuales en México, debido a que como ya se mencionó, la duración y los productos que involucra el tratamiento son muy variables y también debido a que en muchos casos el padecimiento no es atendido por un profesional de la salud, recurriendo a la automedicación y al uso de diferentes productos y remedios sin supervisión profesional.

Existen algunas terapias tópicas, sistémicas y modificaciones a la dieta para el tratamiento del acné. Los agentes tópicos incluyen retinoides, peróxido de benzoilo y antibióticos (Kim & Kim 2024; Santer et al., 2024). Los primeros dos tratamientos, pueden causar en las primeras 2 – 3 semanas dermatitis irritante, por lo que este tratamiento se recomienda comenzar de manera intermitente y gradualmente aumentar la duración (Kutlu et al., 2023).

Las opciones sistemáticas como los antibióticos, terapias hormonales (pastillas anticonceptivas) y retinoides ofrecen beneficios terapéuticos significantes, particularmente para casos moderados a severos. Algunos otros tratamientos están comprendidos por dispositivos de láser, terapia fotodinámica, peelings químicos e inyecciones intralesionales reduciendo los síntomas del acné y la cicatrización. Terapias emergentes se enfocan en la utilización de ácido hialurónico, bacteriófagos, probióticos y péptidos (Kim & Kim 2024; Auffrent et al 2022).

El Sistema Endocannabinoide y el acné

Existen algunas terapias tópicas, sistémicas y modificaciones en la dieta para el tratamiento del acné. Los agentes tópicos incluyen retinoides, peróxido de benzoilo y antibióticos (Kim & Kim 2024; Santer et al., 2024). Los primeros dos tratamientos, pueden causar en las primeras 2 – 3 semanas dermatitis irritante, por lo que este tratamiento se recomienda comenzar de manera intermitente y gradualmente aumentar la duración (Kutlu et al., 2023).

Las opciones sistemáticas como los antibióticos, terapias hormonales (pastillas anticonceptivas) y retinoides ofrecen beneficios terapéuticos significantes, particularmente para casos moderados a severos. Algunos otros tratamientos están comprendidos por dispositivos de láser, terapia fotodinámica, peelings químicos e inyecciones intralesionales reduciendo los síntomas del acné y la cicatrización. Terapias emergentes se enfocan en la utilización de ácido hialurónico, bacteriófagos, probióticos y péptidos (Kim & Kim 2024; Auffrent et al 2022).

Como una alternativa para el desarrollo de los tratamientos contra el acné, resulta interesante la exploración del Sistema Endocannabinoide (ECS), el cual es un sistema regulatorio endógeno presente en la piel (Figura 3).

El descubrimiento de componentes de este sistema tales como sus ligandos derivados del araquidonato (lípidos conformados por 20 carbonos), teniendo a los más representativos el 2-Araquidonilglicerol (2-AG) y la araquidonil etanolamina (AEA). Estos ligandos endógenos se sintetizan a demanda a partir del ácido araquidónico. Los receptores a cannabinoides se clasifican en tipo 1 (CB1R) y tipo 2 (CB2R), acoplados a proteínas G (GPCRs).

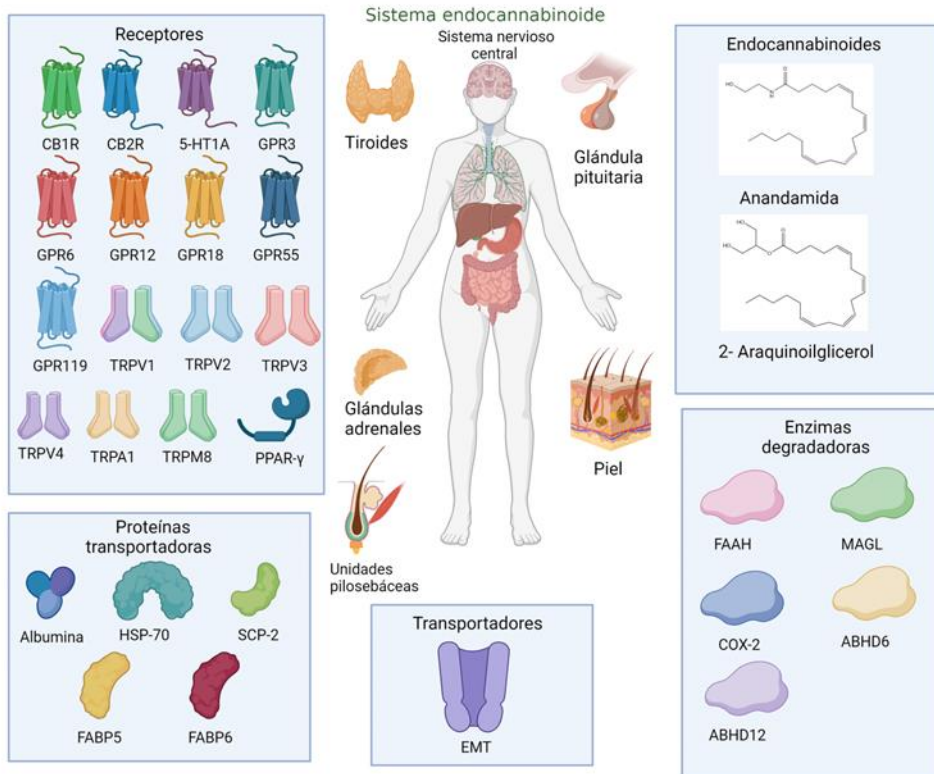


Figura 3: Principales componentes del sistema endocannabinoide y su distribución en el organismo humano. **Abreviaturas:** **2-AG:** 2-araquidonilglicerol; **5-HT1A:** receptor de serotonina; **AEA:** Anandamida; **ABHD6:** Hidrolasa 6 de los dominios α/β ; **ABHD12:** Hidrolasa 12 de los dominios α/β ; **CB1R:** Receptores de cannabinoides tipo 1; **CB2R:** Receptores de cannabinoides tipo 2; **CBR:** Receptores de cannabinoides; **COX-2:** Ciclooxygenasa-2; **DAG:** Diacilglicerol; **DAGL:** Diacilglicerol lipasa; **ECS:** Sistema endocannabinoide; **EMT:** transportador membranaral de endocannabinoides; **FAAH:** Amida hidrolasa de ácidos grasos; **FABP5:** Proteína 5 unidora a ácidos grasos; **FABP7:** Proteína 7 unidora a ácidos grasos; **GPR3:** Receptor 3 acoplado a proteínas G; **GPR6:** Receptor 6 acoplado a proteínas G; **GPR12:** Receptor 12 acoplado a proteínas G; **GPR18:** Receptor 18 acoplado a proteínas G; **GPR55:** Receptor 55 acoplado a proteínas G; **HSP70:** Proteína de choque térmico 70; **MAGL:** Monoacilglicerol lipasa; **NAPE:** N-acil fosfatidil etanolamina; **NAPE-PLD:** N-acil fosfatidiletanolamina fosfolipasa D; **SCP-2:** Proteína transportadora de esteroides 2; **PGE2:** Prostaglandina E2; **PLC- β :** Fosfolipasa C- β ; **PPAR- γ :** Receptor gamma activado por proliferador del peroxisoma; **TRPV1:** Receptor de potencial transitorio V1; **TRPV2:** Receptor de potencial transitorio V2; **TRPV3:** Receptor de potencial transitorio V3; **TRPV4:** Receptor de potencial transitorio V4; **TRPA1:** Receptor de potencial transitorio A1; **TRPM8:** Receptor de potencial transitorio M8.

Estos receptores pueden inhibir la adenilciclase y activar proteínas quinasas activadas por mitógeno. Las proteínas encargadas de la recaptura de los ligandos como los Transportadores transmembranarales de endocannabinoides; y las enzimas de síntesis o degradación como NAPE-PLD

(N-acil fosfatidiletanolamina fosfolipasa D) y la FAAH (amida hidrolasa 1 de ácidos grasos) en distintos tipos celulares de la piel indican la existencia de una relación homeostática en este órgano y el sistema de señalización lipídica (Reddy et al., 2020; Biró et al., 2009).

El CB1R se encuentra expresado principalmente en el Sistema Nervioso Central, siendo más abundante en la neurona presináptica de regiones como los ganglios basales, el córtex, cerebelo y el hipocampo, encontrándose también expresado en órganos como la glándula pituitaria, la glándula tiroideas, las gónadas, glándula adrenal, vías respiratorias superiores, hígado y útero (Reddy et al., 2020). El CB2R se encuentra expresado en mayor proporción en células inmunes, queratinocitos, retina, corazón, páncreas, tracto digestivo, huesos y en el sistema nervioso central, encontrándose expresado en neuronas postsinápticas, astrocitos y en células gliales (Stasiulewicz et al., 2020).

Como parte del sistema endocannabinoide es importante tomar en cuenta que existen proteínas encargadas del transporte de estos ligandos endógenos. Las proteínas involucradas son la albúmina, la proteína de choque térmico 70 (HSP-70), la proteína transportadora de esteroides 2 (SCP-2) y dos proteínas miembros de la familia de proteínas unidoras a ácidos grasos denominadas Proteínas 5 unidora a ácidos grasos (FABP5) y Proteína 7 unidora a ácidos grasos (FABP7) (Reddy et al., 2020; Stasiulewicz et al., 2020; Biró et al., 2009).

Una vez que los endocannabinoides cumplen su función, son recapturados hacia el interior de las células para poder ser metabolizados. El ingreso de los endocannabinoides al espacio intracelular para su biotransformación se da principalmente por medio de una difusión facilitada por transportadores en la cual se involucra una proteína transportadora (que aún no ha sido adecuadamente caracterizada) denominada transportador membranal de endocannabinoides (EMT) (Reddy et al., 2020; Stasiulewicz et al., 2020; Biró et al., 2009). La AEA puede ser degradada tanto por la FAAH como por la ciclooxigenasa-2 (COX-2) en cuyo caso da origen a prostamidas, las cuales están relacionadas con procesos inflamatorios.

El 2-AG es degradado principalmente por tres enzimas hidrolíticas: la Monoacilglicerol Lipasa (MAGL) y por hidrolasas de los dominios α/β (α/β -hidrolasas) que son la ABHD6 y la ABHD12; también puede ser degradado por la FAAH y la COX-2 (en este último caso se produce prostaglandina E2 o PGE2, el cual es un metabolito excitatorio oxidativo) (Reddy et al., 2020; Stasiulewicz et al., 2020; Biró et al., 2009). Además de esto, entre los tipos celulares en los que se ha encontrado la presencia de estos componentes del ECS se encuentran células estrechamente relacionadas con la fisiopatología del acné tales como los sebocitos de las glándulas sebáceas, los queratinocitos

cutáneos, los mastocitos y las células de los folículos pilosos (Biró et al., 2009).

El sistema de recaptura de endocannabinoides se ha planteado como una diana farmacológica de interés para el tratamiento de numerosos padecimientos, esto debido a que al poder interferir con este sistema se permite prolongar la disponibilidad de los endocannabinoides sobre sus dianas moleculares (los CBR) de este modo prolongar y potenciar sus efectos (Reddy et al., 2020; Stasiulewicz et al., 2020; Biró et al., 2009). El ECS ejerce efectos antiinflamatorios que son capaces de regular funciones clave en la fisiopatología del acné como lo son el crecimiento, la proliferación y la diferenciación de distintos tipos celulares, entre los que se encuentran los sebocitos (Oláh et al., 2016). Los sebocitos también desempeñan un papel importante en los sistemas endocrino e inmune de la piel además de actuar como reservorios de células madre. En adición a esto, se piensa que la composición única del sebo producido por los sebocitos tiene un importante rol en la regulación de la microbiota de la piel, restringiendo a los posibles patógenos y promoviendo el crecimiento de los microorganismos benéficos, además de tener un papel importante en la función del sistema endocannabinoide de la piel (Tóth et al., 2019; Zákány et al., 2018).

Se ha observado que las glándulas sebáceas humanas son capaces de producir endocannabinoides (AEA y 2-AG) además de que los sebocitos expresan CB1R (esto principalmente en células diferenciadas) y CB2R (presentes en las células proliferativas, los sebocitos de la capa basal) (Zákány et al., 2018). Zákány y colaboradores en 2018, demostraron que los endocannabinoides producidos localmente que actúan a través de la vía de señalización acoplada a CB2R son clave en la homeostasis de las glándulas sebáceas, esto se evidenció cuando se llevó a cabo el silenciamiento selectivo de los genes responsables de la expresión de CB2R reduciendo significativamente la producción basal de sebo lipídico en sebocitos de la línea celular SZ95 y un tratamiento con endocannabinoides incrementó la lipogénesis de las mismas (Zákány et al., 2018).

Moléculas con efecto sobre el sistema endocannabinoide de la piel

En 2016, Oláh y colaboradores estudiaron la influencia de distintos fitocannabinoides como el cannabidiol (CBD), cannabicromeno (CBC), cannabidivarina (CBDV), tetrahidrocannabivarina (THCV), cannabigerol (CBG) y cannabigerovarina (CBGV) sobre una línea celular de sebocitos (SZ95), reportando efectos sobre la lipogénesis en estas células (Figura 4), agrupándose de la siguiente manera (Oláh et al., 2016): el CBG y el CBGV fueron considerados como “pro-lipogénicos”, el CBDV como “neutrales” ya que no causaba una diferencia significativa en la producción de lípidos con respecto al grupo control. Por su parte el cannabicromeno (CBC) y la

tetrahidrocannabinavarina (THCV) mostraron efectos “lipostáticos” (ver Tabla 2) (Nast et al., 2016; Oláh et al., 2016): Otro estudio realizado por Oláh y colaboradores en 2014, mostró que la administración de CBD en sebocitos SZ95 presentó un efecto sebastático, antiinflamatorio y antiproliferativo sobre este tipo celular (Oláh et al., 2014).

Por otro lado, en un estudio clínico fase 1 de simple ciego se probó una crema tópica que contenía un 3% de extracto de semillas de *Cannabis sativa* durante 12 semanas, observándose una reducción en la producción de sebo cutáneo y en el eritema (Ali & Akhtar 2015). Los cannabinoides sintéticos como el ácido ajulémico y el WIN-55,212-2 también han mostrado tener efectos de inhibición en la producción de las glándulas sebáceas además de presentar efectos antiinflamatorios sobre la piel. El AM404 ha mostrado tener una función sobre la promoción de la lipogénesis de las glándulas sebáceas, incrementando la secreción de sebo por parte de éstas, lo que contribuye a regular la microbiota de la piel. El VCE-003 funciona como activador del receptor PPAR- γ y de CB2R, tiene efectos en la regulación de la lipogénesis de los sebocitos inmortalizados (SZ95) (Díaz-Alonso et al., 2016; Hasanein, 2009; Giuffrida et al., 2001).

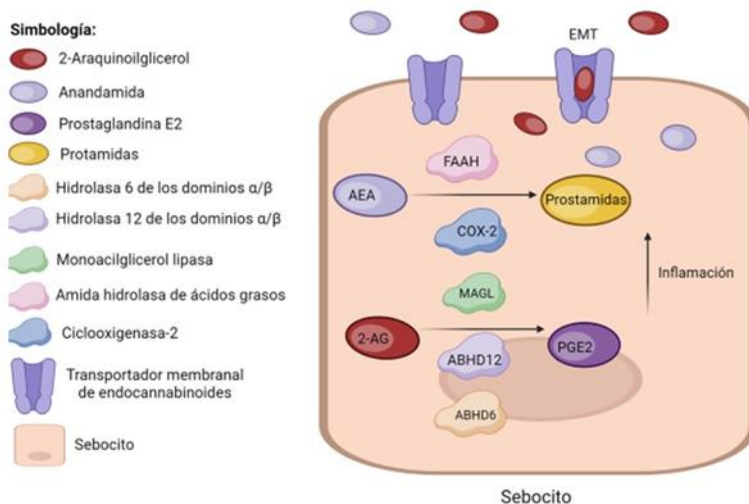
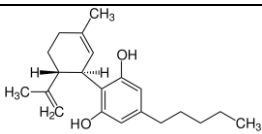
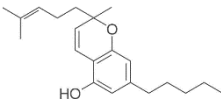
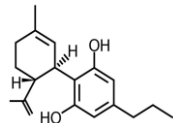


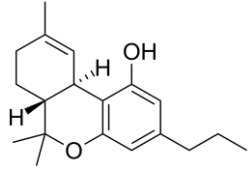
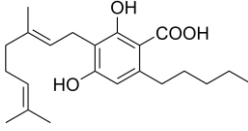
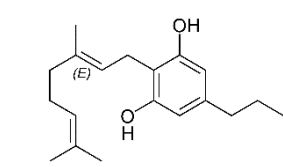
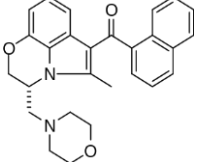
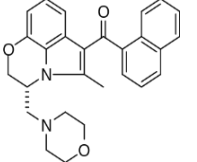
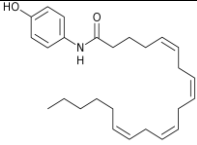
Figura 4: Sistema de recaptura y de degradación enzimática de los endocannabinoides. **Abreviaturas:** 2-AG: 2-araquidonilglicerol; AEA: Anandamida; ABHD6: Hidrolasa 6 de los dominios α/β ; ABHD12: Hidrolasa 12 de los dominios α/β ; EMT: Transportador membranaral de endocannabinoides; COX-2: Ciclooxigenasa-2; FAAH: Amida hidrolasa de ácidos grasos; MAGL: Monoacilglicerol lipasa; PGE2: Prostaglandina E2.

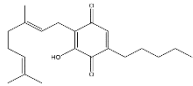
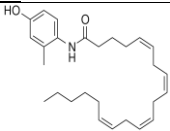
Conclusión

Existen diversas evidencias que señalan la influencia e importancia del Sistema Endocannabinoide y sus componentes en la regulación o mantenimiento de la homeostasis de la piel, debido a la presencia de glándulas sebáceas, relacionadas directamente con este sistema. Por lo tanto, la búsqueda de moléculas con potencial terapéutico sobre enfermedades dérmicas como el acné, ha llevado a la investigación en torno a la influencia de fitocannabinoides como de cannabinoides sintéticos e inhibidores de la recaptura de endocannabinoides sintéticos sobre los sebocitos mostrando tener diferentes efectos sobre la producción de sebo por parte de los sebocitos (algunos promoviéndola y otros inhibiéndola) además de mostrar actividad antiinflamatoria y antiproliferativa sobre estas células, efectos que pueden ser aprovechados en la búsqueda de nuevas terapias contra el acné. Como perspectiva se propone el analizar la eficiencia de la terapia dermatológica a través del sistema endocannabinoide comparado con la terapéutica convencional o mayormente utilizada.

Tabla 2. Moléculas de origen natural y sintético que han mostrado tener efectos con potencial terapéutico sobre la fisiopatología del acné

Molécula	Estructura	Diana molecular	Efecto en la fisiopatología del acné
CBD		Antagonista del CB1R, agonista inverso del CB2R y agonista débil de TRPV1.	Regula la excesiva lipogénesis de los sebocitos (lipostático). Ejerce efectos antiinflamatorios y antiproliferativos en las glándulas sebáceas. También ha mostrado inhibir la proliferación y diferenciación en queratinocitos y tener efectos antimicrobianos, efectos que se podrían aprovechar en el tratamiento del acné (Oláh et al., 2016).
CBC		Activador del receptor TRPA1 a bajas concentraciones y desensibilizador de éste a altas concentraciones. Inhibidor de la recaptura de AEA e inhibidor de la degradación enzimática del 2-AG.	Efectos complejos sobre la fisiopatología del padecimiento similares a los mencionados para el CBD. Reduce la lipogénesis estimulada por el ácido araquidónico (Oláh et al., 2016).
CBDV		Activador y desensibilizador de los receptores TRPV1, TRPV2 y TRPA1.	Efectos complejos sobre la fisiopatología del padecimiento similares a los mencionados para el CBD. Reduce la lipogénesis estimulada por el ácido araquidónico (Oláh et al., 2016).

THCV		Activador de CB2 y bloqueador de CB1.	Efectos complejos sobre la fisiopatología del padecimiento similares a los mencionados para el CBD. Suprime la proliferación de sebocitos. Reduce la lipogénesis estimulada por el ácido araquidónico (Oláh et al., 2016).
CBG		Agonista del receptor adrenérgico α_2 . Agonista de los receptores TRPA1, TRPV1 y TRPV2. Activador, pero rápidamente desensibiliza los receptores TRPV3 y TRPV4. Antagonista de CB1. Antagonista de los receptores TRPM8 y 5-HT1A. Inhibidor de la recaptura de endocannabinoides.	Efectos similares a los endocannabinoides: promoción de la lipogénesis de los sebocitos y potente actividad antiinflamatoria (Oláh et al., 2016).
CBGV		Desensibilizador de TRPV3.	Efectos similares a los de los endocannabinoides: promoción de la lipogénesis de los sebocitos y potente actividad antiinflamatoria (Oláh et al., 2016).
WIN-55,212-2		Agonista de los receptores cannabinoides.	Inhibe la producción de sebo en las glándulas sebáceas y reduce la inflamación en las zonas afectadas por el acné (Oláh et al., 2016; Giuffrida et al., 2001).
Ácido ajulémico		Agonista del receptor PPAR- γ .	Inhibe la producción de sebo en las glándulas sebáceas y reduce la inflamación en las zonas afectadas por el acné (Oláh et al., 2016; Giuffrida et al., 2001).
AM404 <i>N</i> -(4-hidroxifenil)- araquinoilamida)		Es un inhibidor de la recaptura de endocannabinoides. No actúa directamente sobre los receptores cannabinoides y no muestra actividad cannabimimética. Esta incrementa la concentración circulante de anandamida en modelos <i>in vivo</i> .	Promueve la lipogénesis de las glándulas sebáceas e incrementa la secreción de sebo por parte de las mismas, lo que contribuye a regular la microbiota de la piel (Giuffrida et al., 2001).

		Muestra un IC50 de 1 μ M. Se plantea que inhibe al transportador membranaral de endocannabinoides (EMT) y que a su vez eleva su concentración al interior de las células e inhibe la hidrólisis intracelular de la anandamida, además de activar los receptores vanilloides (TRPV1).	
VCE-003		Activador del receptor PPAR- γ y de CB2.	Regulación de la lipogénesis en los sebocitos (Oláh et al., 2016).
VDM-11		Inhibidor de la recaptura de endocannabinoides.	Promueve la lipogénesis de los sebocitos además de que eleva el tono de endocannabinoides, inhibiendo el efecto proinflamatorio del receptor TLR4 (activado por lipopolisacárido). Debido a la naturaleza inflamatoria del padecimiento, el efecto antiinflamatorio y la segregación regulada de cebo pueden contribuir a conseguir efectos benéficos sobre la enfermedad (Tóth et al., 2019).

CBD: Cannabidiol; CB1R: receptor a cannabinoide tipo1; CB2R: receptor a cannabinoide tipo 2; TRPV1, TRPV2 y TRPV3: Receptor de potencial transitorio vanilloide 1, 2 y 3 respectivamente; CBC: cannabicromeno; TRPA1: Receptor de potencial transitorio A1; AEA: araquidonoil etanolamina; 2-AG: 2-Araquidonilglicerol; CBDV: Cannabidivarina; THCV: tetrahidrocannabidivarina; CB1 y CB2: cannabinoide tipo 1 y tipo 2 respectivamente; CBGV: cannabigerovarina; PPAR- γ : receptor γ activado por el proliferador del peroxisoma. "Elaboración propia".

Agradecimientos: Los autores agradecen al Laboratorio de Investigación y Desarrollo Farmacéutico del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara.

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.

References:

1. Addor, F. A., Schalka S. (2010). Acne in adult women: epidemiological, diagnostic and therapeutic aspects. *An Bras Dermatol*, 85(6), 789-95.
2. Ali, A., Akhtar, N. (2015). The safety and efficacy of 3% cannabis seeds extract cream for reduction of human cheek skin sebum and erythema content. *Pak J Pharm Sci*. 28(4),1389–1395.
3. Alkhawaja, E., Hammadi, S., Abdelmalek, M., Mahasneh, N., Alkhawaja, B., Abdelmalek, S. M. (2020). Antibiotic resistant Cutibacterium acnes among acne patients in Jordan: a cross sectional study. *BMC Dermatol*. 20(1),17.
4. Auffret, N., Claudel, J. P., Leccia, M. T., Ballanger, F., Dreno, B. (2022). Novel and emerging treatment options for acne vulgaris. *Eur J Dermatol*. 32(4):451-458.
5. Asai, Y., Baibergenova, A., Dutil, M., Humphrey, S., Hull, P., Lynde, C., Poulin, Y., Shear, N., Tan, J., Toole, J., Zip C. (2016). Management of acne: Canadian clinical practice guideline. *CMAJ*. 188(2),118-126.
6. Bíró, T., Tóth, B. I., Haskó, G., Paus, R., Pacher, P. (2009). The endocannabinoid system of the skin in health and disease: novel perspectives and therapeutic opportunities. *Trends Pharmacol Sci*. 30(8),411-20.
7. Coates, P., Vyakrnam, S., Eady, E. A., Jones, C. E., Cove, J. H., Cunliffe, W. J. (2002). Prevalence of antibiotic-resistant propionibacteria on the skin of acne patients: 10-year surveillance data and snapshot distribution study. *Br J Dermatol*. 146(5),840-8.
8. Dessinioti, C., Katsambas, A. (2022). Antibiotics and Antimicrobial Resistance in Acne: Epidemiological Trends and Clinical Practice Considerations. *Yale J Biol Med*. 95(4), 429-443.
9. Dessinioti, C. & Katsambas, A. D. (2010). The role of Propionibacterium acnes in acne pathogenesis: facts and controversies. *Clin Dermatol*. 28(1),2-7.
10. Díaz-Alonso, J., Paraíso-Luna, J., Navarrete, C., Del Río, C., Cantarero, I., Palomares, B., Agualeles, J., Fernández-Ruiz, J., Bellido, M. L, Pollastro, F., Appendino, G., Calzado, M. A., Galve-Roperh, I., Muñoz, E. (2016). VCE-003.2, a novel cannabigerol derivative, enhances neuronal progenitor cell survival and alleviates symptomatology in murine models of Huntington's disease. *Sci Rep*. 6,29789.

11. Dumont-Wallon, G., Moyse, D., Blouin, E., Dréno, B. (2010). Bacterial resistance in French acne patients. *Int J Dermatol.* 49(3),283-8.
12. Giuffrida, A., Beltramo, M., Piomelli, D. (2001). Mechanisms of endocannabinoid inactivation: biochemistry and pharmacology. *J Pharmacol Exp Ther.* 298(1),7-14.
13. Grice, E. A., Kong, H. H., Renaud, G., Young, A. C., NISC Comparative Sequencing Program., Bouffard, G. G., Blakesley, R. W., Wolfsberg, T. G., Turner, M. L., Segre, J.A. (2008). A diversity profile of the human skin microbiota. *Genome Res.* 18(7),1043-50.
14. Hasanein, P. (2009). The endocannabinoid transport inhibitor AM404 modulates nociception in cholestasis. *Neurosci Lett.* 462(3),230-4.
15. Isard, O., Knol, A.C., Ariès, M.F., Nguyen, J.M., Khammari, A., Castex-Rizzi, N., Dreno, B. (2011). Propionibacterium acnes activates the IGF-1/IGF-1R system in the epidermis and induces keratinocyte proliferation. *J Invest Dermatol.* 131(1),59-66.
16. Katsambas, A., Dessinioti, C. (2008). New and emerging treatments in dermatology: acne. *Dermatol Ther.* 21(2),86-95.
17. Kistowska, M., Meier, B., Proust, T., Feldmeyer, L., Cozzio, A., Kuendig, T., Contassot, E., French, L. E. (2015). Propionibacterium acnes promotes Th17 and Th17/Th1 responses in acne patients. *J Invest Dermatol.* 135(1),110-118.
18. Kistowska, M., Gehrke, S., Jankovic, D., Kerl, K., Fettelschoss, A., Feldmeyer, L., Fenini, G., Kolios, A., Navarini, A., Ganceviciene, R., Schaubert, J., Contassot, E., French, L. E. (2014). IL-1 β drives inflammatory responses to propionibacterium acnes in vitro and in vivo. *J Invest Dermatol.* 134(3),677-685.
19. Kim, H. J., Kim, Y. H. (2024). Exploring Acne Treatments: From Pathophysiological Mechanisms to Emerging Therapies. *Int J Mol Sci.* 25(10):5302.
20. Kutlu, Ö., Karadağ, A. S., Wollina, U. (2023). Adult acne versus adolescent acne: a narrative review with a focus on epidemiology to treatment. *An Bras Dermatol.* 98(1):75-83.
21. Litardo, J. (2018). Utilización de estrategias de apoyo para prevenir el acné en los jóvenes de la unidad educativa “17 de mayo” Cantón Quevedo 2017. Quevedo, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo.
22. Luk, N. M., Hui, M., Lee, H. C, Fu, L. H., Liu, Z. H., Lam, L. Y., Eastel, M., Chan, Y. K., Tang, L. S., Cheng, T. S., Siu, F. Y., Ng, S. C., Lai, Y. K., Ho, K. M. (2013). Antibiotic-resistant Propionibacterium acnes among acne patients in a regional skin centre in Hong Kong. *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 27(1),31-6.

23. Mendoza, N., Hernández, P. O., Tyring, S. K., Haitz, K. A., Motta, A. (2013). Antimicrobial susceptibility of *Propionibacterium acnes* isolates from acne patients in Colombia. *Int J Dermatol.* 52(6),688-92.
24. Moradi, T. S., Makrantonaki, E., Ganceviciene, R., Dessinioti, C., Feldman, S. R., Zouboulis, C. C. (2015). Acne vulgaris. *Nat Rev Dis Primers.* 1, 15029.
25. Moon, S. H., Roh, H. S., Kim, Y. H., Kim, J. E., Ko, J. Y., Ro, Y. S. (2012). Antibiotic resistance of microbial strains isolated from Korean acne patients. *J Dermatol.* 39(10), 833-7.
26. Nast, A., Dréno, B., Bettoli, V., Bukvic, Mokos, Z., Degitz, K., Dressler, C., Finlay, A. Y., Haedersdal, M., Lambert, J., Layton, A., Lomholt, H. B., López-Estebarez, J. L., Ochsendorf, F., Oprica, C., Rosumeck, S., Simonart, T., Werner, R. N., Gollnick, H. (2016). European evidence-based (S3) guideline for the treatment of acne - update 2016 - short version. *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 30(8),1261-8.
27. Oláh, A., Markovics, A., Szabó-Papp, J., Szabó, P. T., Stott, C., Zouboulis, C. C., Bíró t. (2016). Differential effectiveness of selected non-psychotropic phytocannabinoids on human sebocyte functions implicates their introduction in dry/seborrhoeic skin and acne treatment. *Exp Dermatol.* 25(9),701-7.
28. Oláh, A., Tóth, B. I., Borbíró, I., Sugawara, K., Szöllösi, A. G., Czifra, G., Pál, B., Ambrus, L., Kloepper, J., Camera, E., Ludovici, M., Picardo, M., Voets, T., Zouboulis, C. C., Paus, R., Bíró, T. (2014). Cannabidiol exerts sebostatic and antiinflammatory effects on human sebocytes. *J Clin Invest.* 124(9),3713-24.
29. Reddy, V., Grogan, D., Ahluwalia, M., Salles, É.L., Ahluwalia, P., Khodadadi, H., Alverson, K., Nguyen, A., Raju, S. P., Gaur, P., Braun, M., Vale, F. L., Costigliola, V., Dhandapani, K., Baban, B., Vaibhav, K. (2020). Targeting the endocannabinoid system: a predictive, preventive, and personalized medicine-directed approach to the management of brain pathologies. *EPMA J.* 11(2),217-250.
30. Santer, M., Burden-The, E., Ravenscroft, J. (2023). Managing acne vulgaris: an update. *Drug Ther Bull.* 62(1):6-10.
31. Stasiulewicz, A., Znajdek, K., Grudzień, M., Pawiński, T., Sulkowska, A. J.I. (2020). A Guide to Targeting the Endocannabinoid System in Drug Design. *Int J Mol Sci.* 21(8),2778.
32. Stewart, T. J., & Bazergy, C. (2018). Hormonal and dietary factors in acne vulgaris versus controls. *Dermatoendocrinol.* (1), e1442160.
33. Tan, H. H., Tan, A. W., Barkham, T., Yan, X. Y., Zhu, M. (2007). Community-based study of acne vulgaris in adolescents in Singapore. *Br J Dermatol.* 157(3),547-51.

34. Tóth, K. F., Ádám, D., Bíró, T., Oláh, A. (2019). Cannabinoid Signaling in the Skin: Therapeutic Potential of the "C(ut)annabinoid" System. *Molecules*. 24(5),918.
35. Williams, H., Dellavalle, R., Garner, S. (2012). Acne Vulgaris. *The lancet*. 379.
36. Xu, J., Mavranzouli, I., Kuznetsov, L., Stephen Murphy, M., Healy, E. (2021). Guideline Committee. Management of acne vulgaris: summary of NICE guidance. *BMJ*. 20,374:n1800.
37. Zaenglein, A. L., Pathy, A. L., Schlosser, B. J., Alikhan, A., Baldwin, H. E., Berson, D. S., Bowe, W. P., Graber, E. M., Harper, J. C., Kang, S., Keri, J. E., Leyden, J. J., Reynolds, R. V., Silverberg, N. B., SteinGold, L. F., Tollefson, M. M., Weiss, J. S., Dolan, N. C., Sagan, A. A., Stern, M., Boyer, K. M., Bhushan, R. (2016). Guidelines of care for the management of acne vulgaris. *J Am Acad Dermatol*. 74(5), 945-73.
38. Zákány, N., Oláh, A., Markovics, A., Takács, E., Aranyász, A., Nicolussi, S., Piscitelli, F., Allarà, M., Pór, Á., Kovács, I., Zouboulis, C.C., Gertsch, J., Di Marzo, Vincenzo., Bíró, T., Szabó T. (2018). Endocannabinoid Tone Regulates Human Sebocyte Biology. *J Invest Dermatol*. 138(8),1699-1706.

Neural Network Approaches for Early Breast Cancer Detection

Ala'a R. Al-Shamasneh
Najla Althuniyan
Nadia Alabdulkarim
Maya Ahmad

Department of Computer Science, Prince Sultan University,
Kingdom of Saudi Arabia, Riyadh

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p42](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p42)

Submitted: 22 February 2024

Accepted: 05 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Al-Shamasneh A.R., Althuniyan N., Alabdulkarim N. & Ahmad M. (2024). *Neural Network Approaches for Early Breast Cancer Detection*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 42. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p42>

Abstract

Breast cancer research remains essential due to its high mortality rates and the critical need for improved diagnostic accuracy. This study investigates the application of neural network techniques to enhance early breast cancer detection, utilizing Artificial Neural Networks (ANN) implemented in MATLAB. By analyzing datasets from the UCI Machine Learning Repository, specifically the Coimbra and Wisconsin Breast Cancer datasets, this research demonstrates the accuracy and efficiency of neural networks in classifying malignant and benign cases. Methodologically, the study involves data preprocessing, ANN pattern recognition modeling, and testing across multiple metrics including confusion matrices and ROC plots to validate the model's predictive performance. The findings underscore the potential of neural networks as a diagnostic support tool, facilitating faster and more accurate cancer detection, thereby contributing to improved patient outcomes and supporting global health initiatives for early diagnosis.

Keywords: Breast Cancer, Neural Networks, Early Detection

Introduction

Detecting cancer at late stages remains a pervasive challenge in the medical field worldwide, often leading to critical health conditions and limited treatment options for patients. The urgency for timely diagnosis to prevent life-threatening situations underscores the importance of leveraging technology to save lives. This paper explores the potential of neural networking, an artificial intelligence technique, in revolutionizing breast cancer detection and improving patient outcomes.

Neural networking, a key component of artificial intelligence, mimics the human brain's ability to process data through interconnected neurons or nodes arranged in layered structures. By utilizing deep learning principles, neural networks can continuously learn and enhance their ability to interpret data accurately over time. This approach holds promise for transforming cancer detection by providing faster, more accurate, and reliable results.

While mammogram screening has been a conventional method for breast cancer detection, recent advancements in technology have opened new avenues for leveraging artificial intelligence and neural networking. The integration of these modern techniques aims to augment existing diagnostic capabilities, enabling early detection and intervention for women worldwide. By harnessing the power of artificial intelligence, medical professionals can more effectively identify cancerous lesions and prioritize high-risk patients.

Although artificial intelligence models, such as those used in prostate cancer detection, offer promising results in automating cancer detection processes, they are not intended to replace human expertise. Instead, these technologies serve as valuable tools to assist oncologists and radiologists in identifying cancerous abnormalities and distinguishing them from benign masses. The inherent limitations of current detection methods, including false positives and missed diagnoses, highlight the need for more advanced and accurate approaches.

The application of neural networking in breast cancer detection holds immense potential for improving imaging speed, accuracy, and prognostic capabilities. This paper aims to present a comprehensive overview of the neural networking method, utilizing MATLAB as a powerful computational tool. MATLAB's specialized functionalities and toolboxes facilitate the analysis of large datasets, making it an ideal platform for integrating medical expertise with modern artificial neural network technology.

By combining insights from the medical field with cutting-edge artificial intelligence techniques, this research endeavors to contribute to the early detection of breast cancer. Ultimately, the goal is to empower healthcare professionals with innovative tools and methodologies to aid in the timely diagnosis and treatment of this life-threatening disease.

Literature Review

Breast cancer remains a significant global health concern, prompting ongoing research into more effective diagnostic methods. Recent studies have emphasized the importance of early detection in improving patient outcomes and reducing mortality rates (Duffy et al., 2020). Mammogram screening has traditionally been the primary method for breast cancer detection, but its limitations, including false positives and missed diagnoses, have led to the exploration of alternative approaches (Yala et al., 2019).

Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) techniques have emerged as promising tools for enhancing cancer detection and diagnosis. Neural networking, a subset of AI, utilizes deep learning algorithms to analyze complex data patterns, mimicking the human brain's processing capabilities (Esteva et al., 2019). Neural networks have shown remarkable success in various medical imaging tasks, including the detection of breast cancer from mammograms (Rodriguez-Ruiz et al., 2019).

Recent advancements in AI-based breast cancer detection have demonstrated significant improvements in accuracy and efficiency. For example, deep learning models trained on large-scale datasets have achieved impressive results in identifying malignant lesions and reducing false positives (McKinney et al., 2020). These models leverage convolutional neural networks (CNNs) to extract relevant features from mammogram images and classify them with high precision (Wang et al., 2021).

Moreover, the integration of AI technologies into clinical practice has shown promise in streamlining diagnostic workflows and improving radiologists' productivity. AI-assisted interpretation tools, such as computer-aided detection (CAD) systems, provide radiologists with real-time feedback and decision support, enhancing their diagnostic accuracy and confidence (Rodriguez-Ruiz et al., 2020).

Despite the advancements, challenges remain in deploying AI-based breast cancer detection systems in real-world clinical settings. Issues such as data privacy, model interpretability, and regulatory compliance pose significant barriers to adoption (Liu et al., 2021). Additionally, ensuring the equitable distribution and accessibility of AI technologies across diverse patient populations is essential to mitigate healthcare disparities (Ward et al., 2020).

In conclusion, recent literature underscores the transformative potential of AI and neural networking in revolutionizing breast cancer detection. By leveraging advanced computational techniques and large-scale datasets, researchers and clinicians are poised to enhance early diagnosis and improve patient outcomes in the fight against breast cancer.

Methods

Below, we delve into the neural network approach facilitated by MATLAB, offering specialized toolboxes tailored for neural networks, leading to expedited, precise, and efficient outcomes.

A neural network comprises an input layer, one or more hidden layers, and an output layer, with numerous nodes or neurons in each layer. These nodes receive inputs from every node in the preceding layer, establishing interconnectedness throughout the network. Modeled after the human brain, neural networks learn through this layered structure, enabling pattern recognition, data classification, and predictive analysis based on learned data.

Similar to human learning, neural networks can discern patterns in various data types, such as voice or images, through iterative training. This learning process involves adjusting connection weights between neurons based on a predefined learning rule until the network achieves desired performance. MATLAB simplifies neural network development, allowing users to create models and implement pattern recognition with minimal expertise.

MATLAB facilitates rapid neural network model creation, visualization, integration into existing applications, and deployment across diverse platforms. When developing artificial intelligence applications, particularly neural networks, common steps include data preparation, AI modeling, simulation, testing, and deployment.

A. Data Preparation:

In this stage, we gather a suitable dataset with labels and ensure its quality through human examination. The neural network then undergoes training using this dataset, with simulations generating the training process. Additional data may be incorporated into the training set to capture a broader range of patterns and variations.

B. AI Modeling:

When comparing the effectiveness of shallow neural networks with traditional machine learning methods like decision trees or SVMs, or when dealing with limited labeled training data, it's advisable to utilize the command-line functions available in the Classification and Regression Learner tool from the Statistics and Machine Learning Toolbox™. This toolbox is well-suited for neural networks, offering comprehensive support for specifying, training, and customizing neural network models. Additionally, it facilitates interoperability, allowing seamless sharing and utilization of information across different computer systems or applications.

C. Simulation and Testing:

This stage facilitates the integration of intricate systems, such as neural networks, and includes testing, simulation for larger systems, and validation and verification of the system's functionality.

D. Deployment:

In this report, pattern recognition will be employed for implementation instead of traditional coding methods. Overall, the methodology outlined in this report will encompass the following steps, which will be elaborated upon further:

- A. Data preprocessing and classification.
- B. Application of Artificial Neural Network (ANN) pattern recognition using MATLAB.
- C. Results and discussion.

The tool utilized in this study to enable a neural network to identify signs and patterns of breast cancer is MATLAB. Within MATLAB's algorithm, there are several tools available, including the neural network pattern recognition (ANN classification pattern recognition) application. This application assists in detecting malignant tumors, utilizing data sets sourced from The UCI Machine Learning Repository.

According to MATLAB, the Artificial Neural Network (ANN) pattern recognition process involves training the neural network to classify data sets into specific categories, thus addressing classification challenges. Users can import data sets from various applications such as Excel or any other compatible data file recognized by MATLAB. Subsequently, the ANN is trained, validated, and tested, with results displaying the error margin and accuracy of the application.

The following subsections of the methodology detail the steps and procedures involved in utilizing pattern recognition for classifying two data sets: distinguishing between malignant and benign tumors, and identifying blood diagnosis data from breast cancer patients versus healthy individuals.

A. Data Pre-processing and Classification:

The initial phase involved gathering the necessary data for utilizing Artificial Neural Networks (ANN) in breast cancer detection. Data sets were acquired from the UCI Machine Learning Repository, with all preprocessing and organization documented and attached.

The primary dataset chosen from the repository is the "Breast Cancer Coimbra Data Set." This dataset comprises 10 attributes and a total of 116 instances of individuals' laboratory test results. Among these instances, 64

corresponded to breast cancer patients, while 52 were from individuals without breast cancer. The data was presented in an Excel table format, with column headers indicating attributes such as Age, BMI, Glucose, Insulin, HOMA, Leptin, Adiponectin, Resistin, MCP-1, and a label (1 for healthy controls, 2 for patients).

Figure 1: Breast Cancer Coimbra Data Set before preprocessing

To prepare the data for use in a neural network pattern recognition application, it needs to be structured into inputs and target outputs. This involves creating two new Excel sheets, which will be utilized in MATLAB.

The first sheet, named "Input-BreastCancer," includes the laboratory results of individuals, excluding age and label information. Subsequently, the rows of the dataset are shuffled to separate patients from healthy individuals, enabling further testing of the pattern recognition capabilities of the ANN in classification tasks.

Following this, the second Excel sheet, named "Output-TargetBreastcancer," is created to contain the labels. However, the labels are modified from 1 (indicating a healthy individual) and 2 (indicating a breast cancer patient) to 0 (representing a healthy individual) and 1 (representing a breast cancer patient). This adjustment makes the data readable to the pattern recognition program's target output, allowing it to recognize these numbers as a pattern. This completes the processing of the Coimbra dataset.

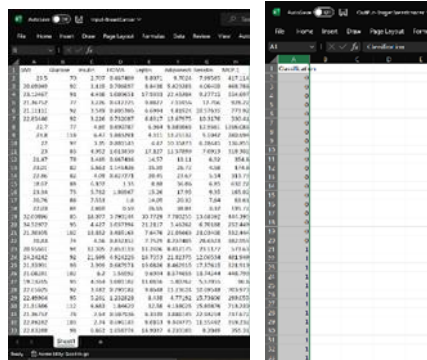


Figure 2: Breast Cancer Coimbra Data Set after processing, divided into two datasets of input and output

The second dataset chosen from the repository is the "Breast Cancer Wisconsin (Original) Data Set." This dataset comprises 11 attributes and a total of 699 instances of tumor test results. Among these tumors, 458 were classified as benign and 241 as malignant. The data is provided in the form of a .DATA file, which can be imported into Excel for further processing. Once imported, the data is formatted to default text with no formatted cells. Subsequently, attention is turned to the column headers, which include attributes such as Sample code number, Clump Thickness, Uniformity of Cell Size, Uniformity of Cell Shape, Marginal Adhesion, Single Epithelial Cell Size, Bare Nuclei, Bland Chromatin, Normal Nucleoli, Mitoses, and Class (2 for benign and 4 for malignant).

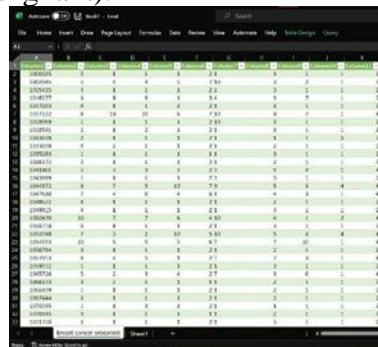


Figure 3: Breast Cancer Wisconsin Data Set before pre processing

To prepare this data for import into the neural network pattern recognition application, it needs to be structured into inputs and target outputs. This requires the creation of two new Excel sheets. The first sheet, named "WisconsinBreastCancerIN," includes all the tumor's specification attributes except for Sample code number and Class.

Following this, a second sheet called "WisconsinBreastCancerOUT" was generated. This sheet contains the class information, but it was transformed from 2 for benign and 4 for malignant to 0 for benign and 1 for malignant. This adjustment ensures compatibility with the pattern recognition program's target output. Thus, the processing and organization of the Wisconsin dataset are concluded.

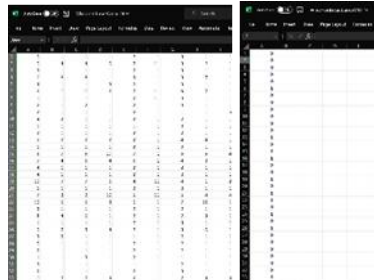


Figure 4: Breast Cancer Wisconsin Data Set after processing, divided into two datasets of input and output

Following the data preprocessing phase, the next step involves classifying the processed data using the neural network pattern recognition algorithm, as outlined in the forthcoming subsection.

B. ANN Pattern Recognition Application in MATLAB

As previously explained in the methodology introduction, the ANN pattern recognition process entails categorizing datasets into distinct categories.

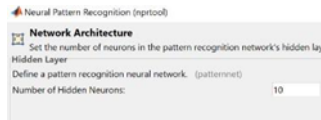
To elaborate further, the processed data, now labeled as input data and output data, are imported into MATLAB. The input data corresponds to the input, while the target output corresponds to the desired output. The illustration below demonstrates how the Coimbra breast cancer datasets are entered into MATLAB as an example:



For this research, it's important to note that all target outputs in the datasets denote 1 for breast cancer patients or malignant tumors, and 0 for healthy individuals or benign tumors. Subsequently, the datasets are randomized to train the ANN, as well as for validation and testing purposes. The user selects the percentages for each accordingly.



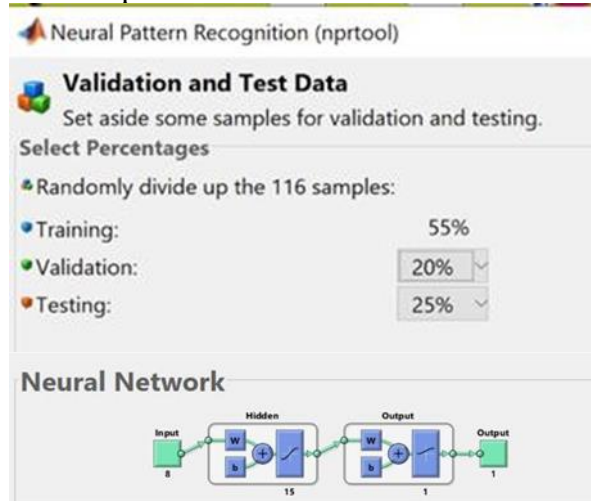
Afterwards, the hidden layers for the artificial neural network are entered as well:



Lastly, the neural network training commences, yielding results including data, graphs, error percentages, and more upon completion. If the training results appear inadequate, adjusting the number of hidden layers can improve classification accuracy and reduce errors. Additionally, modifying the distribution of training, validation, and testing datasets can impact results positively. In the final segment of the methodology, the outcomes of the neural network training for classifying the Coimbra and Wisconsin datasets will be presented and scrutinized. The aim is to assess whether the ANN's pattern recognition successfully identifies whether a tumor is benign or malignant in the case of the Wisconsin dataset, or discerns a breast cancer patient from a healthy individual in the Coimbra dataset.

Results And Discussion

The Coimbra Breast cancer dataset was partitioned into 55% for training, 20% for validation, and the remaining 25% for testing purposes. Additionally, the number of hidden layers was adjusted to 15 to optimize the program's classification performance.



The result showed the following:

Results			
	Samples	CE	%E
Training:	64	6.77854e-1	31.25000
Validation:	29	7.82293e-1	31.03448
Testing:	23	7.94380e-1	43.47826

Before delving into the analysis, it's important to reiterate the ultimate objective of this pattern recognition endeavor: to distinguish between laboratory results belonging to breast cancer patients and those of healthy individuals within the Coimbra dataset. As depicted above, the dataset comprising 116 samples has been divided into 64 for training, 29 for validation, and 23 for testing. To gain deeper insights into the classification performance, it's crucial to examine the results of CE (cross-entropy) and %E (percentage error). Below, we will discuss the analysis of training performance, training state, error histogram, confusion matrix, and ROC plot.

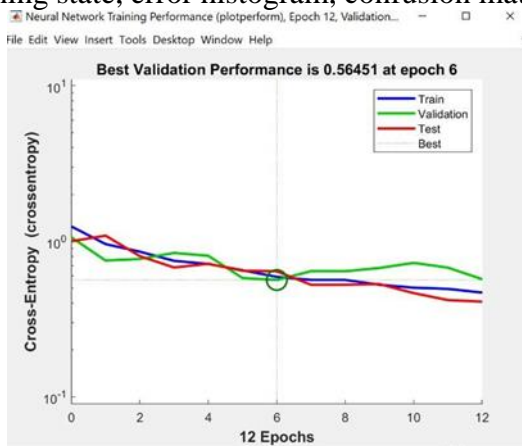


Figure 5: NN training performance plot

The plot above reveals that the validation achieved its peak performance at epoch 6, with a value of approximately 0.6. Additionally, a gradual decline in training errors suggests a reduction in errors over time. Moreover, the consistent decrease in the test line reaffirms the accuracy of the program's pattern recognition, indicating successful detection of patterns.

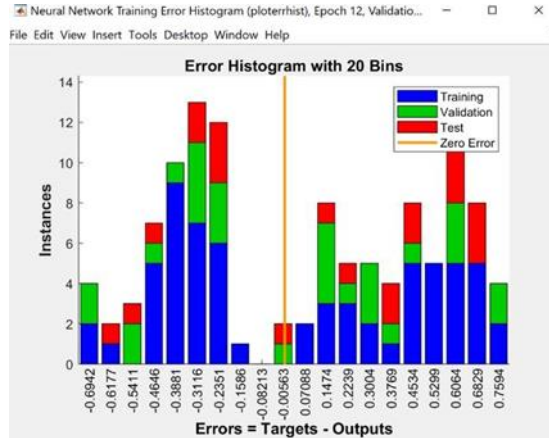


Figure 6: Error Histogram

With 20 bars or bins displayed in the histogram, it becomes evident that a zero error is observed around the -0.006 mark. These error histograms provide insight into the discrepancies between our target and predicted digits post-training of our neural network. The remarkably low error percentage of 0.006 underscores the high accuracy of our pattern recognition in detection, indicating minimal errors in the process.



Figure 7: Confusion Matrix

The presented confusion matrix illustrates the breakdown of classifications for training, validation, test, and a combined matrix, respectively. Focusing on the training matrix, it reveals that the pattern recognition accurately identified 28 attributes as 0, signifying healthy individuals, and 16 attributes as breast cancer patients. The training's accuracy stands at approximately 70%, with the error rate around 30%.

When considering the combined confusion matrix encompassing training, validation, and testing, the neural network demonstrated a notable accuracy level. Specifically, it correctly identified 43 attributes representing

healthy individuals while misclassifying 30 laboratory attributes belonging to breast cancer patients as healthy. Additionally, it accurately identified 34 laboratory attributes as indicative of breast cancer patients, yet erroneously categorized 9 healthy individuals as having breast cancer. Overall, the neural network achieved an accuracy rate of approximately 66%, with an error percentage of 33%. This suggests a reliable performance, as it surpasses the 50% threshold.

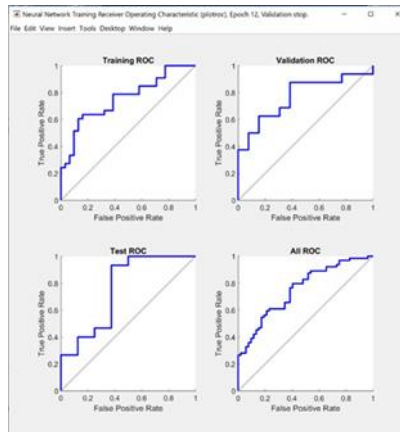


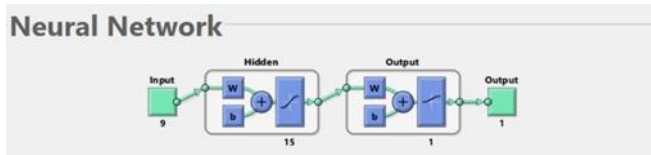
Figure 8: Receiver Operating Characteristic (ROC) Plot

From the ROC curves presented above, it's evident that the neural network's detection accuracy is steadily improving. The positive incline of the ROC curve, particularly noticeable when it surpasses the linear line in the center, indicates an enhancement in accuracy. Notably, when the ROC curve consistently lies above the linear line across all four graphs, especially in the combined ALL ROC, it underscores the neural network's proficiency in distinguishing between healthy individuals and breast cancer patients based on laboratory results.

In conclusion, the analysis of the Coimbra dataset results confirms the neural network's capability to accurately detect relevant patterns in the provided information.

Result and Discussion of Data and Graphs for Wisconsin:

Similar to the Coimbra dataset, the Wisconsin Breast Cancer dataset was divided into training, validation, and testing sets, with 55% allocated for training, 20% for validation, and 25% for testing. The neural network architecture included 15 hidden layers to optimize its performance in classification tasks, mirroring the setup used for the Coimbra dataset.



The result showed the following:

Results			
	Samples	CE	%E
Training:	384	1.63032e-0	2.60416e-0
Validation:	175	2.74087e-0	3.42857e-0
Testing:	140	2.88176e-0	3.57142e-0

As done in the Coimbra Dataset, a quick reminder of the following before discussing the analysis, the end goal of this pattern recognition is to detect which of the tumor results in the Wisconsin dataset is a malignant tumor and which is a benign tumor. From the above results, the sample of 699 has been separated into 384 for training, 175 for validation, and 140 for testing.

Again, to further understand the show results of CE and %E, An analysis of the training performance, training state, error histogram, confusion matrix, and ROC plot will be discussed below.

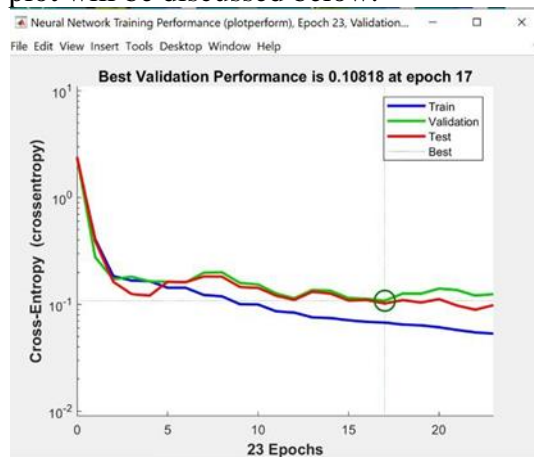


Figure 9: NN training performance plot

The graph above shows that the best performance of the validation is at epoch 17 with the value of about 0.11, as well as it can be shown that the training is also at a decrease, meaning that less errors are occurring. Finally, to further harden that the detection of the program is majorly correct and accurate, we can see that the test line, just like in the Coimbra dataset result, has also been at a steady

decrease line, which further indicates that yes, the pattern is being recognized correctly.

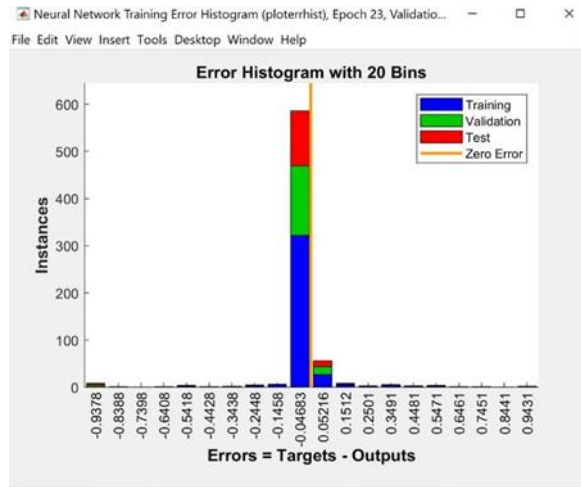


Figure 10: Error Histogram

The histogram contains 20 bars or bins, its results signify that there is a zero error laying at about - 0.01 since it's between -0.05 and 0.05 and it leans a bit to the left. As stated before , the error histograms aids in allowing the user to witness visually the errors between our target and our predicted digits after training the neural network, so with our error percentage being as low as 0.01, indicates that our pattern recognition in the detection has a high accuracy due to its low error rate.

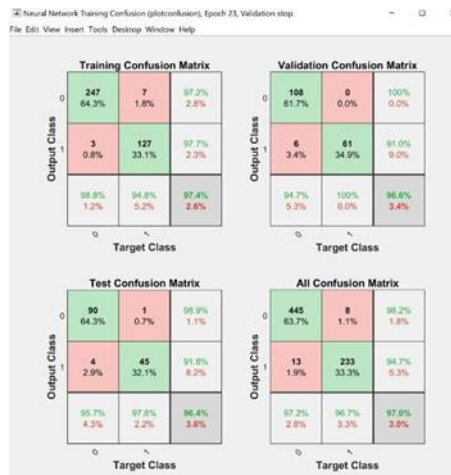


Figure 11: Confusion Matrix

Reading one of the matrices of the Wisconsin Breast cancer data set that is training, we can witness that the neural network recognition has correctly detected 257 attributes to be 0 , indicating benign tumors, and 127

attributes indicating to malignant tumors, with the training's accuracy is at an extremely high 97% with the error being as low as 3% , indicating high and accurate training that solidifies our ANN's training capabilities of detecting tumors. When we see the total confusion matrix, which again includes the validation test and training combined together, we can see that the neural network has correctly detected 445 tumor attributes that show to be benign tumors whilst mis detecting 8 tumor attributes that belong to malignant tumors as benign tumors, and has correctly detected 233 tumor attributes that show malignant tumors while mis detecting 13 of those to be malignant even though it is a benign tumor. It comes down to show that the total accuracy of this neural network is at a correct accuracy of 97% , and has an extremely low error percentage matrix of 3%, which shows that our ANN was more than capable of accurately distinguishing malignant tumor patterns from benign without having too many mistakes.

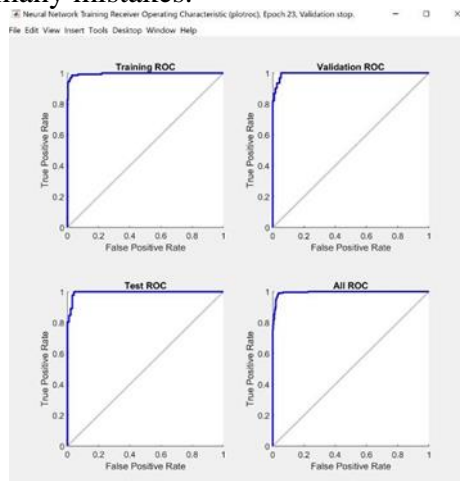


Figure 12: Receiver Operating Characteristic (ROC) Plot

Finally in terms of data analysis of Wisconsin, we can see from the ROC above, the curve is , again shown to be a positive incline above that of the linear line in the center, just like the Coimbra dataset , then it shows that the neural network is yet again beginning to increase in terms of detection accuracy. Since the curve is a positive incline above the line at the combined ALL ROC, this solidifies that the artificial neural network pattern recognition application is detecting the malignant tumors from the benign accurately, without much fault nor errors.

Thus, this concludes the analysis of the Wisconsin dataset results and its discussion. We finalize that yes, just like the Coimbra analysis, neural network pattern recognition can also detect quite accurately when it comes to the given information of the tumor attributes, thus concluding our results and analysis, as well as our methodology.

Conclusions

In summary, MATLAB has demonstrated its effectiveness in early breast cancer detection through neural network-based pattern recognition, effectively addressing classification challenges. The analysis conducted on the Coimbra breast cancer dataset showcased the program's ability to minimize errors while accurately recognizing patterns. Various metrics, including training performance, error histograms, confusion matrices, and ROC plots, confirmed its reliability in detecting breast cancer accurately.

Similarly, when applied to the Wisconsin Breast Cancer dataset, MATLAB exhibited high accuracy in pattern recognition and detection due to its low error rate. These findings underscore the significance of employing artificial neural networks and pattern recognition techniques in aiding healthcare professionals, such as doctors and radiologists, in diagnosing breast cancer at early stages. MATLAB serves as a testament to how modern technology continues to support and enhance breast cancer detection efforts, benefiting the broader breast cancer community.

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

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

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

References:

1. Duffy, S. W., Parmar, D., Jatoi, I., & Miller, A. B. (2020). Fundamental Issues in Breast Cancer Screening. *Journal of Clinical Oncology*, 38(15), 1637–1643.
2. Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2019). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 542(7639), 115–118.
3. McKinney, S. M., Sieniek, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N., Ashrafian, H., & Toma, M. (2020). International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*, 577(7788), 89–94.
4. Rodriguez-Ruiz, A., Krupinski, E., Mordang, J. J., Schilling, K., Heywang-Köbrunner, S. H., & Sechopoulos, I. (2019). Detection of breast cancer with mammography: Effect of an artificial intelligence support system. *Radiology*, 290(2), 305–314.
5. Rodriguez-Ruiz, A., Lång, K., Gubern-Merida, A., Broeders, M., Gennaro, G., Clauser, P., & Mann, R. M. (2020). Stand-alone artificial intelligence for breast cancer detection in mammography: Comparison with 101 radiologists. *Journal of the National Cancer Institute*, 112(9), 916–922.

6. Wang, T., Jing, C., Ma, Y., Lai, M., Zhang, Y., & He, Z. (2021). Convolutional neural networks in breast cancer screening: A comprehensive review. *Frontiers in Medicine*, 8, 664720.
7. Liu, Y., Chen, P.-H. C., Krause, J., Peng, L., LeCun, Y., & Deng, J. (2021). How to Read Articles That Use Machine Learning: Users' Guides to the Medical Literature. *JAMA*, 325(6), 519–529.
8. Ward, R., Deaton, A., El-Sayed, A. M., & Gray, J. (2020). Data Science, Artificial Intelligence, and Machine Learning: Opportunities for Advancement in Breast Cancer Research. *JAMA Oncology*, 6(10), 1521–1522.

Exploring Disease Manifestations and Influencing Factors in Acute and Chronic Hepatitis B

Napoleon Bellua Sam, MSc, PhD

Department of Medical Research and Innovation, School of Medicine,
University for Development Studies, Tamale, Northern Region, Ghana

Abena Serwaa Ofori, MEd, PhD

Department of Nursing, Kokofu Nursing and Midwifery Training College,
Kokofu, Ashanti Region, Ghana

Saeed Folorunsho Majeed, MPhil

Department of Biological Science, Faculty of Biosciences,
University for Development Studies, Tamale, Northern Region, Ghana

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p59](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p59)

Submitted: 14 August 2024

Accepted: 06 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Sam N.B., Ofori A.S. & Majeed S.F. (2024). *Exploring Disease Manifestations and Influencing Factors in Acute and Chronic Hepatitis B*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 59. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p59>

Abstract

Scope and Aims: The investigation of disease manifestations and influencing factors in both acute hepatitis B (AHB) and chronic hepatitis B (CHB) remains limited, with varying results. This study aimed to explore the factors influencing AHB and CHB and their disease manifestations within a Ghanaian population, with the goal of developing a control strategy. **Methods:** A retrospective study was conducted on 569 admitted hepatitis B cases. Demographic data and disease manifestations were compared between AHB and CHB patients. Logistic regression and correlation analyses were employed to identify the factors influencing the progression of the disease. **Results:** Significant differences were observed between AHB and CHB patients in terms of median age and hospitalization duration. Variations in age, gender, education level, and occupational distributions were statistically significant ($P < 0.05$) between the two groups. Symptoms such as fever, nausea, polydipsia, palpitation, anicteric presentation, anorexia, and itching were less common in CHB patients ($P < 0.05$), while abdominal pain, jaundice, and enlarged liver were more frequent ($P < 0.05$). CHB patients exhibited significantly higher

levels of aspartate aminotransferase, viral load, bilirubin, prothrombin time, partial thromboplastin time, HBeAg, albumin, abdominal ultrasound findings, and globin ($P < 0.05$), while HBsAg and liver function test levels were significantly lower ($P < 0.05$) in CHB patients compared to AHB patients. Logistic regression identified age, gender, occupation, education level, and hospitalization duration as significant influencing factors. **Conclusion:** Males and the adult population represented a higher proportion of CHB patients, with a significant association between CHB and elevated clinical and laboratory characteristics. Age, gender, occupation, education level, and hospitalization duration were established as key influencing factors in the progression of hepatitis B.

Keywords: Acute hepatitis B, chronic hepatitis B, disease manifestations, control strategy, logistics regression

Introduction

Hepatitis B (HB) is a viral infectious disease that could manifest as either acute or chronic and poses a significant global health challenge. It was estimated that between 500,000 to 1.2 million people died annually due to chronic hepatitis, cirrhosis, and hepatocellular carcinoma (Lavanchy et al., 2004). HB is an inflammation of the liver caused by the Hepatitis B virus (HBV), which is transmitted through contact with infected body fluids, including unsafe sexual contact, blood transfusions, mother-to-child transmission during birth, cuts, and contaminated needles (RIVM, 2013). HBV could remain infectious on surfaces for up to a week (WHO, 2002). In regions with a high prevalence of HBV, such as Sub-Saharan Africa and East Asia, mother-to-child transmission and person-to-person contact during childhood were common. In contrast, transmission in wealthier regions like Western Europe and North America occurred primarily through unsafe sexual contact and injection drug use (WHO, 2013).

There were several clinical stages of HB infection. The time between infection and symptom onset, known as the incubation period, typically ranges from 6 to 26 weeks, depending on the viral dose (RIVM, 2013). Acute Hepatitis B (AHB) could present with symptoms such as fatigue, fever, joint pain, and jaundice, though many cases were asymptomatic (RIVM, 2013). Approximately two-thirds of HBV-infected individuals experienced an asymptomatic acute infection, with most recovering within three to four months and developing lifetime immunity (van Ballegooijen et al., 2009). However, about 1% of AHB cases progressed to fulminant hepatitis, a severe and often fatal condition (van de Laar et al., 2000).

Chronic Hepatitis B (CHB) occurs when acute infection persists for more than six months, affecting roughly 5% of all cases (van de Laar et al., 2000), although more recent studies indicated higher rates among specific populations, such as men who have sex with men (23%) and drug users (28%) (van Houdt et al., 2012). Chronic infection could lead to severe complications such as cirrhosis and hepatocellular carcinoma, with 25-35% of chronic patients progressing to these conditions and 15-25% dying prematurely as a result (RIVM, 2013). The risk of developing CHB was influenced by age, immune status, and gender, with newborns having a 70-90% chance of progressing to chronic infection compared to 25-50% of children under five and 5-10% of older children and adults. Men were also six times more likely than women to develop CHB. In cases of reduced immunity, HBV replication continued without severe symptoms, leading to chronic carrier status (van de Laar et al., 2000).

Changes in laboratory parameters could sometimes predict HBV infection in patients (Kumar et al., 2008). Preventing, controlling, and treating HBV and its complications requires comprehensive public health strategies. Although treatment for CHB aimed to improve quality of life, many patients, especially those on interferon therapy, experienced fatigue, low self-esteem, and reduced daily functioning (Asadi Noghabi et al., 2010). Several studies explored the risk factors for HBV in various populations, examining their role in disease progression and outcomes. However, the severity of complications is often correlated with clinical and laboratory manifestations (Kumar et al., 2008; Salimi et al., 2014).

In Ghana, the prevalence of HBV infection was high (Averhoff et al., 2016; Howell et al., 2014) and required greater public health attention (Mkandawire et al., 2013; Owusu-Ansah, 2014). Ghana was considered one of the regions with a high prevalence of chronic HBV infection (Averhoff et al., 2016; Howell et al., 2014), with studies estimating a prevalence rate of 10-15% (GhanaWeb, 2013; Teye, 2015). Other studies reported HBV prevalence rates of 6.7-11% among blood donors (Dongdem et al., 2012; Walana et al., 2014), 6.4% among pregnant women (Acquaye et al., 1994), and 15.6% among children (Martinson et al., 1996). A three-year retrospective study among 3,402 blood donors showed an overall seroprevalence of Hepatitis B surface antigen at 9.6% (Walana et al., 2014). Despite these findings, no study specifically examined the influencing factors and disease manifestations of both AHB and CHB patients in Ghana. This study, therefore, aimed to investigate these factors in a Ghanaian population to inform a control strategy for Hepatitis B.

Methods

Patients

This eight-year retrospective study recruited 569 patients with HB cases from Tamale Teaching Hospital, Ghana. Patients who had tested positive for HBV which had developed into either acute or chronic infections were included in this study. Patients who were diagnosed with liver disease or any other disease other than hepatitis B, such as hepatitis C and autoimmune hepatitis were excluded. The required demographic data on HB were searched from patients' folders at the hospital. This study sought to categorize occupations into children, students, traders, fishermen/farmers, housewives, businessmen, professionals (teachers, health professionals, etc.) and others (unskilled labour, unemployed, etc.). The outcome of the HB at the hospital was based on whether the patient was discharged or died. This study also classified educational levels into illiterate (none), primary, junior high school (JHS), senior high school including technical/vocational (SHS) and tertiary. The hospitalization duration was noted as the date the patient was admitted to the date the patient was eventually discharged or died at the hospital. The hospital approved this study and since data were analysed and reported anonymously, there was no need to request the consent of the participants involved.

Collection of Clinical and Laboratory, Statistical Analysis, Influencing Factors of Acute and Chronic HB

Qualified medical doctors (gastroenterologist) reviewed and extracted clinical and laboratory features from patients' records. The American Association for the Study of Liver Disease (AASLD) practice guidelines regarding the diagnostic criteria were followed to determine the disease manifestations of the patients (AASLD, 2011). Clinical manifestations such as jaundice, enlarged liver, variceal bleeding, abdominal pain, icterus, portal hypertension, anicteric, constipation, dark stool, fatigue, nausea, fever, anorexia, itching, palpitation, polyuria, and polydipsia were selected for this study. Laboratory manifestations were revealed mainly through the following; liver function test (LFT), renal function test (RFT), abdominal ultrasound test (USG), aspartate aminotransferase (AST) test, alanine aminotransferase (ALT) test, Viral load (HBV DNA- using Polymerase Chain Reaction) test, Hepatitis B surface antigen (HBsAg) test, hepatitis B e-antigen (HBeAg) test and lipid profile. The laboratory features were recorded as AST, ALT, prothrombin time (PT), partial thromboplastin time (PTT), bilirubin, globulin, albumin, hemoglobin, abdominal USG, RFT, LFT, HBsAg, HBeAg, viral load (HBV DNA) concentration and total cholesterol.

SPSS version 21 was used to analyze the data. Continuous variables were described as median with inter-quartile range (median (IQR)) for skewed

distributions. Categorical variables were also indicated in percentages. Comparisons between continuous variables were conducted using the Student's t-test or independent-samples Mann-Whitney U test. The chi-square test or Fisher's exact test and Spearman correlation were used for the categorical variables. Binary logistic regression was used to find out the influencing factors of HB diagnosis and the results were recorded. Odds ratios (OR) with 95% confidence intervals (CI) were used to display the results.

The clinical and laboratory features as well as demographic characteristics were compared between AHB and CHB patients. $P < 0.05$ was used to indicate the significance level.

A logistic regression model was employed to gain a deeper comprehension of the variables impacting the advancement of Hepatitis B into its acute and chronic stages. With the use of this model, we were able to examine the relationship between a number of predictor variables (including age, gender, occupation, educational level, hospitalization and location) and the binary outcome of the Hepatitis B categorization (Acute versus Chronic). The logistic regression equation is defined as follows:

$$\ln \ln \left(\frac{P}{1 - P} \right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots \dots \dots + \beta_n X_n$$

Where:

- P is the probability of a patient having CHB.
- X_1, X_2, \dots, X_n are the predictor variables (including age, gender, occupation, educational level, hospitalization and location).
- β_0 is the intercept of the model.
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ are the coefficients representing the impact of each predictor on the probability of CHB.

Results

A total of 569 patients were diagnosed with the majority being AHB representing 355(62.4%) and a little above one-third (214(37.6%)) constituting CHB patients. A greater number of patients 455(80%), who visited the hospital facility with HB cases within the study period were discharged leaving 114(20%) dead at the facility. Most of the patients 204(35.9%) who presented cases of HB to the Tamale Teaching Hospital were farmers/fishermen. Persons belonging to the business community recorded fewer cases 11(1.9%). HB cases were high 388(68.2) among patients without formal education but fewer among patients with at least primary to tertiary education (31.8%). The Northern region registered the highest number

of patients 470(82.6%) who visited the facility. Hardly did the hospital receive HB patients from Oti region 2(0.4%) (Table 1).

Table 1: Demographic characteristics

Variables	Frequency (%)
Disease Outcome	
Dead	114(20)
Discharge	455(80)
Hepatitis Diagnosis	
Acute	355(62.4)
Chronic	214(37.6)
Educational level	
None	388(68.2)
Primary	38(6.7)
JHS	17(3.0)
SHS	44(7.7)
Tertiary	82(14.4)
Occupation	
Child	34(6.0)
Student	67(11.8)
Trader/stop attendant	70(12.3)
Fishermen/Farmer	204(35.9)
Housewife	19(3.3)
Businessman	11(1.9)
Professional	72(12.7)
Others	92(16.2)
Residence(region)	
Northern	470(82.6)
Savanna	31(5.4)
Upper East	41(7.2)
Upper West	6(1.1)
North East	19(3.3)
Oti	2(0.4)

There was a significant difference in median age for acute and chronic patients (32 (24, 42) vs. 35 (28, 45) years, ($P < 0.05$). The hospitalization duration was also significant between acute (6(4,9)) and chronic (7(4,11)) HB patients. It implied that the chronic HB patients spent more days at the hospital than the acute patients. The variations in age distribution between the acute and chronic patients were statistically significant ($P < 0.05$). The majority of the chronic HB patients were males (89.3%); however, females constituted the highest number of acute HB patients. More CHB patients (25.2%) died compared to the AHB, though, the majority of the AHB (83.1%) patients were discharged from the hospital. A higher number of acute HB patients had primary, JHS and no education but less number for SHS and tertiary education compared to the CHB patients ($P < 0.05$). There were more chronic HB patients as students, traders, businessmen, professionals, and others but less as children, fishermen/farmers, and housewives compared to the acute. Most

acute HB patients lived in the Northern region (84.4%), meanwhile, both acute and chronic HB patients hardly came from the Oti region. The demographic characteristics of the two groups are summarized in Table 2.

Table 2: Demographic features on disease diagnosis

Variables	Hepatitis B Diagnosis		P-value
	Acute (%)	Chronic (%)	
Age(years)			0.005*
< 5	12(3.4)	1(0.5)	
5 to < 15	22(6.2)	3(1.4)	
15 to < 50	267(75.2)	175(81.8)	
50 and above	54(15.2)	35(16.4)	
Gender			0.005*
Female	70(19.7)	23(10.7)	
Male	285(80.3)	191(89.3)	
Hospitality duration	6(4,9)	7(4,11)	0.003*
Disease Outcome			0.016*
Dead	60(16.9)	54(25.2)	
Discharge	295(83.1)	160(74.8)	
Educational level			0.000*
None	256(72.1)	132(61.7)	
Primary	24(6.8)	14(6.5)	
JHS	12(3.4)	5(2.3)	
SHS	12(3.4)	32(15.0)	
tertiary	51(14.4)	31(14.5)	
Occupation			0.000*
Child	30(8.5)	4(1.9)	
Student	41(11.5)	26(12.1)	
Trader/stop attendant	43(12.1)	27(12.6)	
Fishermen/Farmer	138(38.9)	66(30.8)	
Housewife	16(4.5)	3(1.4)	
Businessman	4(1.1)	7(3.3)	
Professional	44(12.4)	28(13.1)	
Others	39(11.0)	53(24.8)	
Residence(region)			0.603
Northern	301(84.8)	169(79.0)	
Savanna	16(4.5)	15(7.0)	
Upper East	24(6.8)	17(7.9)	
Upper West	3(0.8)	3(1.4)	
North East	10(2.8)	9(4.2)	
Oti	1(0.3)	1(0.5)	

*Indicates significant association ($p < 0.05$); JHS, junior high school; SHS, Senior high school

Fever, nausea, polydipsia, palpitation, anicteric, anorexia and itching were less frequent, while, abdominal pain, jaundice and enlarged liver were more frequent in chronic HB than in acute HB patients. No significant differences were observed in the other clinical features between AHB and CHB patients ($P > 0.05$). The AST, viral load, bilirubin, PT, PTT, and HBeAg levels were significantly higher in chronic HB than in acute HB patients.

Serum albumin, abdominal USG, and globin were lower but LFT and HBsAg were higher in AHB than in CHB patients ($P < 0.05$). ALT, hemoglobin, RFT and total cholesterol levels were similar between AHB and CHB patients ($P > 0.05$). The prevalence of fever, nausea, polydipsia, palpitation, anicteric, anorexia, and itching correlated negatively with disease diagnosis (all $r_s =$ negative, $P < 0.05$) but abdominal pain, jaundice and enlarged liver correlated positively (all $r_s =$ positive, $P < 0.05$). AST, viral load, HBeAg, PT, PTT, bilirubin, albumin, abdominal USG, and globulin also correlated positively (all $r_s =$ positive, $P < 0.05$) with disease diagnosis whereas HBsAg and LFT correlated negatively (all $r_s =$ negative, $P < 0.05$) with disease diagnosis. There was no significant difference in the other laboratory or clinical characteristics between acute and chronic HB patients ($P > 0.05$). Clinical and laboratory characteristics of HB diagnosis are detailed in Table 3.

Table 3: Comparison of clinical and laboratory characteristics and disease diagnosis

Disease manifestations	Disease Diagnosis		P	r_s value
	Acute (%)	Chronic (%)		
Abdominal Pain	292(82.3)	206(96.3)	0.000*	0.205*
Jaundice	275(77.5)	198(90.2)	0.000*	0.161*
Fever	76(21.4)	23(10.7)	0.001*	-0.136*
Nausea	50(14.1)	12(5.6)	0.002*	-0.132*
Constipation	30(8.5)	13(6.1)	0.299	NS
Vericeal bleed	34(9.6)	32(15.0)	0.052	NS
Icterus	32(9.0)	28(13.1)	0.126	NS
Enlarge Liver	38(10.7)	44(20.6)	0.001*	0.136*
Polyuria	29(8.2)	12(5.6)	0.252	NS
Fatigue	18(5.1)	15(7.0)	0.338	NS
Polydipsia	13(3.7)	2(0.9)	0.049*	-0.082*
Palpitation	19(5.4)	4(1.9)	0.041*	-0.086*
Anicteric	13(3.7)	2(0.9)	0.049*	-0.082*
Anorexia	19(5.4)	2(0.9)	0.007*	-0.114*
Dark stool	24(6.8)	7(3.3)	0.076	NS
Portal Hypertension	14(3.9)	4(1.9)	0.171	NS
Itching	19(5.4)	2(0.9)	0.007*	-0.114*
High AST	108(30.4)	116(54.2)	0.000*	0.236*
High ALT	202(56.9)	128(59.8)	0.495	NS
Viral Load	8(2.3)	28(13.1)	0.000*	0.216*
HBeAg	3(0.8)	97(45.3)	0.000*	0.566*
HBsAg	65(18.3)	13(6.1)	0.000*	-0.172*
PT	285(80.3)	199(93.0)	0.000*	0.173*
PTT	285(80.3)	199(93.3)	0.000*	0.173*
High Bilirubin	269(75.8)	194(90.7)	0.000*	0.185*
Low albumin	264(74.4)	193(90.2)	0.000*	0.193*
Low haemoglobin	90(25.4)	62(29.0)	0.344	NS
Abdominal USG	41(11.5)	56(26.2)	0.000*	0.188*
Low globulin	74(20.8)	77(36.0)	0.000*	0.166*
RFT	38(10.7)	18(8.4)	0.374	NS
Total Cholesterol	25(7.0)	17(7.9)	0.690	NS
LFT	10(2.8)	0(0)	0.016*	-0.104*

*Indicates significant association ($p < 0.05$); NS, not significant; HB, hepatitis; r_s , correlation coefficient; RFT, renal function test; LFT, liver function test; HBsAg, Hepatitis B surface antigen; HBeAg, hepatitis B e-antigen; AST, aspartate aminotransferase; ALT, alanine aminotransferase; PT, prothrombin time; PTT, partial thromboplastin time.

Influencing factors of acute and chronic HB

From Table 4, Binary logistic regression was conducted to ascertain the influential factors associated with the diagnosis of HB. The findings revealed that with an additional one-year increase in age, patients (OR= 1.017, CI= 1.001, 1.032; $P < 0.05$) were more likely to be diagnosed with chronic HB. When compared to the female patients, the males (OR= 2.040, CI= 1.111, 3.743; $P < 0.05$) were twice more likely to be diagnosed with chronic HB. Comparison made to patients who were children revealed that, traders (OR= 4.459, CI= 1.117, 17.805; $P < 0.05$) and others (OR= 9.879, CI= 2.560, 38.130; $P < 0.05$) were four and nearly ten times likely to have chronic HB respectively. Primary (OR= 2.857, CI= 1.201, 6.797; $P < 0.05$) and SHS (OR= 8.838, CI= 3.381, 23.101; $P < 0.05$) level of education were respectively nearly three and nine times more likely to be diagnosed with chronic HB when compared with patients with no education. The study also established that if the hospitalization duration was increased by a day, patients (OR= 1.040, CI= 1.010, 1.071; $P < 0.05$) were more likely to be diagnosed with CHB than the AHB. It was found that age, gender (male), occupation (traders & others), educational level (primary & SHS) and hospitalization duration were influential factors of HB diagnosis (all $P < 0.05$).

The logistic regression model was given as:

$$\ln(P/(1 - P)) = -3.748 + 0.017 * Age + 0.713 * Gender + 1.495 * Occupation + 1.050 * Educational level + 0.039 * Hospitalization + 0.413 * Location$$

The Logistic regression model for significant factors was given as

$$\ln(P/(1 - P)) = -3.748 + 0.017 * Age + 0.713 * Gender + 1.495 * Occupation + 1.050 * Educational level + 0.039 * Hospitalization$$

Probability Prediction

A respondent of 35 years old man (1), who was a trader (1) with a primary level of education (1) and had been hospitalized for average days of six and a half. The probability of predicting CHB compared with AHB among the patients given the above characteristics would be given as:

$$\ln(P/(1 - P)) = -3.748 + 0.017 * Age + 0.713 * Gender + 1.495 * Occupation + 1.050 * Educational level + 0.039 * Hospitalization$$
$$P = 1/(1 + e^{(-3.748 + 0.017 * Age + 0.713 * Gender + 1.495 * Occupation + 1.050 * Educational level + 0.039 * Hospitalization)})$$

$$P = 1/(1 + e^{(-3.748 + 0.017(35) + 0.713(1) + 1.495(1) + 1.050(1) + 0.039(6.5))})$$

$$P = 1/(1 + e^{(-3.748 + 0.595 + 0.713 + 1.495 + 1.050 + 0.2535)})$$

$$P = 1/(1 + e^{(0.3585)})$$

$$P = 1/(1 + 2.7183)$$

$$P = 1/(3.7183)$$

$$P = 0.2689$$

Based on these clinical and demographic factors, it was determined that the likelihood of this individual having chronic hepatitis B was 26.9%. Even though these characteristics could increase the risk of CHB, the likelihood showed that the risk was low and that there might be other factors at play as well, which could affect the probability either way.

Table 4: Binary Logistic regression showing the factors of Acute and Chronic HB

Factors	B	P-value	Exp (B) / OR	95% C.I for Exp (B)		
				Lower	Upper	
Age	0.017	0.027	1.017	1.001	1.032	
Gender	0.713	0.021	2.043	1.114	3.747	
Occupation	traders	1.495	0.034	4.459	1.117	17.805
	others	2.290	0.001	9.879	2.560	38.130
Education	primary	1.050	0.018	2.857	1.201	6.797
	SHS	2.179	0.000	8.838	3.381	23.101
Hospitalization	0.039	0.010	1.040	1.010	1.071	
Location	0.413	0.321	1.511	0.669	3.414	
Constant	-3.748	0.000	0.024			

Discussion

Hepatitis B is a significant public health concern that can progress into chronic liver disease, cirrhosis, and hepatocellular carcinoma (Deny et al., 2010). Hepatitis B Virus (HBV) infections can result in a wide range of clinical manifestations. Approximately 90-95% of HBV infections in adults resolve as acute infections with subsequent viral clearance, while 5-10% progress to chronic infections (He et al., 2006; Ganem et al., 2004; Rehmann et al., 2005). A study on both adults and children showed that older individuals, particularly females, are more likely to develop clinical disease compared to younger individuals. In children under 5 years, only 9.5% develop clinical hepatitis after acute HBV infection compared to 33.3% of adults aged 30 years and above (McMahon et al., 1985).

Our study yielded similar findings, showing that age distribution is significant, with a higher proportion of older individuals and females among acute HB patients, and a lower prevalence of chronic HB in children. We also observed that fever, nausea, polydipsia, palpitation, anicteric presentation, anorexia, and itching are less common, while abdominal pain, jaundice, and enlarged liver are more frequent in chronic HB compared to acute HB patients.

In line with our findings, a study on acute HB in pregnant and non-pregnant patients found fever to be associated with HB, while fatigue levels were similar between the two groups (Han et al., 2014). Conversely, Nazarnezhad et al. (2018) found no significant association between fever and HB. Our study also established that levels of AST, viral load, bilirubin, prothrombin time (PT), partial thromboplastin time (PTT), and HBeAg were significantly higher in chronic HB compared to acute HB patients. Serum albumin, abdominal ultrasound (USG), and globin were lower, while liver function test (LFT) and HBsAg levels were higher in acute HB patients. Contrary to our findings, Hugo et al. (2018) detected no HBsAg, indicating no acute or chronic infection.

Our results regarding AST being higher in chronic HB are supported by Sali et al. (2013), though their findings differ in relation to ALT levels, which they found to be higher in chronic HB, unlike our study where ALT, hemoglobin, renal function test (RFT), and total cholesterol levels were similar between acute and chronic HB patients. Additionally, Han et al. (2014) found varied results in relation to HBsAg and AST levels in non-pregnant patients, though they did observe a similar pattern to our study for serum bilirubin levels. Nazarnezhad et al. (2018) also revealed that AST and PT were significant, but ALT and total cholesterol were not, while our study found these factors insignificant. Furthermore, Nazarnezhad et al. (2018) found hemoglobin levels to be significant in chronic HB, while PTT levels were not, in contrast to our findings.

The T-cell-mediated HBV-specific immune response is reflected in elevated serum ALT levels or symptoms (Ratnam et al., 2008). The relatively insignificant clinical symptoms and lower laboratory parameters in acute and chronic HB patients may indicate differences in their immune response. According to acute hepatitis B guidelines, patients who are HBV DNA-positive or HBsAg-positive are considered chronic carriers (CDCP, 2005), and should be counselled accordingly.

Our study found that the prevalence of fever, nausea, polydipsia, palpitation, anicteric symptoms, anorexia, and itching correlated negatively with disease diagnosis, while abdominal pain, jaundice, and enlarged liver correlated positively. This is consistent with Nazarnezhad et al., who found a significant association between anorexia, nausea, enlarged liver, and jaundice in HB patients. Additionally, AST, viral load, HBeAg, PT, PTT, bilirubin, albumin, abdominal USG, and globulin were positively correlated with disease diagnosis, while HBsAg and LFT were negatively correlated. Similar findings were reported by Keshvari et al. (2015) and Li et al. (2018), who also found that HBV DNA and HBsAg correlated significantly with chronic HB patients. However, both studies contradicted our results by indicating that bilirubin and AST levels do not significantly correlate with chronic HB.

Binary logistic regression in this study revealed that age, gender, occupation, educational level, and hospitalization duration are key factors influencing HB diagnosis. Several studies (Alavian et al., 2012; Gheorghe et al., 2013; Khan et al., 2011) support our finding that age is a significant factor, though Yang et al. (2017) disagreed. Regarding gender, our study aligns with previous research (Behal et al., 2008; Deng et al., 2013; Khan et al., 2011; Ochola et al., 2013; Ozer et al., 2011), which found a higher prevalence in males, though other studies (Alavian et al., 2012; Yang et al., 2017) report contrary findings. Our study also found the educational level to be a significant factor, with a decreasing prevalence of HB associated with higher education, possibly due to increased awareness and higher vaccine uptake (Hur et al., 2012). Most patients (two-thirds) had no formal education, suggesting that awareness campaigns should be tailored to less educated populations. Similarly, Yang et al. (2017) identified occupation as a significant factor, with a higher incidence of HB in farming and fishing communities, raising public health concerns.

Discrepancies between studies may be attributed to genetic, sociodemographic, and environmental factors, differences in study design, and patient selection. To our knowledge, this is the first study in the region that has comprehensively reviewed influencing factors and disease manifestations in acute and chronic HB patients with the aim of developing a control strategy. However, data collection was retrospective, introducing the possibility of recall bias, some patients were excluded due to insufficient data and also, data were collected from a single teaching hospital which may not fully represent the broader population.

Conclusions

This study revealed that males as well as adults constitute a higher percentage of patients with CHB and also spent more days on admission. It was established that AHB patients were mostly uneducated and very dominant in the farming/fishing community. Even though a significant number of disease manifestations were associated with CHB patients, laboratory features were predominantly associated with CHB patients while also a greater number of clinical features were significantly associated with AHB patients. Age, gender, occupation, educational level, and hospitalization duration were established as the influencing factors of HB in the study. It is satisfying to note that the findings of this study can be used to create clinical management and awareness programs for hospitals and the public respectively. Hepatitis B education targeted at the uneducated population may be considered as a potential strategy for preventing the menace. A further study may look at clinical and basic studies to validate the findings and also explain the fundamental mechanisms.

Declaration for Human Participants: This study has been approved by Tamale Teaching Hospital and the principles of the Helsinki declaration were followed.

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

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

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

References:

1. AASLD. (2011). <https://www.aasld.org/publications/practice-guidelines-0-2011> [Accessed 15 September 2023].
2. Acquaye JK, Mingle JA. (1994). Hepatitis B viral markers in Ghanaian pregnant women. *West African journal of medicine*. 13(3): 134-7.
3. Alavian SM, Tabatabaei SV, Ghadimi T, Beedrapour F, Kafi-Abad SA, Gharehbaghian A, et al. (2012). Seroprevalence of hepatitis B virus infection and its risk factors in the west of Iran: a population-based study. *Int J Prev Med*. 3:770–5.
4. Asadi Noghabi AA, Zandi M, Mehran A, Alavian SM, Dehkordi AH. (2010). The Effect of Education on Quality of Life in Patients under Interferon Therapy. *Hepatitis Monthly*, 10:218-22.
5. Averhoff F. (2016). Hepatitis B. <http://wwwnc.cdc.gov/travel/yellowbook/2016/infectious-diseases-related-to-travel/hepatitis-B>. [Accessed 23 September 2023].
6. Behal R, Jain R, Behal KK, Bhagoliwal A, Aggarwal N, Dhole TN. (2008). Seroprevalence and risk factors for hepatitis B virus infection among the general population in Northern India. *Arq Gastroenterol*, 45 (2):137–40.
7. Centers for Disease Control and Prevention (2005). Guidelines For Viral Hepatitis Surveillance And Case Management. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention. <http://www.cdc.gov/hepatitis/PDFs/2005Guidlines-Surv-CaseMngmt.pdf>. [Accessed 23 September 2023].
8. Deng QJ, Pan YQ, Wang CY, Li FL, Lv SJ, Hu SY, Ning T, et al. (2013). Prevalence and risk factors for hepatitis B in Hua County, Henan Province. *Beijing Da Xue Xue Bao* 2013;45 (6):965–70.
9. Deny P, Zoulim F. (2010). Hepatitis B virus: from diagnosis to treatment. *Pathol Biol (Paris)* 58:245–53.
10. Dongdem JT, Kampo S, Soyiri IN, Asebga PN, Ziem JB, Sagoe K. (2012). Prevalence of hepatitis B virus infection among blood donors

- at the Tamale Teaching Hospital, Ghana (2009). BMC research notes, 5: 115.
11. Ganem D, Prince AM. (2004). Hepatitis B virus infection-natural history and clinical consequences. *N Engl J Med.* 350:1118–29.
 12. GhanaWeb. (2013). Ghana Rated High Risk for Hepatitis B and [http://www.ghanaweb.com/GhanaHomePage/health/Ghana-rated-high-risk-for-Hepatitis B-C-280781](http://www.ghanaweb.com/GhanaHomePage/health/Ghana-rated-high-risk-for-Hepatitis-B-C-280781). [Accessed 16 September 2023].
 13. Gheorghe L, Csiki IE, Iacob S, Gheorghe C. (2013). The prevalence and risk factors of hepatitis B virus infection in an adult population in Romania: a nationwide survey. *Eur J Gastroenterol Hepatol.* 25(1):56–64.
 14. Han YT, Sun C, Liu CX, Xie SS, Xiao D, Liu L, et al. (2014). Clinical features and outcome of acute hepatitis B in pregnancy. *BMC Infect Dis.* 14:368.
 15. He YL, Zhao YR, Zhang SL, Lim SM. (2006) Host susceptibility to persistent hepatitis B virus infection. *World J Gastroenterol,* 12(30):4788–93.
 16. Howell J, Ladep NG, Lemoine M, Thursz MR, Taylor-Robinson SD. (2014). Hepatitis B in Sub-Saharan Africa. *South Sudan Med J.* 7(3):59–61.
 17. Hugo LG, Lourdes GG, Gabriela EA, Pablo CH, María OP, Deyanira CD, et al. (2018). Hepatitis B seroprevalence in 10-25-year-olds in Mexico - the 2012 national health and nutrition survey (ENSANUT) results, *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, DOI: 10.1080/21645515.2018.1533617.
 18. Hur K, Wong M, Lee J, Lee J, Juon HS. (2012). Hepatitis B infection in the Asian and Latino communities of Alameda County, California. *J Community Health* 37 (5):1119–26.
 19. Janahi EM. (2014). Prevalence and risk factors of hepatitis B virus infection in Bahrain, 2000 through 2010. *PLoS One.* 9:e87599.
 20. Keshvari M, Alavian SM, Sharafi H.(2015). Comparison of Serum Hepatitis B Virus DNA and HBsAg Levels Between HBeAg-Negative and HBeAg-Positive Chronic Hepatitis B Patients. *Jundishapur J Microbiol.* 8(3): e21444.
 21. Khan F, Shams S, Qureshi ID, Israr M, Khan H, Sarwar MT, et al. (2011). Hepatitis B virus infection among different sex and age groups in Pakistani Punjab. *Virol J.* 8:225.
 22. Khosravani A, Sarkari B, Negahban H, Sharifi A, Toori MA, Eilami O. (2012). Hepatitis B Infection among the high-risk population: a seroepidemiological survey in the southwest of Iran. *BMC Infect Dis.* 12:378.

23. Kumar M, Sarin SK, Hissar S, Pande C, Sakhuja P, Sharma BC, et al. (2008) Virologic and histologic features of chronic hepatitis B virus-infected asymptomatic patients with persistently normal ALT. *Gastroenterology*, 134(5):1376-84.
24. Lavanchy D. (2004) Hepatitis B virus epidemiology, disease burden, treatment, and current and emerging prevention and control measures. *J Viral Hepat.* 11(2):97-107.
25. Li MR, Zheng HW, Ma SM, Liu YY, Qie LX, Li JQ, et al. (2018) Correlations between serum hepatitis B surface antigen and hepatitis B core antibody titers and liver fibrosis in treatment-naïve CHB patients. *J Chin Med Assoc.* 81(12):1052-1059.
26. Martinson FE, Weigle KA, Mushahwar IK, Weber DJ, Royce R, Lemon SM. (1996). Seroepidemiological survey of hepatitis B and C virus infections in Ghanaian children. *Journal of medical virology*, 48(3): 278-83.
27. McMahon BJ, Alward WL, Hall DB, Heyward WL, Bender TR, Francis DP. et al. (1985). Acute hepatitis B virus infection: relation of age to the clinical expression of disease and subsequent development of the carrier state. *J Infect Dis.* 151:599-603.
28. Mkandawire P, Richmond C, Dixon J, Luginaah IN, Tobias J. (2013). Hepatitis B in Ghana's Upper West Region: a hidden epidemic in need of national policy attention. *Health Place.* 23:89–96. DOI: 10.1016/j.healthplace.2013.06.001.
29. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). Hepatitis B. [http://www.rivm.nl/Onderwerpen/H/Hepatitis B](http://www.rivm.nl/Onderwerpen/H/Hepatitis_B). [Accessed 21 November 2023].
30. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). Nationaal Kompas volksgezondheid: Hepatitis B, 2013. <http://www.nationaalkompas.nl/gezondheid-en-ziekte/ziekten-en-aandoeningen/infectieziekten-en-parasitaire-ziekten/soa/hepatitis-B>. [Accessed 21 November 2023].
31. Nazarnezhad M, Moosavy SH, Davoodian P, Eftekhari E, Nejatizadeh A, Azad M. (2018). The demographic and paraclinical characteristics of patients with hepatitis B presenting to Shahid Mohammadi Hospital and Clinic and other private clinics in Bandar Abbas, Iran. *J Adv Pharm Technol Res.* 9:139-46.
32. Ochola E, Ocama P, Orach CG, Nankanga ZK, Kalyango JN, McFarland W, et al. (2013). High burden of hepatitis B infection in Northern Uganda: results of a population-based survey. *BMC Public Health*, 13:727.
33. Owusu-Ansah T. (2014). *Viral Hepatitis in Ghana: The Role of the Government*

- <http://www.ghanaweb.com/GhanaHomePage/NewsArchive/Viral-Hepatitis-In-Ghana-The-Role-Of-The-Government-222118>
[Accessed 15 September 2023].
34. Ozer A, Yakupogullari Y, Beytur A, Beytur L, Koroglu M, Salman F, et al. (2011). Risk factors of hepatitis B virus infection in Turkey: a population-based, case-control study: risk factors for HBV infection. *Hepat Mon.* (4);11:263–8.
 35. Ratnam D, Visvanathan K. (2008). New concepts in the immunopathogenesis of chronic hepatitis B: the importance of the innate immune response. *Hepato Int.* 2(1):12–18.
 36. Rehermann B, Nascimbeni M. (2005). Immunology of hepatitis B virus and hepatitis C virus infection. *Nat Rev Immunol.* 5:215–29.
 37. Sali S, Alavian SM, Foster GR, Keyvani, H, Mehrnoosh L, Mohammadi N. (2013). Influencing Factors on the Outcome and Prognosis of Patients With HBV Infection: Seven Years Follow-up. *Hepatitis Monthly*, 13:e8743. <http://doi.org/10.5812/hepatmon.8743>.
 38. Salimi N, Jahan A, Hazrati S. (2014). Evaluation of the prevalence of hepatitis B surface antigen and its related factors in pregnant women referring to health centres in Ardabil city in 2009. *Health J.* 5:58-248.
 39. Teye J. (2015). Ghana risks losing productive youth to Hepatitis-Medical Professor. <http://www.myjoyonline.com/lifestyle/2015/September-15th/ghana-risks-losing-productive-youth-to-hepatitis-medical-professor.php>. [Accessed 15 September 2019].
 40. van Ballegooijen WM, van Houdt R, Bruisten SM, Boot HJ, Coutinho RA, Wallinga J. (2009). Molecular sequence data of hepatitis b virus and genetic diversity after vaccination. *American Journal of Epidemiology*, 170(12):1455–1463.
 41. van de Laar MJW, Beuker RJ, Rijlaarsdam J, van Duynhoven YTHP. (2000). Hepatitis B. Technical Report 441500 011, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
 42. van Houdt R, Bruisten SM, Speksnijder AG, Prins M. (2012). Unexpectedly high proportion of drug users and men having sex with men who develop chronic hepatitis B infection. *Journal of Hepatology*, 57(3):529–533.
 43. Walana W, Hokey P, Ahiaba S. (2014). Sero-Prevalence of Hepatitis B Virus Infection among Blood Donors: A Retrospective Study in the Kintampo Municipal Hospital, Ghana. *Open Journal of Medical Microbiology*, 4: 64-9.
 44. World Health Organization. (2002). Global alert and response (gar): Hepatitis B,

- <http://www.who.int/csr/disease/hepatitis/whocdscsrlyo20022/en/index3.html> [Accessed 21 November 2023].
45. World Health Organization. (2013). Fact sheet no 204: Hepatitis B. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs204/en/> [Accessed 21 November 2019].
46. Yang S, Ding C, Cui Y, Wu J, Yu C, Chen P, et al. (2017). Prevalence and influencing factors of hepatitis B among a rural residential population in Zhejiang Province, China: a cross-sectional study. *BMJ Open*, 7(4):e014947. DOI:10.1136/bmjopen-2016- 014947

Selection and phenotypic stability of M4 mutants of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) derived from gamma rays induced mutagenesis in Niger

Mounkaila Boureima Mouhamadou

Daouda Ousmane Sani

Issa Yacouba Abdoul-Bachir

Sani Daouda Abdoul Razak

Mahamadou Adamou Nassirou

Lawali Mamane Nassourou

Soumaila Sounakoye Illiassa

Institut des Radio Isotopes, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p76](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p76)

Submitted: 29 August 2024

Accepted: 22 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Mounkaila Boureima M., Daouda Ousmane S., Issa Yacouba A.B., Sani Daouda A.R., Mahamadou Adamou N., Lawali M.N. & Soumaila Sounakoye I. (2024). *Selection and phenotypic stability of M4 mutants of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) derived from gamma rays induced mutagenesis in Niger*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 76. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p76>

Abstract

Gamma irradiation mutagenesis is an approach that offers a wide range of possibilities for varietal selection. In the simultaneous induction of multiple mutations to modify several plant traits. The aim of the present study was to select seed lots for four mutants of the M4 generation. An experiment was carried out in an experimental plot to purify drought-tolerant M4 genotypes based on morphological characteristics. Potential mutants MI 02/82, MI 13/63, MI 12/72, and MI 10/54 were tested in a randomized complete block design. The parameters measured were: the number of tillers, stem height, number of internodes, number and length of ears, stem and spike diameters, and cycle duration. A dendrogram was first generated to identify the homogenous subgroups. Then an analysis of variance ANOVA was conducted between individuals of the same subgroups to evaluate the variance. On morphological parameters, results showed that MI 13/63 and MI 10/54 genotypes have a homogeneous population from M4 onwards. MI 12/72 can be classified into

two different subgroups according to ear length. MI 02/82, on the other hand, showed a high degree of variability at M4. These results will contribute to the selected new varieties adapted to the needs of rural producers in order to improve the productivity of pearl millet in Niger.

Keywords: *Pearl millet* - Gamma rays - M4 mutants - Crop breeding - Morphological diversity

Introduction

Millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] is the sixth most important cereal in the world, cultivated on thirty million hectares mainly in the arid and semi-arid zones of Asia and Africa (Satyavathi et al., 2021). Millet culture is facing the effects of climate change, crossing losses of up to 20% in grain and 5% in biomass (Benoit & Mandéla, 2015). The vegetative, reproductive and physiological characteristics of millet make it tolerant to low soil fertility, high soil pH, drought, high temperatures and salinity (Varshney et al., 2017). Selection by mutagenesis is a flexible and practical approach, that can be applied crops with precise objectives and appropriate selection methods (Oladosu et al., 2016). It has become an interesting approach for plant improvement and its advantage lies in its ability to improve one or more specific traits of the preferred variety (Hase et al., 2020). Gamma rays have the advantage of being highly effective in generating a high frequency of mutations that can lead to loss of gene function (Kazama et al., 2017).

Therefore gamma rays have become the most frequently used mutagen agent in plant breeding (Beyaz & Yildiz, 2017; Hase et al., 2020). However, in millet breeding, few studies have been conducted on the rate and effectiveness of physical mutagens on the characteristics of inbred millet lines due to natural genetic variation (Serba et al., 2017). The effects of gamma ray mutagenesis on the morphological parameters of millet are multiple and manifest stem height and diameter of stems, leaf shrinkage, seed size, earliness or cycle length and ears length (Ambli & Mullainathan, 2015). These mutations are characterized by a high heritability of characters in M2 (Abdalla et al., 2016) and on the number of nodes, stem and ear diameter in the M3 generation (Ambli, 2018). However, selection in the M3 generation of millet mutants is less effective because of the high genetic variability (Maryono et al., 2020).

As part of the genetic improvement program for water stress tolerance, the millet variety HKP (Haini Kirey Precoce) was irradiated with 250 Gray gamma rays. From a morphological term, HKP has an average tillering capacity, with stems 190 to 200 cm long, and ears of intermediate length. It has the particularity of being an earlier local variety, with a sowing-maturing cycle of 75 to 90 days (MA/Niger, 2021). The aim of this study is to investigate

the morphological variability of M4 genotypes for the effective selection of four water-stress tolerant millet mutants.

Methods

The material consists of populations of four drought-tolerant M4 genotypes MI 02/82, MI 13/63, MI 12/72 and MI 10/54 of millet derived from a mutagenesis process using gamma irradiation at the *Laboratoire de Biotechnologie et Amélioration des Plantes (LABAP) de l'Institut des Radio Isotopes (IRI) de l'Université Abdou Moumouni (UAM) de Niamey*. The device is a randomized complete block (Figure 1). All measures were taken to ensure controlled pollination. The following parameters were measured: heading date (HD), number of tillers (NT) per plant, stem diameter (SD) and ear diameter (ED), plant height (PLH) and ear length (EL), number of ears (NE) and number of nodes (NN).

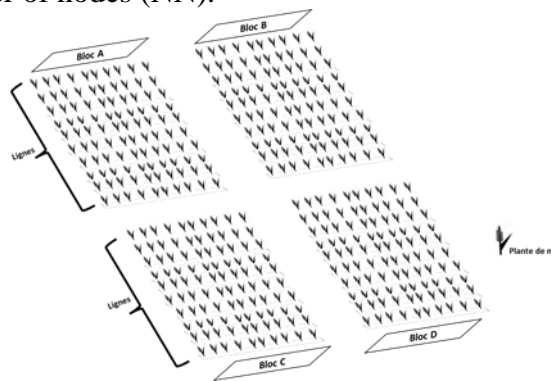


Figure 1: Schematic diagram of the experimental set-up. Each block (A, B, C and D) is dedicated to a single genotype family

Data analysis

A hierarchical classification was carried out to generate dendrograms in the populations of each of the four genotypes, using R software. Correlations between measured parameters were highlighted by bottom-up classification. Branches at the precise height of 2 dendrogram units were used as the discrimination threshold. The averages of individuals from the different class were analyzed by ANOVA (at the 5% threshold) using GenStat software, to highlight their homogeneity.

Results

Analysis of genotype diversity based on dendrograms shows a higher height for MI 02/82 and MI 13/63 (10 and 7 units) than for MI 12/72 and MI 10/54 (6 and 5 units) (Figure 2). At the precise height of 2 units on the dendrogram scale in Figure 2a, MI 02/82 genotypes hold more branches (13 branches) compared with only 6, 5 and 4 branches for MI 13/63, MI 12/72 and

MI 10/54 respectively (Figure 2b, c and d). Through the subfamilies, MI 13/63 and MI 10/54 genotypes have 10.7 and 8.5 nodes respectively for stem heights of 182.8 and 157 cm. Whereas MI 12/72 has an average of 8.8 nodes for a stem height of 150 cm (Tables S2 and S3).

The results of the analysis of variance allowed us to transform the branches of the MI 13/63, MI 12/72 and MI 10/54 genotypes into different classes, based on the high similarity between individuals. This allows us to distinguish 13 class for MI 02/82, 6 class for MI 13/63, 5 and 4 class, respectively for MI 12/72 and MI 10/54.

These results indicate that MI 02/82 classes were statistically different for the parameters studied (Table S1). Contrary to MI 10/54 genotypes, which are statically identical for all the parameters studied. The MI 13/63 and MI 12/72 genotypes were different in number of tillers (Table S2) and ear length (Table S3), respectively. For MI 13/63 genotype, the difference between subgroups was in the number of tillers, which varied from 9.5 to 19.5 tillers (Figure 3). Whereas in MI 12/72, ear length varies with an average of 36 to 52 cm between classes (Figure 4).

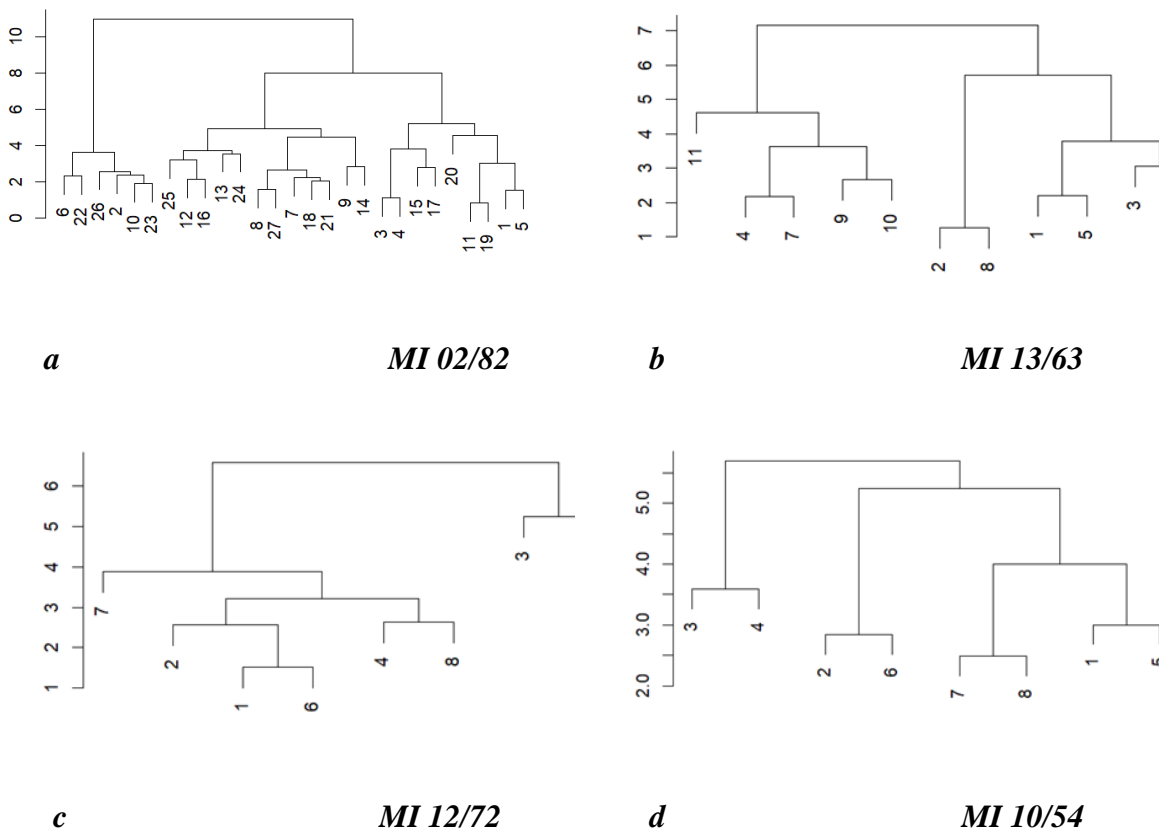


Figure 2: Hierarchical classification of genotypes. *The letters a, b, c and d, designate the MI 02/82, MI 13/63, MI 12/72 and MI 10/54 dendrograms respectively*

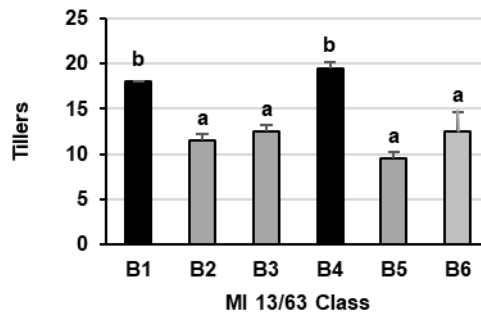


Figure 3: MI 13/63 number of tiller (NT) classification ($p < 0,001$). The letters *a* and *b* indicate significantly different classes for the number of tillers Parameter.

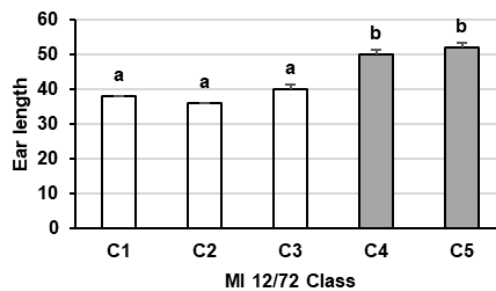


Figure 4: MI 12/72 ear length classification (EL) ($p = 0,001$). The letters *a* and *b* indicate significantly different classes for the ear length parameter

Tableau 4: Classification of MI 10/54 genotypes into subfamilies

Parameters	Classes					Means	Probability
	D1	D2	D3	D4			
HD	65,5 ±2,1	56,5 ±2,1	52,0 ±2,8	61,5 ±9,2	59,00	0,283	
NN	9,5 ±0,7	7,0 ±0,0	9,0 ±0,0	8,5 ±0,7	8,50	0,072	
NT	18,5 ±2,1	15,0 ±0,0	13,0 ±4,2	13,0 ±0,0	14,88	0,179	
NE	9,5 ±4,9	5,0 ±2,8	8,0 ±1,4	6,5 ±0,7	7,20	0,558	
SD	1,3 ±0,3	0,8 ±0,0	1,1 ±0,1	1,5 ±0,0	1,170	0,068	
PLH	168,5 ±16,3	140,0 ±28,3	158,5 ±2,1	161,0 ±5,7	157,00	0,419	
EL	36,5 ±7,8	36,5 ±3,5	38,5 ±0,7	57,0 ±9,9	42,1	0,052	
ED	1,5 ±0,1	1,7 ±0,0	1,8 ±0,2	2,0 ±0,2	1,762	0,187	

($p = 0,001$). The letters *a* and *b* indicate significantly different classes for the ear length parameter

HD: Heading date, **NN :** Number of nodes, **NT :** Number of tillers, **NE :** Number of ears, **SD :** Stem diameter, **PLH :** Plant height, **EL :** Ear length, **ED :** Ear diameter.

Discussion

Mutagenesis by gamma irradiation induces genetic variability in millet, making it possible to obtain mutants with outstanding agronomic performance (Addai & Yahaya, 2018). Selection significantly reduces genotypic and phenotypic variance of the M4 generation of gamma irradiated sesame mutants (ARISTYA et al., 2017). In millet, the number of effective

stems per plant, panicle length and panicle diameter have high heritability and genetic advance (PA et al., 2023). In this study, analysis by hierarchical classification shows morphological diversity that varies to genotype. All four genotype families were performed individually. MI 02/82 shows more variability at generation M4 than genotypes MI 13/63, MI 12/72 (Figure 2). MI 10/54 genotype represents the most homogeneous of all the parameters studied in the M4 generation (Table 4). Morphological variability in gamma-irradiated genotypes varies with dose and variety (Saibari et al., 2023). Because irradiation mutation randomly affects morphological characteristics (Abdullah et al., 2018). All four genotype families performed individually. This confirms the existence of intraspecific variability in crop radio-sensitivity reported by Hazra et al., (2022).

The MI 13/63 genotype family could be considered as morphologically homogeneous group. However, the number of tillers contributes significantly to the agronomic traits of millet. (Naoura et al., 2020), but has a low heritability (Yahaya, 2015). In rice M4 mutant, irradiation did not affect the number of tillers (Bella, 2021). On the contrary, the average length of the ears is a selection index for millet (Patil et al., 2018). Thus, it is possible to distinguish two subgroups of MI 12/72 (short ears and medium ears) with a significant difference in ear length. Based on the classification of Singh et al., (2016), the MI 13/63 and MI 10/54 genotypes have a low number of nodes and medium stem height (Tables S2 and 4). While MI 12/72 has short stems. This indicates that the MI 13/63 and MI 10/54 genotypes are similar in stem height to HKP, while MI 12/72 is shorter and this reduction in stem height could be induced by gamma irradiation. Similar effects were observed in about M4 rice mutants (Hanifah et al., 2020).

Conclusions

In this study, we sought to assess the homogeneity of millet mutants in the M4 generation, with a perspective on morphological purification. The results showed that morphological purification is variable between mutants. Genotypes MI 13/63 and MI 10/54 are homogeneous, MI 12/72 has an intermediate homogeneity and MI 02/82 shows variability in all the parameters studied. In conclusion, morphological homogeneity can be obtained on the M4 generation in millet mutagenesis by gamma irradiation. But it will be necessary to conduct this study on subsequent generations to determine the specific stage for the purification of each mutant.

Acknowledgment: The authors would like to thank Djatta Moumouni and all the students for their enormous contribution to data collection and Halima Alma Oumarou for his contribution to the English translation of this document.

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

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

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

References:

1. Abdalla, M., Yassein, H.E., & Okasha, M. (2016). *Mutagenic effect of dimethyl sulphate and gamma rays on pearl millet (Pennisetum glaucum, L.)*. Al-Azhar Journal for Agricultural Researches, 26, 293-307.
2. Abdullah, S., Kamaruddin, N. Y., & Harun, A. R. (2018). *The Effect of Gamma Radiation on Plant Morphological Characteristics of Zingiber officinale Roscoe*. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 8(5), 2085-2091. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.5.4641>
3. Addai, I., & Yahaya, B. (2018). *Response of pearl millet (Pennisetum glaucum.) to experimental mutagenesis in the Guinea Savannah agro-ecology of Ghana*. Ghana Journal of Development Studies, 15, 22. <https://doi.org/10.4314/gjds.v15i1.2>
4. Ambli, K., & Mullainathan, L. (2015). *Chlorophyll and morphological mutants of Pearl millet (Pennisetum typhoides (Burn.) stapf. Var. CO (cu)9*. Euro. J. Exp. Bio., 2015, 5(3) :72-77.
5. Ambli, L. (2018). *Effect of mutagens on quantitative characters in M3 generation of pearl millet (Pennisetum typhoides (BURN.F) STAPF. AND C.E. HUBB.)*. Journal of Phytology, 01-05. <https://doi.org/10.25081/jp.2018.v10.3404>
6. ARISTYA, V. E., Taryono, & Rani, A. W. (2017). *Evaluation of genetic parameters in M4 and M5 generations of sesame mutant lines*. SABRAO J. Breed. Genet. 49 (2) 201-201 https://acadstaff.ugm.ac.id/karya_files/evaluation-of-genetic-parameters-in-m4-and-m5-generations-of-sesame-mutant-lines-28f179c7eedf73fbb790ac461804b086
7. Bella, R. A. (2021). *Improvement of Rice Phenotype of M4 Sigupai Irradiated by Gamma Ray*. 2319-2372. Volume 14, Issue 3 Ser. II PP 36-41. <https://doi.org/10.9790/2380-1403023641>
8. Benoit, S., & Mandéla, H. (2015). *Atlas agroclimatique sur la variabilité et le changement climatique au Niger* (p. 37). Agrhymet /CILLS. <https://dudal.org/files/original/863a2c907349898300cea1414798ffc0dc0d56fa.pdf>

9. Beyaz, R., & Yildiz, M. (2017). *The Use of Gamma Irradiation in Plant Mutation Breeding*. In S. Jurić (Éd.), *Plant Engineering*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69974>
10. Hanifah, W. N., Parjanto, P., Hartati, S., & Yunus, A. (2020). *The performances of M4 generation of Mentik Susu rice mutants irradiated with gamma-ray*. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(9), Article 9. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210915>
11. Hase, Y., Satoh, K., Seito, H., & Oono, Y. (2020). *Genetic Consequences of Acute/Chronic Gamma and Carbon Ion Irradiation of Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science*, *Front Plant Sci.* 25 :11:336. doi: 10.3389/fpls.2020.00336. eCollection 2020.
12. Hazra, S., Gorai, S., Bhattacharya, S., Bose, S., Hazra, P., Chattopadhyay, A., & Maji, A. (2022). *Radio-sensitivity of diverse tomato genotypes with respect to optimization of gamma irradiation dose*. *Brazilian Journal of Botany*, 45(3), 917-927. <https://doi.org/10.1007/s40415-022-00823-2>
13. Kazama, Y., Ishii, K., Hirano, T., Wakana, T., Yamada, M., Ohbu, S., & Abe, T. (2017). *Different mutational function of low- and high-linear energy transfer heavy-ion irradiation demonstrated by whole-genome resequencing of Arabidopsis mutants*. *The Plant Journal*, 92(6), 1020-1030. <https://doi.org/10.1111/tpj.13738>
14. MA/Niger. (2021). *Catalogue National des Espèces et Variétés Végétales* (2 ; p. 304). Ministère de l'Agriculture. https://reca-niger.org/IMG/pdf/catalogue_des_especies_et_varietes_niger.pdf
15. Maryono, M., Sihono, Indriatama, W. M., & Human, S. (2020). *Performance and estimation genetic variability of M3 pearl millet (Pennisetum glaucum) populations*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 484(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/484/1/012021>
16. Naoura, G., Sawadogo, N., Djirabaye, N., & Hassane, M. (2020). *Agronomic performance of improved pearl millet cultivars in southern Chad*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14, 2980-2991. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.2>
17. Oladosu, Y., Rafii, M. Y., Abdullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H. A., Miah, G., & Usman, M. (2016). *Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement : A review*. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 30(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1087333>
18. PA, G., HS, P., PR, P., & Donga, A. (2023). *Study of genetic variability, heritability and genetic advance for yield and its component traits in pearl millet [Pennisetum glaucum (L.) R. Br.]*. *The*

- Pharma Innovation, 12, 4305-4308. <https://doi.org/10.22271/tpi.2023.v12.i3au.19425>
19. Patil, K. S., Gupta, S., Dangi, K., Shashibhushan, D., Balram, M., & Ramesh, T. (2018). *Panicle Traits and Plant Height are Important Selection Indices to Enhance Productivity in Pearl Millet (Pennisetum glaucum L.R.Br.) Populations*. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7, 306-312. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.712.037>
 20. Saibari, I., Barrijal, S., Mouhib, M., Belkadi, N., & Hamim, A. (2023). *Gamma irradiation-induced genetic variability and its effects on the phenotypic and agronomic traits of groundnut (Arachis hypogaeaL.)*. Frontiers in Genetics, 14. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2023.1124632>
 21. Satyavathi, C. T., Ambawat, S., Khandelwal, V., & Srivastava, R. K. (2021). *Pearl Millet : A Climate-Resilient Nutricereal for Mitigating Hidden Hunger and Provide Nutritional Security*. Frontiers in Plant Science, 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.659938>
 22. Serba, D. D., Perumal, R., Tesso, T. T., & Min, D. (2017). *Status of Global Pearl Millet Breeding Programs and the Way Forward*. Crop Science, 57(6), 2891-2905. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.11.0936>
 23. Singh, S., Y, P., H, P., D, V., & Yadav, N. (2016). *Morphological characterization of pearl millet hybrids [Pennisetum glaucum (L.) R. Br.] and their parents*. African Journal of Agricultural Research, 11, 371-378. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10333>
 24. Varshney, R. K., Shi, C., Thudi, M., Mariac, C., Wallace, J., Qi, P., Zhang, H., Zhao, Y., Wang, X., Rathore, A., Srivastava, R. K., Chitikineni, A., Fan, G., Bajaj, P., Punnuri, S., Gupta, S. K., Wang, H., Jiang, Y., Couderc, M., Xu, X. (2017). *Pearl millet genome sequence provides a resource to improve agronomic traits in arid environments*. Nature Biotechnology, 35(10), 969-976. <https://doi.org/10.1038/nbt.3943>
 25. Yahaya, Y. (2015). *Correlation and Heritability in Pearl Millet (Pennisetum glaucum (L) R. Br)*. African Journal of Agronomy ISSN : 2375-1185 Vol. 3 (3), pp. 257-258. Available online at www.internationalscholarsjournals.org

Comportement alimentaire et niveau de masse grasse des adolescents Ivoiriens vivants à Abidjan (Côte d'Ivoire)

Affoué Marie-Paule Anko, Doctorante

Kouakou Jérôme Kouadio, Docteur, Maître de Conférences

Kouakou Firmin Kouassi, Docteur, Maître de conférences

Unité pédagogique et de recherche (UPR) de Paléoanthropologie, Institut des Sciences Anthropologiques de Développement (ISAD). Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB) Côte d'Ivoire. Laboratoire de Biomorphologie, Pathologies Maxillo OroFaciales et Santé bucco-dentaire. Unité de formation et de recherche (UFR). Odonto Stomatologie. Université Félix Houphouët Boigny (UFHB) Côte d'Ivoire

Kouakou Siméon Kouassi, Professeur titulaire

Département du Tourisme, Espace et société, Unité de formation et de recherche (UFR) Logistique, Tourisme et Hôtellerie-Restauration (LTHR), Université de San-Pedro (USP) Côte d'Ivoire

Ahia Monique Lydie Beugré Kouassi, Professeur titulaire

Laboratoire de Biomorphologie, Pathologies Maxillo OroFaciales et Santé bucco-dentaire, UFR d'Odonto Stomatologie, Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB), Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p85](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p85)

Submitted: 25 September 2024

Accepted: 08 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Anko A.M.P., Kouadio K.J., Kouassi K.F., Kouassi K.S. & Kouassi A.M.L.B. (2024). *Comportement alimentaire et niveau de masse grasse des adolescents Ivoiriens vivants à Abidjan (Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 85.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p85>

Résumé

Le volume physique de l'adolescent semble varier selon les stimulations éco biologiques. L'influence de celles-ci, notamment de la ressource bio nutritive, sur la masse grasse n'est pas suffisamment étudiée. La présente étude se propose d'examiner l'influence du comportement alimentaire sur la masse grasse corporelle de l'adolescent. Elle porte sur 455 adolescents âgés de 15 à 19 ans. La masse grasse de ces sujets a été mesurée au moyen d'une balance à impédancemétrie de la marque TANITA BC 543.

Le comportement alimentaire de ces adolescents a été observé au travers d'un questionnaire administré en face à face. Les résultats aux tests de Fisher et de χ^2 montrent que les adolescents consommant des aliments du type protecteur sont plus enclins à présenter une proportion de masse grasse basse supérieure à celle des adolescents qui ont un comportement alimentaire caractérisé par des aliments du type constructeur ou énergétique (p -values < 0,05). Une différence est également observée entre les adolescents et les adolescentes concernant le niveau de masse grasse (p -values < 0,05). Les adolescentes, quel que soit le comportement alimentaire, se caractérisent par une proportion de masse grasse élevée supérieure à celle des adolescents (81% contre 18%). Le comportement alimentaire influencerait le niveau de masse grasse.

Mots-clés: Masse grasse, Comportement alimentaire, Adolescents, Abidjan, Cote d'Ivoire

Eating behaviour and body fat level of Ivorian adolescents living in Abidjan (Ivory Coast)

Affoué Marie-Paule Anko, Doctorante

Kouakou Jérôme Kouadio, Docteur, Maître de Conférences

Kouakou Firmin Kouassi, Docteur, Maître de conférences

Unité pédagogique et de recherche (UPR) de Paléoanthropologie, Institut des Sciences Anthropologiques de Développement (ISAD). Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB) Côte d'Ivoire. Laboratoire de Biomorphologie, Pathologies Maxillo OroFaciales et Santé bucco-dentaire. Unité de formation et de recherche (UFR). Odonto Stomatologie. Université Félix Houphouët Boigny (UFHB) Côte d'Ivoire

Kouakou Siméon Kouassi, Professeur titulaire

Département du Tourisme, Espace et société, Unité de formation et de recherche (UFR) Logistique, Tourisme et Hôtellerie-Restaurant (LTHR), Université de San-Pedro (USP) Côte d'Ivoire

Ahia Monique Lydie Beugré Kouassi, Professeur titulaire

Laboratoire de Biomorphologie, Pathologies Maxillo OroFaciales et Santé bucco-dentaire, UFR d'Odonto Stomatologie, Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB), Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

Adolescent physical volume seems to vary according to eco-biological stimuli. The influence of these stimuli, particularly bio-nutritive resources, on body fat has not been sufficiently studied. The present study examines the

influence of dietary behavior on adolescent body fat. It involved 455 adolescents aged 15 to 19. Body fat was measured using a TANITA BC 543 impedance balance. Dietary behavior was observed using a face-to-face questionnaire. The results of the Fisher and χ^2 tests showed that adolescents consuming foods of the protective type were more likely to have a higher proportion of low body fat than adolescents whose eating behavior was characterized by foods of the builder or energy type (p -values < 0.05). A difference was also observed between male and female adolescents in terms of fat mass (p -values < 0.05). Adolescent girls, regardless of eating behavior, were characterized by a higher proportion of body fat than adolescent boys (81% vs. 18%). Eating habits may influence body fat levels.

Keywords: Body fat, Eating behavior, Adolescents, Abidjan, Ivory Coast

Introduction

L'adolescent dans son processus de développement, semble subir des modifications et des acquisitions bio morphologiques importantes. Celles-ci pourraient se structurer en une accumulation de tissus mous adipeux c'est-à-dire de masse grasse.

Celle-ci correspond à la quantité totale de graisse répartie dans l'organisme (Potier, 2010). La masse grasse est la réserve énergétique dont dispose l'organisme, sous forme de triglycérides (Surowiec, 2005). En clair, la masse grasse serait la quantité ou le volume de graisse contenu dans les cellules qui structure l'organisme d'un individu. Elle constituerait le stock ou la réserve d'énergie physiologique réalisée par l'organisme. Cette accumulation de matière grasse proviendrait de l'ingestion des ressources lipidiques, glucidiques de l'individu. La masse grasse que présente un adolescent serait liée au comportement alimentaire.

Le comportement alimentaire est le processus de prise alimentaire spontanée d'un individu (Lecerf, 2002). Il est l'ensemble des actes effectués par un individu ou un groupe d'individus pour satisfaire son besoin alimentaire ou son attitude durant la prise alimentaire (Sachi, 2020). De ces points de vue, le comportement alimentaire serait la prise d'aliments suivant les besoins de l'individu. Selon le besoin de son organisme, l'adolescent tend à se procurer une énergie spécifique (Bechiri, 2010, Bagbila et al., 2023). Cette corrélation serait d'autant probable que les individus ou les adolescents semblent consommer différents types d'aliments, notamment énergétiques, constructeurs ou protecteurs. Par exemple, lorsqu'un individu consomme un aliment contenant une proportion de graisses et de protéines animales, il pourrait apporter à son organisme une quantité considérable d'énergie grasse. En revanche, un individu privilégiant une alimentation faite de matières grasses moins importantes, c'est à dire structurée essentiellement en légumes

et fruits, aurait tendance à réguler les acquisitions adipeuses de son organisme. En somme, le comportement alimentaire pourrait donc influencer le fonctionnement biophysique qui caractérise l'organisme de l'individu, en l'occurrence sa masse adipeuse.

L'influence des facteurs sociobiologiques et bioalimentaires sur les acquisitions de la masse grasse a fait l'objet de divers travaux. Par exemple, Musung et al. (2019) ont déterminé la prévalence du surpoids et de l'obésité dans les établissements scolaires. Ils indiquent que le surpoids et l'obésité chez les adolescents en milieu scolaire atteint une proportion importante. Dans le même construit, Karroumi (2015) a mesuré la prévalence à l'obésité des étudiants selon leur comportement nutritionnel. Il ressort de ce travail que la prévalence à l'obésité varie selon le comportement nutritionnel. Quant à Atmaoui et Boudries (2015), ils ont examiné le lien entre les habitudes alimentaires, le mode de vie, le niveau d'activité physique et l'obésité. Les auteurs montrent que des enfants qui présentent de mauvaises habitudes alimentaires et ayant des activités sédentaires, se caractérisent par un taux d'obésité important.

A l'analyse, l'on constate que la plupart des travaux qui ont tenté d'examiner la relation entre les composés biochimiques et le niveau de masse adipeuse de l'adolescent ont mis l'accent sur la prévalence de l'obésité, du surpoids, la nutrition et le mode vie. Il semblerait que dans ces recherches, le comportement alimentaire n'ait suffisamment pas été étudié en tant que variable susceptible d'influencer la masse grasse. L'objectif du présent travail est de comparer le niveau de masse grasse des adolescents en fonction de leur comportement alimentaire.

Méthodologie

Matériel

La question examinée dans le présent travail est relative au niveau de masse grasse de l'adolescent en lien avec son comportement alimentaire. Celui-ci semble se caractériser par une évolution particulière. Cette évolution est une période où les transformations sont importantes, tant sur le plan physiologique que corporelle. Les habitudes prises par ces adolescents au cours de cette période, influencent leur santé, leur mode de vie et leur attitude nutritive. Cette alimentation composée d'aliments à haute densité calorifique en matière grasse constitue un facteur important qui serait à l'origine d'une accumulation anormale de tissus adipeux dans l'organisme de ces derniers c'est-à-dire la masse grasse. Selon l'OMS (2016), une proportion considérable de la population mondiale est confrontée à un excès de masse grasse (18%) dont une part importante est africaine (24%). Cette adiposité observée chez les adolescents africains s'étend sur plusieurs pays, notamment la Côte d'Ivoire où plus de 1,13% de la population adolescente, selon Kouakou et al. (2017),

est obèse. Cette proportion de jeunes en situation d'obésité tend à être plus élevée dans les agglomérations urbaines marquées par des conditions habitudes de vie particulières (Institut Nationale de la Statistique [INS], 2021). Dans cette optique, Abidjan une zone urbaine de la Côte d'Ivoire abrite un nombre relativement important d'adolescents (7%) présentant une surcharge pondérale (Assi et al., 2021). Ces adolescents sont plus observés dans certaines agglomérations de la ville d'Abidjan, en l'occurrence au quartier Mamie Faitai de la commune de Yopougon et à Angré de la commune de Cocody.

Dans les ménages de ces deux communes, des adolescents ont été sélectionnés conformément aux dispositions de la méthode d'échantillonnage par choix raisonné. La taille de l'échantillon des adolescents a été déterminée statistiquement en tenant compte de la proportion de la masse grasse. Cette procédure a permis de sélectionner 520 adolescents. Pour ce faire, un questionnaire de 45 items a été administré aux sujets. Ils ont été interrogés sur leur comportement alimentaire. Les objectifs de l'étude ont été succinctement présentés aux adolescents en présence de leurs parents qui ont donné leur consentement pour répondre aux différentes questions. Ces jeunes individus ont un âge qui oscille entre 15 et 19 ans et se caractérisent par différents groupes alimentaires. Certains consomment des aliments énergétiques, d'autres ingèrent des aliments constructeurs ou des aliments protecteurs. Ces sujets sont pour la plupart des élèves du premier cycle, du second cycle et du supérieur. Ils sont composés de garçons et de filles de statut socio-économique favorisé ou défavorisé. Ils sont issus des divers groupes ethniques ivoiriens. L'on y identifie des chrétiens, des musulmans et des animistes. Les sujets semblent présenter des caractéristiques sociodémographiques différentes. Cette variabilité entre les sujets a amené à la sélection d'un nombre d'entre eux en mettant l'accent sur la similarité des caractéristiques évoquées. La prise en compte de ce facteur comme un critère d'inclusion et de non inclusion a permis de retenir 455 adolescents de régime alimentaire variable. Certains de ces adolescents (121) consomment des aliments protecteurs (26,6%), d'autres (176) ingèrent des aliments de construction (38,7%) et d'autres (158) des aliments énergétiques (34,7%). Ces adolescents sont âgés de 15 à 19 ans dont 235 filles et 220 garçons. Ces sujets constituent l'échantillon sur lequel porte l'étude.

Méthodes

Le présent travail du type transversal et analytique examine l'influence du comportement alimentaire de l'adolescent sur son niveau de masse grasse. Les adolescents issus des ménages des communes de Yopougon et de Cocody en particulier ceux de Mamie Faitai et d'Angré respectivement, ont été observés dans ce sens. Cette expérience s'est réalisée en deux phases précédées de la constitution de l'échantillon du sujet à observer. Les ménages

ont été choisis selon une méthode aléatoire. La première a consisté à collecter des données bio-sociodémographiques et des habitudes alimentaires des participants. L'on a administré aux adolescents un questionnaire en face à face portant sur les caractéristiques bio-sociodémographiques, notamment le sexe, l'âge, la nationalité, le niveau d'étude. Les informations relatives aux types d'aliments et aux fréquences de consommation de ces aliments ont été prises dans ce cadre. Les participants ont été en seconde partie de l'observation, soumis à des mensurations corporelles. Ces mesures ont porté sur le poids, la stature et la masse grasse de ces personnes. La mesure de la stature a été faite au moyen d'une toise portable. Celle-ci est l'un des outils anthropométriques qui permet d'évaluer la hauteur du corps de l'individu. Le niveau de la masse grasse et le poids ont été observés en utilisant une balance à impédancemétrie de marque TANITA BC 543. Ce dispositif permet de définir la composition corporelle en mesurant la résistance de l'organisme au passage d'un courant électrique de faible intensité (environ 70 UA) (Fourgeaud, 2020).

L'examen de données relatives aux aliments consommés par ces sujets a permis d'identifier les types d'aliments et les régimes alimentaires des adolescents selon la fréquence de consommation et la nature ou le contenu des aliments. Les aliments ingérés par les adolescents peuvent être classés en trois groupes. Ces derniers ont permis de définir trois types de comportement alimentaires. L'on a des adolescents qui consomment des aliments contenant majoritairement de glucides et de lipides (riz, maïs, blé, pomme de terre, igname, banane plantain, patate douce, sucre et huile). Cette teneur élevée des aliments simples de nature énergétique définit le groupe des adolescents qui ont un comportement alimentaire énergétique. Un autre groupe ingère des aliments contenant majoritairement de protéines tels que la viande, le poisson, l'œuf et les produits laitiers. La consommation prédominante de ces aliments ayant une teneur élevée en aliments simple de construction, caractérisé par des adolescents qui ont un comportement alimentaire constructeur. Les autres adolescents consomment également des aliments possédant des vitamines et des sels minéraux notamment les fruits et les légumes. La propension de ces adolescents à la consommation de ces aliments de nature protecteur, correspond à un comportement alimentaire protecteur.

Cette catégorisation a permis de calculer la fréquence du niveau de masse grasse des adolescents en fonction du type de comportement alimentaire. Les valeurs de la masse grasse obtenues sont comparées à celles considérées comme références correspondant aux différents niveaux de masse grasse en occurrence basse, moyenne et élevée. De ce fait, lorsqu'on obtient une valeur inférieure à 25% chez la femme et moins de 15% chez l'homme, l'individu a une masse adipeuse basse (Le Blanc, 2021). Elle est dite moyenne (normale) lorsque le pourcentage de graisse est compris entre 25 et 30% pour la femme et entre 15 et 20% pour l'homme. En revanche, si l'on obtient une

valeur au-delà de 30% pour la femme et au-delà de 20% pour l'homme, on parle de masse grasse élevée (Le Blanc, 2021).

La recherche d'association entre ces données qualitatives selon le comportement alimentaire a été réalisée par le truchement des tests statistiques de khi2 et de Fisher. L'ensemble des traitements statistiques ont été réalisés au moyen du logiciel SPSS version 23.

Résultats

Dans le présent travail, il est question de faire la description du potentiel biochimique de l'alimentation des adolescents c'est-à-dire la capacité de modification biologique des aliments en lien avec leur niveau d'acquisition de masse grasse.

Tableau I : Comparaison de la fréquence de consommation d'aliments de protections selon le type de régime alimentaire des adolescents

Régime Alimentaire	Taux d'aliments protecteurs consommés (%)					
	N	Salade	Fruit	Légume	Petit pois	Total
Adolescent Protecteur	121	6,5 %	12,9 %	21 %	14,9 %	55,3 %
Adolescent Energétique	158	3,3 %	2,9 %	0,9 %	2,9 %	10 %
Adolescent Constructeur	176	11,7 %	7,1 %	6,8 %	0,0 %	25,6 %
Khi 2		0,000 s				

N : Effectif, % : pourcentage, s : différence statistique significative

La proportion d'aliments chez des adolescents consommant des aliments de nature protectrice ont une fréquence de consommation de légumes, supérieure à celle des adolescents qui ont une préférence pour les aliments de type constructeur ou énergétique. Cette différence est étayée par une proportion de fruit (12,9%), de légume (21%) et de petit pois (14,9%) supérieur à celle de leurs homologues énergétiques (2,9%, 0,9%, 2,9%) ou constructeur (7,1%, 6,8%, 0,0%) respectivement. Ces résultats différents sont observés, lorsque l'on considère les aliments de construction (Tableau I).

Tableau II : Comparaison de la fréquence de consommation d'aliments constructeurs selon le type de régime alimentaire des adolescents

Régime alimentaire	N	Taux d'aliments constructeurs consommés (%)					Total
		Poisson	Poulet	Viande rouge	Lait	Œuf	
Adolescent Constructeur	176	2,4 %	11,5 %	0,0 %	17,7 %	15,9 %	47,5 %
Adolescent Énergétique	158	0,7 %	4,1 %	9,8 %	2,7 %	4,7 %	22 %
Adolescent Protecteur	121	0,4 %	3,5 %	12,9 %	4,8 %	9,4 %	31 %
Khi2		0,000 s					

N : Effectif, % : pourcentage, s : différence statistique significative

Les adolescents soumis à un régime alimentaire de nature constructrice se caractérise par une proportion de produits laitiers et de protéines supérieure à celle de leurs homologues privilégiant une alimentation de nature énergétique ou protectrice. Par exemple, les fréquences de consommation de poisson (2,4%), de poulet (11,5%), de lait (17,7%) et d'œuf (15,9%) chez les adolescents constructeurs supérieures à celles de leurs semblables énergétiques (0,7%, 4,1%, 2,7%, 4,7%) ou protéines (0,4%, 3,5%, 4,8%, 9,4%), respectivement. Une différence similaire est observée lorsqu'on compare les énergétiques aux autres sur le plan de la proportion des aliments consommés (Tableau II).

Tableau III : Comparaison de la fréquence de consommation d'aliments énergétiques chez les adolescents selon le type de régime alimentaire

Régime alimentaire	N	Taux d'aliments énergétiques consommés (%)						Total
		Banane plantain	Riz	Attiéké	Frite	Placali	Aliment sucré	
Adolescent Énergétique	158	9,7 %	13 %	8,8 %	11,8 %	11,8 %	12,9 %	68 %
Adolescent Constructeur	176	5,7 %	4,5 %	8,5 %	3,7 %	0,0 %	4,7 %	27,2 %
Adolescent Protecteur	121	3,5 %	1,6 %	2,8 %	2,4 %	4,8 %	1,9 %	13,7 %
Khi2		0,000 s						

N : Effectif, % : pourcentage, s : différence statistique significative

La fréquence de consommation d'aliments énergétiques en l'occurrence les féculents chez les adolescents énergétiques (9,7%, 13%, 8,8%, 11,8%, 11,8%, 12,9%) est supérieure à celle observée chez leurs pairs dont l'alimentation est composée d'aliments de nature constructrice (5,7%, 4,5%, 8,8%, 3,7%, 0,0%, 4,7%) ou protectrice (3,5%, 1,6%, 2,8%, 2,4%, 4,8%, 1,9%), respectivement (Tableau III).

Le résultat de ces tableaux (Tableaux I, II, III) porte sur l'association des trois (3) groupes d'aliments qui permet d'avoir un effectif total de 100%.

L'on observe que les adolescents protecteurs consomment plus d'aliments constructeurs que d'aliments énergétiques, tandis que les constructeurs consomment plus d'aliments protecteurs que d'aliments énergétiques. Quant aux adolescents énergétiques, ils ingèrent plus d'aliments de constructions que d'aliments protecteurs.

Tableau IV : Comparaison de la proportion des niveaux de la masse grasse des adolescents de 15 à 19 ans qui ont un comportement alimentaire caractérisé par des aliments protecteurs à ceux de leurs semblables qui ont un comportement alimentaire du type constructeur ou énergétique

Comportement alimentaire	N	Sexe		MGB	MGM	MGE	Total
Protecteur	121	G	N (%)	57 (97,5)	1 (2,5)	0 (0)	58 (100)
		F	N (%)	45 (71,4)	6 (9,5)	12 (19,1)	63 (100)
				Fisher	0,000s		
Constructeur	176	G	N (%)	77 (96,3)	2 (2,5)	1 (1,3)	80 (100)
		F	N (%)	55 (57,3)	27 (28,1)	14 (14,6)	96 (100)
				Fisher	0,000s		
Énergétique	158	G	N (%)	80 (97,6)	2 (2,4)	0 (0)	82 (100)
		F	N (%)	41 (53,9)	18 (23,7)	17 (22,4)	76 (100)
				Fisher	0,000s		
						Total khi2	0,000s

MGB : Masse grasse basse ; MGM : Masse grasse moyenne ; MGE : Masse grasse élevée ; G : garçon ; F : fille ; N : Effectif ; % : pourcentage ; s : Différence statistique significative ; ns : Différence statistique non significative

Les résultats relatifs à la masse grasse des adolescents qui ont des comportements alimentaires différents sont spécifiques. Les adolescents consommant des aliments du type protecteur sont plus enclins à présenter une proportion de masse grasse basse (94,69%) supérieure à celle des adolescents qui ont un comportement alimentaire caractérisé par des aliments du type constructeur (76,8%) ou énergétique (75,75%) (p value = 0,00 (0,05) (Tableau IV).

Ces résultats semblent mettre en avant l'effet avantageux du comportement alimentaire protecteur sur le niveau de masse grasse chez les adolescents. L'on observe que 82% des adolescents présentent un bon comportement alimentaire, contrairement à 19% qui ont une mauvaise alimentation.

La comparaison des proportions des niveaux de masse grasse entre les adolescents et les adolescentes fait observer des résultats qui semblent montrer une différence entre les deux groupes sexués. En effet, la proportion des adolescents présentant un niveau de masse grasse basse (97,5%) ayant un comportement alimentaire de nature protecteur est supérieur à celle de leurs pairs adolescentes (71,88%) qui ont un comportement alimentaire similaire. La fréquence de masse grasse basse des adolescents qui ont une consommation de type constructeur (96,3%) ou de type énergétique (97,6%) est élevé à celle de leurs semblables adolescentes (57,3% ; 53,9%) de comportement

alimentaire conforme. En revanche, la proportion de masse grasse moyenne présentée par des adolescentes de comportement alimentaire du type constructeur (28,1%) est élevée à celle de leur semblable. De même, la fréquence de masse grasse élevée des filles consommateurs d'aliment de nature énergétique (22,4%) est plus importante que chez ceux des garçons privilégiant les aliments identiques (0,0%) pour l'organisme.

Les résultats montrent également que l'accumulation excessive de matière grasse serait importante chez les adolescentes consommant fréquemment des aliments énergétiques ou constructeurs par rapport aux adolescents qui ont un comportement alimentaire du type protecteur (Tableau IV).

Discussion

Le niveau de masse grasse a été questionné dans la présente étude en lien avec le comportement alimentaire. Les observations dans ce sens montrent que les adolescents consommant des aliments du type protecteur sont plus enclins à présenter une proportion de masse grasse basse supérieure à celle des adolescents qui ont un comportement alimentaire caractérisé par des aliments du type constructeur ou énergétique (Tableau IV). En revanche, la proportion de masse grasse élevée des adolescentes de comportement alimentaire du type énergétique est plus importante que chez ceux de leurs homologues adolescents privilégiant des aliments du type constructeur ou du type protecteur pour l'organisme. Le sexe créerait une différence entre les adolescents du point de vue de la composition corporelle.

Plusieurs facteurs pourraient être à l'origine des différences observées entre les adolescents consommateurs d'aliments énergétiques, constructeurs ou protecteurs. Une explication des différentes proportions de masse grasse serait relative à l'influence des aliments qu'ingère l'individu.

La consommation des aliments du type protecteur chez les adolescents est de nature à fournir à l'organisme un ensemble d'éléments nutritionnels favorisant un bon état des tissus adipeux de l'organisme. Cette alimentation des adolescents caractérisée par des aliments tels la salade, les fruits, les légumes et les petits poids présentent une fréquence de consommation supérieure (55,3%) à celle observée auprès des adolescents qui ont une consommation alimentaire du type constructeur (25,6%) et énergétique (10%) (Tableau I). A titre d'exemple, on note une fréquence de consommation de légumes de 21% chez les adolescents qui ont une alimentation du type protecteur, tandis qu'elle est respectivement de 6,8% et 0,9 % chez les adolescents qui ont une alimentation du type constructeur et énergétique. L'apport réduit de glucide de ces aliments ne saurait constituer un facteur d'accumulation anormale de la graisse dans les tissus adipeux de l'organisme. Ce potentiel bio-protecteur de ces aliments explique la fréquence élevée de la

masse grasse basse chez les adolescents ayant un comportement de type protecteur.

Ces résultats trouvent un sens lorsqu'on considère la fréquence de consommation des aliments caractérisant le comportement alimentaire des adolescents du type constructeur ou énergétique. En effet, ces adolescents semblent avoir des habitudes de consommation d'aliments qui procurent à l'organisme des nutriments bio-accumulateur de graisses corporelles (Tatano et al.,2016). On observe chez ces derniers, notamment chez ces adolescents que la consommation des aliments tels que le poisson, la viande de poulet, la viande rouge, le lait et les œufs se fait dans des proportions élevées (47,5%) que chez les autres adolescents ayant un comportement alimentaire du type protecteur (31%) (Tableau II). Ce type d'aliments favorise une exposition aux graisses saturées présents dans les produits d'origine animale. Ainsi, considérant les fréquences de consommation des aliments du type constructeur, l'alimentation de l'adolescent consommateur de type constructeur est marquée par sa capacité à fournir des ressources de potentialisation de la masse grasse dans l'organisme. Cette observation se répète en considérant la consommation des aliments de type énergétique. Chez ces derniers, on a observé que la consommation élevée de féculents (68%) riches en amidon et en glucides comparativement à leurs homologues intégrant ces aliments dans leurs habitudes alimentaires était une source d'apport d'éléments favorisant l'accumulation de graisse corporelle. On a une fréquence de consommation de 27,2% chez ces adolescents constructeurs et 13,7% chez les adolescents protecteurs (Tableau III).

Il apparaît que contrairement à une alimentation de type protecteur qui fournit à l'organisme des vitamines, des fibres qui participent à la structuration harmonieuse de la masse corporelle, l'alimentation des adolescents qui se caractérisent par des aliments du type énergétiques ont des apports en cholestérol et en glucide élevés. Chez les adolescents de la présente étude, ces aliments concernent par exemple la banane plantain, le riz, l'attiéké, les frites et le placali. La consommation fréquente de ces aliments serait à l'origine de biostimulation de l'organisme se traduisant par une acquisition de masse grasse élevée. Ruminska et al. (2016) apportent une caution à ces observations. Ils précisent que la fréquence de consommation de ces aliments énergétiques différentielle entre les adolescents était à l'origine d'une acquisition de la masse grasse différente. Rappelant le rôle bénéfique des aliments du type protecteurs, Borodina et Morozov (2020) révèlent que l'apport nutritionnel lié à un comportement du type constructeur était un élément régulateur observé chez les sujets confrontés à une acquisition néfaste de la graisse corporelle. L'action des protéines n'est pas isolée de l'action bio stimulatrice d'un comportement alimentaire du type constructeur.

Conformément aux observations de Liu et al. (2019), l'apport des protéines animales était associé à l'adiposité irrégulière et néfaste pour l'organisme.

Ces observations seraient l'une des raisons pour laquelle la proportion des adolescentes qui ont une consommation alimentaire de type énergétique réalisant une acquisition de masse grasse élevée est plus importante que celle des adolescents. En effet, comparativement à leurs pairs masculins, les adolescentes de la présente étude avaient des habitudes de consommation qui incluaient le grignotage en dehors des heures des repas, se situant entre trois et quatre repas par jour. Ces dernières, par rapport à leurs homologues masculins étaient plus enclines à s'offrir des aliments tels que les frites, les aliments sucrés pour satisfaire leurs besoins alimentaires occasionnels. On note chez cette catégorie d'adolescents, une consommation fréquente d'aliments sucrés tels les glaces et les chocolats. De telles habitudes alimentaires occasionnelles iraient de pairs avec un apport de gras et par ricochet favoriseraient une modification de cellules adipeuses de l'organisme. Ces observations sont confortées par ceux réalisées auprès d'adolescents qui ont un comportement alimentaire désordonné (Yoon et al., 2020). Elles révèlent que l'engagement pour un comportement désordonné notamment le grignotage était plus important chez les femmes que chez les hommes. Daly et al. (2020) reprennent ces conclusions auprès des adolescents de 13 à 17 ans. Ils montrent que les jeunes femmes ont obtenu des scores plus élevés que les jeunes hommes sur trois échelles de consommation alimentaire à l'origine d'un indice de masse corporelle non avantageux.

De ce qui précède, les observations du présent travail sont loin d'être isolées, elles confortent celle faites antérieurement. Elles apportent l'information selon laquelle l'interrelation entre les apports en matières grasses, en sucres dans le corps et la capacité de l'organisme à les utiliser pour son fonctionnement, sont tributaires du comportement alimentaire.

Conclusion

La relation entre le comportement alimentaire et la masse grasse corporelle a intéressé la présente étude. L'examen de ce lien auprès des adolescents âgés de 15 à 19 ans a permis de mettre en évidence l'action probable des composés biochimiques fournis par les aliments indispensables à l'acquisition de matières grasses de l'organisme. Les résultats obtenus indiquent que les adolescents consommant des aliments du type protecteur sont plus enclins à présenter une proportion de masse grasse basse supérieure à celles des adolescents qui ont un comportement alimentaire caractérisé par des aliments du type constructeur ou énergétique. L'analyse des comparaisons est différente lorsqu'on passe des adolescents aux adolescentes. Le niveau de masse grasse des adolescentes ayant une préférence pour les aliments énergétiques se caractérise par une proportion de la masse grasse élevée

supérieure à celle des adolescents qui ont une alimentation privilégiant les nutriments de nature constructive ou protectrice pour l'organisme.

Les résultats semblent mettre en avant l'effet avantageux du comportement alimentaire protecteur sur le niveau de masse grasse basse chez les adolescents, qui favorisent un bon fonctionnement biologique.

En somme, le comportement alimentaire se révèle être un facteur qui influence la masse grasse corporelle des adolescents. Les travaux ultérieurs s'intéressant à l'interrelation entre le mode de vie, les facteurs génétiques et le comportement alimentaire pourraient permettre d'approfondir la compréhension de l'acquisition de la matière grasse par l'organisme.

Remerciements: Les auteurs remercient les chefs et les membres des ménages des quartiers Mamie Faitai et Angré pour leur disponibilité et leur participation à l'étude.

Déclaration relative à la participation humaine : Cette étude a été approuvée par le Laboratoire de Biomorphologie, Pathologies Maxillo-Orofaciales et Santé Bucco-Dentaire, de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) en Odonto-Stomatologie de l'Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB), Côte d'Ivoire.

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. Assi, K. R. H., Blao, N.A. R., Kouassi, E. S., Kouassi, K. F., Ake-Tano, O., Tiahou, G., & Anin, A. (2021). L. Épidémiologie du Surpoids et de l'obésité Infantile à Abidjan : Cas colligés au Service de Nutrition de l'Institut National de Santé Publique d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 9, 438-443. doi: 10.17265/2328-2150/2021.12.007.
2. Atmaoui, K., & Boudries, S. (2015). Etude De La Relation Nutrition, Activité Physique Et Le Surpoids-obésité : Les Enfants Scolarisés De 6 Ans À 12 Ans. [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira – Bejaia], Sciences Humaines et Sociales, Démographie. <https://theses-algerie.com/3216563444689305>.

3. Bagbila, P. A. H., Ouedraogo, P. V., Sagna, Y., Kyelem, G. C., Yameogo, T. M., Ouedraogo, S. M., & Drabo, Y. J. (2023). Facteurs associés aux comportements alimentaires malsains au niveau étudiantin à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). *Annales d'Endocrinologie*, 84 (5), 682-693. <https://doi.org/10.1016/j.ando.2023.07.505>.
4. Bechiri, L. (2010). Alimentation des enfants 6-12 ans : synthèses des travaux antérieurs en Algérie et recommandations [Mémoire de maîtrise, Université Mentouri – Constantine], Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires. <https://zlibrary.to/dl/memoire-alimentation-des-enfants-6-12-ans-synthese-des-travaux-anterieurs>
5. Daly, A.N., O'Sullivan, E.J., Walton, J., McNulty, B.A., & Kearney, J.M. (2021). Styles de comportement alimentaire chez les adolescents irlandais : une étude transversale. *Public Health Nutrition*, *24* (8), 2144–2152. doi:10.1017/S1368980020003055
6. Fourgeaud, C. (2020). Impédancemétrie, constante diélectrique tissulaire : qu'en penser dans le lymphœdème?. *JMV-Journal de Médecine Vasculaire*, *45*, 1-32. <https://doi.org/10.1016/j.jdmv.2020.01.075>.
7. Institut Nationale de la Statistique (2021), *Recensement général de la population et de l'habitat*. <https://www.ins.ci/rgph2021/resultats%20definitifsrp21.pdf>.
8. Karroumi, A. (2015), Paramètre anthropométrique et habitude alimentaire chez les étudiants en médecine [Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad], Thèse n° 98. <http://wd.fmpm.uca.ma/biblio/theses/annee-htm/FT/2015/these98-15>.
9. Kouakou, A. Y. F., Kamagate, A., & Yapo, A. P. (2017). Prévalence de l'obésité en milieu jeune en côte d'ivoire. *European Scientific Journal*, *13* (3) 241- 247. doi.org/10.19044/esj.2016.v13n3p241.
10. Le Blanc, J., Ward, S., & LeBlanc, C. P. (2022). An elective high school cooking course improves students' cooking and food skills: a quasi-experimental study. *Canadian journal of public health*, *113* (5), 764–775. <https://doi.org/10.17269/s41997-022-00660-6>
11. Lecerf, J. M. (2002, 30 septembre). Poids et obésité. Pathologie science, endocrinologie et métabolisme. <https://www.amazon.fr/Poids-ob%C3%A9sit%C3%A9-Jean-Michel-Lecerf/dp/2742002294>.
12. Liu, X., Gan, W., Gao, C., Qi, X., Liao, X., Lin, J., & Zhao, Y. (2019). The independent associations of protein consumption with body fat and glycaemic control in adult Chinese. *European journal of nutrition*, *58* (5), 1981–1990. <https://doi.org/10.1007/s00394-018-1751-9>

13. Musung, J. M., Muyumba, E. K., Nkulu, D. N., Kakoma, P. K., Mukuku, O., Kamalo, B. K. M., Mukeng, C. K., Kakisingi, N. C., Malonga, F. K., Chenge, F. M., & Luboya, N. O. (2019). Prévalence du surpoids et de l'obésité chez l'adolescent en milieu scolaire à Lubumbashi, République Démocratique du Congo. *The Pan African Medical Journal*. 32 (49). doi : [10.11604/pamj.2019.32.49.15969](https://doi.org/10.11604/pamj.2019.32.49.15969).
14. Organisation Mondiale de la Santé (2016). Obésité et surpoids, <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
15. Potier, A. (2010, 07 Juillet). Masse grasse ou IMG. <https://www.docteurclic.com/encyclopedie/masse-grasse.aspx>.
16. Rumińska, M., Witkowska-Sędek, E., Majcher, A., & Pyrzak, B. (2016). Thyroid Function in Obese Children and Adolescents and Its Association with Anthropometric and Metabolic Parameters. *Advances in experimental medicine and biology*, 912, 33–41. https://doi.org/10.1007/5584_2016_232
17. Sachi, I. (2020, 05 octobre). *Le comportement alimentaire. power point PPT Download Presentation*. <https://fr.slideserve.com/sachi/le-comportement-alimentaire>.
18. Surowiec, C. (2005). Evolution de la leptine sérique et de la composition corporelle après gastroplastie par anneau ajustable : étude auprès de 36 femmes obèses sévères. [Thèse de doctorat, Université de Paris Val-de- Marne]. faculte de medecine de creteil, page 9. <http://doxa.scd.univ-paris12.fr:80/theses/th0233675.pdf>
19. Tatano, H., Yamanaka-Okumura, H., Zhou, B., Adachi, C., Kawakami, Y., Katayama, T., Masuda, M., Takeda, E., & Taketani, Y. (2016). Association of habitual high-fat intake and desire for protein and sweet food. *The journal of medical investigation : JMI*, 63 (3-4), 241–247. <https://doi.org/10.2152/jmi.63.241>
20. Yoon, C., Mason, S. M., Hooper, L., Eisenberg, M. E., & Neumark-Sztainer, D. (2020). Disordered eating behaviors and 15-year trajectories in body mass index : findings from project eating and activity in teens and young adults (EAT). *Journal of Adolescent Health*, 66 (2), 181-188.

Le suivi de l'efficacité et de la tolérance des antiviraux à action directe dans le traitement de l'hépatite virale C chronique à l'Hôpital national Donka CHU Conakry

Diallo Mamadou Sarifou

Service d'Hépatogastro-entérologie de l'hôpital national Donka CHU Conakry, Guinée. Facultés des Sciences et Techniques de Santé, Université Gamal Abdel Nasser, Conakry, Guinée

Youssef Oumarou

Centre Hospitalier Universitaire Communautaire de Bangui, Service de Médecine Interne, Bangui, République Centrafricaine

Diallo Mamadou Oury Safiatou

Service des Maladies Infectieuses et Tropicales de l'Hôpital National Donka CHU Conakry, Guinée. Facultés des Sciences et Techniques de Santé, Université Gamal Abdel Nasser, Conakry, Guinée

Diallo Kadiatou

Diallo Djenabou

Diallo Ahmed Tidiane

Service d'Hépatogastro-entérologie de l'hôpital national Donka CHU Conakry, Guinée. Facultés des Sciences et Techniques de Santé, Université Gamal Abdel Nasser, Conakry, Guinée

Wann Thierno Amadou

Bah Mamadou Lamine Yaya

Sylla Djibril

Service de médecine interne de l'hôpital national Donka CHU Conakry, Guinée. Facultés des Sciences et Techniques de Santé, Université Gamal Abdel Nasser, Conakry, Guinée

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p100](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p100)

Submitted: 07 October 2024
Accepted: 15 November 2024
Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Sarifou D.M., Oumarou Y., Safiatou D.M.O., Kadiatou D., Djenabou D., Tidiane D.A., Amadou W.T., Yaya B.M.L. & Djibril S. (2024). *Le suivi de l'efficacité et de la tolérance des antiviraux à action directe dans le traitement de l'hépatite virale C chronique à l'Hôpital national Donka CHU Conakry*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 100. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p100>

Résumé

Introduction : L'hépatite virale C est un véritable problème de santé publique dans le monde. **Patients et Méthodes :** Il s'agissait d'une étude analytique prospective portant sur tous les patients suivis dans le service durant la période d'étude. Elle a été menée du 1^{er} Janvier 2022 au 30 Mars 2024 soit 27 mois en consultation externe du service d'Hépatogastroentérologie de l'hôpital national Donka CHU Conakry. Le but de notre travail était d'évaluer la tolérance et l'efficacité des antiviraux à action directe chez les patients porteurs du VHC virémiques. **Résultats :** Les résultats concernaient 83 patients, 46 étaient des hommes (55,7%) et 37 des femmes (44,3%), avec un sex ratio H/F de 1,24. L'âge moyen des patients était de 46 ans avec des extrêmes de 22 à 80 ans. La tranche d'âge de 30-50 ans était la plus touchée par l'hépatite virale C avec une fréquence de 56%. Les protocoles thérapeutiques utilisés étaient le Sofosbuvir-Velpatasvir (95,18%), le Sofosbuvir-Velpatasvir-Ribavirine (4,82%). La réponse virale soutenue a été de 100% chez les patients terminés leur traitement. Des effets secondaires indésirables ont été observés chez 40 de nos patients soit une fréquence de 48,19%. Les principaux effets indésirables étaient des céphalées (36,14%), des nausées et vomissements (32,53%), un prurit (12,04%), des crampes musculaires (10,84%). **Conclusion :** Le traitement de l'hépatite virale C repose sur les antiviraux à action directe qui sont efficaces et bien tolérés permettant d'obtenir une réponse virale soutenue à 100%. Chez les patients guéris avec une fibrose hépatique F3-F4 la surveillance doit être maintenue.

Mots-clés: Hépatite virale C, Antiviraux à action directe, Cirrhose, Réponse virale soutenue, Tolérance

Monitoring the efficacy and tolerance of direct-acting antivirals in the treatment of chronic viral hepatitis C at the Donka National Hospital CHU Conakry

Diallo Mamadou Sarifou

Service d'Hépatogastro-entérologie de l'hôpital national Donka CHU
Conakry, Guinée. Facultés des Sciences et Techniques de Santé,
Université Gamal Abdel Nasser, Conakry, Guinée

Youssouf Oumarou

Centre Hospitalier Universitaire Communautaire de Bangui,
Service de Médecine Interne, Bangui, République Centrafricaine

Diallo Mamadou Oury Safiatou

Service des Maladies Infectieuses et Tropicales de l'Hôpital National Donka
CHU Conakry, Guinée. Facultés des Sciences et Techniques de Santé,
Université Gamal Abdel Nasser, Conakry, Guinée

Diallo Kadiatou

Diallo Djenabou

Diallo Ahmed Tidiane

Service d'Hépatogastro-entérologie de l'hôpital national Donka CHU
Conakry, Guinée. Facultés des Sciences et Techniques de Santé,
Université Gamal Abdel Nasser, Conakry, Guinée

Wann Thierno Amadou

Bah Mamadou Lamine Yaya

Sylla Djibril

Service de médecine interne de l'hôpital national Donka CHU Conakry,
Guinée. Facultés des Sciences et Techniques de Santé, Université Gamal
Abdel Nasser, Conakry, Guinée

Université Nangui Abrogoua, Laboratoire de botanique, Côte d'Ivoire

Abstract

Introduction: Viral hepatitis C is a real public health problem worldwide. **Patients and Methods:** This was a prospective analytical study involving all patients followed in the department during the study period. It was conducted from January 1, 2022, to March 30, 2024, i.e. 27 months in the outpatient clinic of the Hepato-Gastroenterology department of the Donka CHU Conakry National Hospital. The aim of our work was to evaluate the tolerance and efficacy of direct-acting antivirals in patients with viremic HCV. **Results:** The results concerned 83 patients, 46 were men (55.7%) and 37 women (44.3%), with a sex ratio M/F of 1.24. The mean age of the patients was 46 years with extremes of 22 to 80 years. The age group of 30-50 years

was the most affected by viral hepatitis C with a frequency of 56%. The therapeutic protocols used were Sofosbuvir-Velpatasvir (95.18%), and Sofosbuvir-Velpatasvir-Ribavirin (4.82%). The sustained viral response was 100% in patients who completed their treatment. Adverse side effects were observed in 40 of our patients, i.e. a frequency of 48.19%. The main adverse effects were headache (36.14%), nausea and vomiting (32.53%), pruritus (12.04%), and muscle cramps (10.84%). **Conclusion:** Treatment of viral hepatitis C is based on direct-acting antivirals that are effective and well tolerated, allowing a sustained viral response of 100%. In cured patients with F3-F4 liver fibrosis, monitoring should be maintained.

Keywords: Viral hepatitis C, Direct-acting antivirals, Cirrhosis, Sustained viral response, Tolerance

Introduction

L'infection par le virus de l'hépatite C (VHC) représente aujourd'hui une des causes les plus fréquentes d'hépatopathie chronique et de carcinome hépatocellulaire (CHC). C'est aussi la première indication de transplantation hépatique (Ly KN, 2012). Les hépatites virales B (VHB) et C restent un problème de santé publique dans le monde et sont endémiques en Afrique subsaharienne (Kodjoh N, 2015). L'estimation de la prévalence de l'hépatite virale C en Guinée est de 3,70% (Diallo MS, 2024). L'accès universel au traitement de l'hépatite virale C recommandé par toutes les sociétés savantes a été annoncé en 2016. On dispose depuis de nouveaux agents antiviraux à action directe (AAD) disponibles par voie orale très efficaces, bien tolérés (EASL, 2016). Le traitement de l'infection chronique par VHC avec des AAD permet des taux de guérison virologiques très élevés supérieurs à 98%. Cette guérison virologique est associée avec une réduction de la morbi-mortalité d'origine hépatique et une réduction du risque de progression vers le carcinome hépatocellulaire. Dans une méta-analyse récente, les patients infectés par le VHC ayant une guérison virologique post-traitement avaient une réduction de la mortalité toute cause [odds ratio (OR) 0.255, 95% CI 0.199-0.326] ; de la mortalité liée au foie (OR 0.126, 95% CI 0.094-0.169), et de 80% de l'incidence du CHC comparés aux patients infectés qui n'avaient pas eu de guérison virologique (Bang CS, 2017).

En Guinée, les données relatives à l'évaluation de la tolérance et de l'efficacité des antiviraux à action directe (AAD) dans le traitement de l'hépatite virale C dans notre service ne sont pas disponibles. A cela s'ajoute un problème d'accessibilité en termes de coût puisque qu'il n'existe pas de couverture sanitaire universelle. C'est devant cet état de fait que nous avons mené ce travail dont le but était d'évaluer la tolérance et l'efficacité des AAD

dans le traitement de l'hépatite virale C chez les patients suivis à l'hôpital national Donka CHU de Conakry.

Patients et méthodes

Il s'agissait d'une étude analytique prospective portant sur tous les patients suivis dans notre service durant la période d'étude. Elle a été menée du 1^{er} Janvier 2022 au 30 Mars 2024 soit 27 mois en consultation externe du service d'Hépatogastroentérologie de l'hôpital national Donka CHU de Conakry.

Déroulement de l'étude

Critères d'inclusion :

- Etaient inclus les patients de tout âge, de tout sexe, de toutes provenances suivis en consultation externe dans le service durant la période d'étude et ayant accepté de participer à l'étude par un consentement oral chez qui les anticorps anti VHC sont positifs avec une charge virale détectable (patients virémiques). Les Co-infections VHB et VIH ont été systématiquement recherchés chez tous nos patients

Les critères d'exclusion :

- Les patients ayant des anticorps anti VHC positifs avec une virémie indétectable
- Les patients des anticorps anti VHC positifs n'ayant pas réalisés de charge virale
- Les patients avec des anticorps anti VHC positifs ayant refusés de participer à l'étude
- Les patients avec des anticorps anti VHC positifs avec une charge virale positive avec des moyens financiers limités (patients n'ayant pas pu acheter leur médicament)
- **Paramètres sociodémographiques**
 - Age
 - Sexe
- **Paramètres biologiques**
 - Les transaminases en particulier les ALAT
 - La créatininémie pour le bilan pré thérapeutique
 - Marqueurs viraux : VHB, VHC, VHD en cas de positivité du VHB, la sérologie VIH (Virus de l'immunodéficience acquise), la technique ELISA a été utilisé
 - Pour la charge virale ARN-VHC la quantification a été réalisée par la PCR en temps réel (RT PCR temps réel Gene Xpert) avec un domaine de quantification : 10 – 1 000 000 000 UI/ml soit 1- 8,8 Log. Les

patients ont été reparté en deux groupes ceux ayant une charge virale inférieure à 50 000 UI/mL et ceux ayant une virémie supérieure à 50 000 UI/mL.

- Les critères de mise sous traitement étaient des anticorps anti VHC positifs avec une charge virale détectable

➤ **Paramètres radiologiques**

Echographie abdominale ou Scanner abdominal : pour apprécier les organes intra-abdominaux ; surtout rechercher une dysmorphie hépatique, des signes d'hypertension portale (HTP), un nodule suspect de carcinome hépatocellulaire (CHC) et/ou la cinétique de CHC « Wash out » ; apprécier l'abondance de l'ascite

Le Fibroscan : Le classement de la fibrose hépatique a été fait grâce au résultat du Fibroscan exprimé en kPa et les résultats de la fibrose sont classés selon les stades suivants :

- Absence de fibrose ou fibrose minimale = F0 F1, lorsque l'élasticité du foie est inférieure à 7,5 kPa
- Présence d'une fibrose F2 lorsque l'élasticité du foie est comprise entre une valeur supérieure ou égale à 7,5 et 9,5 kPa
- Présence d'une fibrose sévère F3, lorsque l'élasticité du foie est comprise entre 9,5 et 13 kPa
- Présence d'une cirrhose F4, lorsque l'élasticité du foie est supérieure 13 kPa

Le schéma thérapeutique était SOFOSBUVIR 400mg et VELPATASVIR 100mg (SOFOVELPA) en association pendant 12 semaines pour les patients avec VHC positif avec ARN détectable et ceux ayant une cirrhose compensée et SOFOSBUVIR 400mg et VELPATASVIR 100mg plus la RIBAVIRINE 200mg selon le poids du malade pour les patients avec cirrhose décompensée pendant 24 semaines ; soit 1000mg de ribavirine pour un poids inférieur à 75kg et 1200mg pour un poids supérieur à 75kg, dose administrée deux fois par jour.

Le génotypage n'a pas été réalisé pour des raisons financières justifiant l'utilisation des molécules pan génotypiques chez tous nos patients. La durée totale du traitement était de 12 semaines pour tous les patients non cirrhotiques ou avec une cirrhose compensée (soit trois mois) et 24 semaines pour tous les patients cirrhotiques décompensés (soit six mois). La réponse virale soutenue (RVS) est définie par un ARN VHC indétectable à 12 et 24 semaines après la fin du traitement. Nous avons suivi les patients jusqu'à 24 semaines après l'arrêt du traitement à fin d'évaluer l'efficacité et la tolérance. L'efficacité a été définie par une charge virale indétectable réalisée à 24 semaines après l'arrêt du traitement chez tous nos patients. La tolérance était évaluée par l'apparition d'effets indésirables rapportés par les patients durant le traitement

et le suivi avant la réalisation de la dernière charge virale indétectable qui définissait la guérison.

Tous les patients ayant une infection VHB ont été systématiquement mis sous analogue nucléotidique : TENOFOVIR 300mg quelle que soit la charge virale, pour la prévention d'une réactivation du VHB durant le traitement pour le VHC. Ce traitement a été interrompu trois à dix-huit mois après obtention d'une RVS pour le VHC ; en l'absence de critères initiaux de mise sous traitement pour le VHB.

Collecte et traitement statistique des données :

- La collecte des données a été faite à l'aide d'une fiche d'enquête.
- La saisie des données a été faite dans EPI-INFO VERSION 7
- Les tests utilisés pour l'analyse des données ont été le test de Chi carré de Pearson
- Le seuil alpha a été fixé à 5%

Résultats

Nous avons colligé 83 patients qui avaient des anticorps anti VHC positifs et virémiques ; 46 étaient des hommes (55,7%) et 37 des femmes (44,3%), soit un sex ratio H/F de 1,24.

L'âge moyen de nos patients était de 46 ans avec des extrêmes de 22 à 80 ans. La tranche d'âge de 30-50 ans était la plus touchée avec une fréquence de 56%.

Les circonstances de découvertes de l'hépatite virale C étaient : une asthénie physique (43,37% n= 36), une cytolysé et un ictère dans 36,14% (n=30), au cours d'un dépistage volontaire dans 14,46% (n=12) et un don de sang dans 6,02% (n=5).

Sul le plan virologique, 56% de nos patients avaient une charge virale (ARN VHC) inférieure à 50000 UI/mL et 44% avaient une virémie supérieure à 50000 UI/mL. Trois de nos patients avaient un antigène de surface du virus de l'hépatite B. Aucune co-infection VHC et VIH retrouvée.

Selon les paramètres biochimiques, les transaminases ALAT étaient représenté à la figure ci-dessous (Figure1).

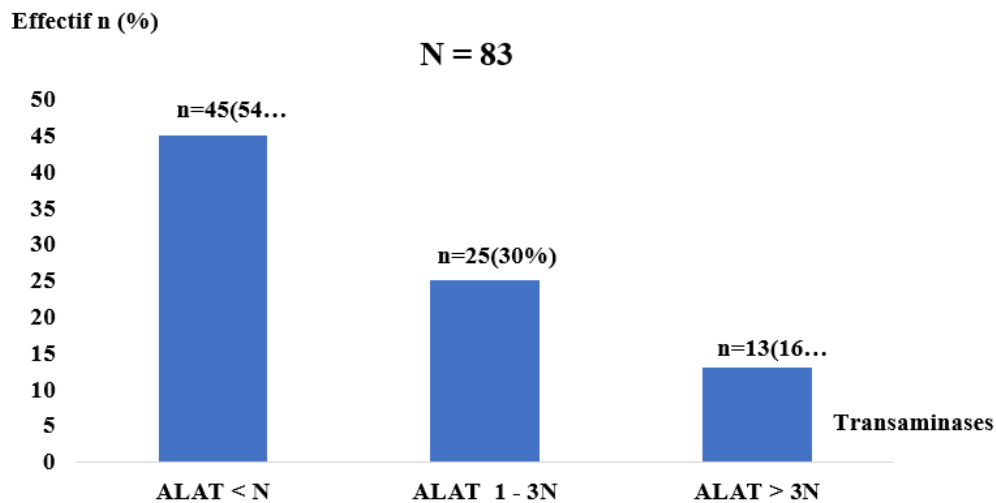


Figure 1 : Répartition des patients selon les ALAT

L'échographie abdominale était normale dans 80% des cas, une stéatose hépatique dans 10% des cas, des kystes biliaires chez deux patients, une cirrhose dans six cas avec des nodules suspects de CHC chez trois patients. Une dilatation du tronc porte avec ascite chez quatre patients. La tomodensitométrie a retrouvé la cinétique de CHC avec le « Wash out » chez ces trois patients. L'évaluation de la fibrose hépatique a été réalisée par le Fibroscan. L'élastométrie impulsionnelle montrait une absence de fibrose ou une fibrose minimale (F0F1) dans 36,14% (n=30), une fibrose modérée (F2) dans 30,12% (n=25) ; une fibrose sévère (F3) dans 21,69% (n=18) et une cirrhose (F4) dans 12,05% (n=10).

Sur le plan thérapeutique tous les patients (100%) avaient été mis sous SOFOSBUVIR 400mg et VELPATASVIR 100mg (SOFOVELPA). La Ribavirine ajoutée chez quatre de nos patients cirrhotiques. La réponse virologique soutenue (RVS) a été évaluée chez 80 de nos patients. L'ARN VHC était indétectable chez les 77 patients après douze semaines de traitement par SOFOVELPA, indétectable chez 3 patients après 24 semaines de traitement par SOFOVELPA + RIBAVIRINE. Les trois patients ayant le CHC sont décédés au cours du traitement (à la cinquième semaine, huitième et onzième semaines). La RVS a été de 100% chez les patients terminés leur traitement.

Les protocoles thérapeutiques sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau 1).

Tableau 1 : Répartition des patients selon le protocole thérapeutique

Protocoles thérapeutiques	Effectif	Nombre de semaines de traitement	Pourcentage (%)
Sofosbuvir + Velpatasvir	79	12	95,18
Sofosbuvir + Velpatasvir + Ribavirine	4	24	4,82
Total	83	-	100

Des effets secondaires indésirables ont été observés chez certains de nos patients. Toutefois, aucun effet secondaire indésirable majeur nécessitant l'arrêt du traitement n'a été signalé. Les principaux effets secondaires sont résumés dans le tableau ci-après (Tableau 2).

Tableau 2 : Répartition des patients selon les effets secondaires

Effets secondaires	Effectif	Pourcentage (%)
Céphalées	30	36,14
Nausées/Vomissement	27	32,53
Asthénie	10	12,04
Diarrhée	9	10,84
Prurit	7	8,43
Syndrome pseudo-grippal	6	7,22
Insomnie	4	4,81
Anémie	2	2,40

Discussion :

La faible taille de notre échantillon, le coût de certains bilans particulièrement le Fibroscan, la charge virale de l'hépatite C, la non disponibilité de cet examen au niveau local, le coût élevé du traitement qui est totalement à la charge du patient, le caractère monocentrique de l'étude ont été entre autres les principales limites de cette étude. Mais, néanmoins cette étude a permis d'évaluer l'efficacité et la tolérance des AAD dans le traitement de l'hépatite virale C dans notre service.

Nous avons colligé 83 cas sur 2242 patients suivis dans notre service durant la période d'étude, soit une prévalence de 3,70 %. Notre résultat est en conformité avec les estimations internationales. Ainsi, on estime qu'environ 3% de la population mondiale, soit 170 millions d'individus, sont infectés par le VHC. En Europe, il existe un gradient nord-sud de la prévalence des anticorps anti VHC allant de 0,5% dans les pays du Nord, à près de 2% dans les pays du pourtour méditerranéen (Anonymous, 1999).

Nous avons noté une prédominance masculine de 55,7% avec un sex ratio H/F de 1,24. Quant à (Diallo MS, 2024) sur un total de 200 patients inclus dans leur étude, 103 étaient des hommes (51,5%) et 97 des femmes (48,5%), soit un sex ratio H/F de 1,06. Cette prédominance masculine pourrait s'expliquer par le mode de vie de l'homme s'exposant au contact des facteurs de risque plus souvent que la femme.

L'âge moyen des patients était de 46 ans avec des extrêmes de 22 ans et 80 ans. Kpoussou AR, 2019) au Bénin rapportaient un âge moyen de 39,7 ans \pm 13,5 ans pour les patients porteurs du VHB et 59,3 ans \pm 14,3 ans chez les porteurs du VHC. Au Burkina Fasso, l'âge moyen des patients était de 47 \pm 10 ans avec des extrêmes de 23 et 71 ans (Sombié R, 2000).

Les circonstances de découvertes de l'hépatite virale C étaient : une asthénie physique (43,37% n= 36), une cytololyse et un ictère dans 36,14% (n=30), au cours d'un dépistage volontaire dans 14,46% (n=12) et un don de sang dans 6,02% (n=5).

Au Bénin (Kpoussou AR, 2019) notaient comme principales circonstances de découvertes de l'hépatite virale C étaient la révélation par un symptôme (38%), le dépistage systématique (23%). Le caractère longtemps silencieux des hépatites virales chroniques explique ces importantes proportions de diagnostic lors d'un dépistage systématique. Le tableau clinique pauvre et l'absence de symptômes spécifiques impose un dépistage systématique dans notre contexte de forte endémicité de ces affections.

Dans notre série, le dosage des aminotransférases sériques (ALAT) montrait des ALAT inférieur à la normale dans 54% ; des ALAT compris entre une et trois fois la normale dans 30% et des ALAT supérieure à trois la normale dans 16% (figure 1). Les aminotransférases sériques stigmates de la lyse des hépatocytes constituent un élément fondamental dans le diagnostic biologique des hépatites virales, les transaminases représentent également un élément de surveillance de l'hépatite virale C. Leur augmentation pendant plus de six mois signe le passage à la chronicité et 60 à 90% des hépatites chroniques avec transaminases élevées évoluent vers une maladie hépatique fibrosante contrairement aux patients ayant des transaminases normales (Miaillhes P, 2000 ; Buffet C, 1995). Cette fréquence élevée de la cytololyse dans notre étude pourrait s'expliquer par le fait qu'en Afrique Noire les causes de cytololyse hépatique sont nombreuses, intriquées et font penser aux causes virales, médicamenteuses et toxiques (Diallo MS, 2023).

Concernant l'évaluation de la fibrose hépatique ; l'élastométrie impulsionnelle montrait une absence de fibrose ou une fibrose minimale (F0F1) dans 36,14%, une fibrose modérée (F2) dans 30,12% ; une fibrose sévère (F3) dans 21,69% et une cirrhose (F4) dans 12,05%. Quant à (Diallo MS, 2024) en Guinée, ils rapportaient dans leur étude une fibrose hépatique avec les fréquences suivantes : 58,82% avaient une absence de fibrose ou une fibrose minimale (F0F1), 22,94% une fibrose modérée (F2), 11,76% une fibrose sévère (F3) et 6,47% une fibrose classée F4.

Sur le plan morphologique, l'échographie abdominale étaient normale dans 80% des cas, une stéatose hépatique dans 10% des cas, des kystes biliaires chez deux patients, une cirrhose dans six cas avec des nodules suspects de CHC chez trois patients. Une dilatation du tronc porte chez deux

patients. La tomodensitométrie a retrouvé la cinétique de CHC avec le « Wash out » chez ces trois patients. Ce résultat est proche de celui rapporté par (Sombié R, 2000) au Burkina Fasso, qui notaient une échographie normale dans 63% des cas, une stéatose hépatique dans 21,7% des cas, une cirrhose dans quatre cas dont trois compliquées de CHC. Dans leur étude, le scanner réalisée chez trois patients avait révélé un cas de cirrhose et deux cas de CHC.

La détermination de la charge virale n'a pas d'intérêt diagnostique pour le VHC ; mais elle garde son importance à la fois dans le bilan pré thérapeutique et dans le suivi des patients atteints d'hépatite virale C chronique. Ainsi, 56% de nos patients avaient une charge virale (ARN VHC) inférieure à 50000 UI/mL et 44% avaient une virémie supérieure à 50000 UI/mL. Trois de nos patients avaient un antigène de surface du virus de l'hépatite B. Aucune co-infection VHC et VIH n'a été retrouvée dans notre série.

Les protocoles thérapeutiques utilisés étaient le Sofosbuvir-Velpatasvir (95,18%), le Sofosbuvir-Velpatasvir-Ribavirine (4,82%) (Tableau 1). Ces schémas ont été utilisés devant l'absence de réalisation du génotypage donnant la priorité aux molécules pan génotypiques. Cette pratique était conforme aux recommandations internationales qui actuellement préconisent l'utilisation des molécules pan génotypiques dans l'éradication de l'hépatite virale C dans de nombreux pays. La combinaison la plus utilisée est le Sofosbuvir-Velpatasvir (Ghany MG, 2029). Deux autres études multicentriques (Etats Unis, Canada, Europe et Hong Kong) sur Sofosbuvir-Velpatasvir dans le traitement de l'hépatite virale C chronique de tous génotypes existants (1, 2,3,4,5 et 6) ont affirmés sa supériorité avec une RVS variant de 95 à 100% [15, 16]. Dans notre série la RVS a été de 100% chez les patients ayant terminé leur traitement. Ce résultat est superposable à celui des deux études multicentriques précédentes qui notaient une RVS variant de 95 à 100% (Jordan JF, 2015 ; Graham RF, 2015).

La tolérance des traitements a été très bonne dans notre étude, aucun traitement n'a été interrompu du fait des effets secondaires. Parfois, il est difficile d'attribuer ces effets au traitement en cours. Ainsi, dans notre série, les effets signalés étaient mineurs. Les principaux effets indésirables étaient : des céphalées dans 36,14%, des nausées et vomissements dans 32,53%, un prurit 12,04%, des crampes musculaires dans 10,84% (Tableau 2).

La fréquence des effets secondaires des AAD est variable selon les études. Nos résultats concordent avec la majorité des résultats des études réalisées sur la thématique montrant une excellente tolérance des AAD. Les effets indésirables rapportés sont : les nausées, une asthénie, des céphalées, une insomnie, un prurit sont les plus décrits (Nezam A, 2014 , Ying Y, 2019, Amber RT, 2019).

De Pace V, 2019 rapportaient la survenue d'au moins un effet secondaire dans 41,9% des cas , par contre (Cheinquer, 2017) ne notaient aucun évènement indésirable attribuable au traitement.

Concernant les patients coïnfectés AgHBs positifs aucune réactivation n'a été observée dans notre série ; Cela pourrait s'expliquer par la mise sous Ténofovir de façon systématique chez tous nos patients. Cette pratique est en accord avec certaines sociétés savantes. L'European Association for the Study of the Liver (EASL) préconise un traitement par analogue nucléosidique ou nucléotidique chez les patients éligibles et un traitement préemptif poursuivi jusqu'à 12 ou 18 semaines après la fin du traitement AAD chez les patients AgHBs positifs non éligibles au traitement spécifique. Chez les patients ayant des anticorps anti HBc Totaux positifs isolés, les transaminases devraient être surveillées mensuellement au cours du traitement par les AAD, l'AgHBs et l'ADN VHB doivent être recherchés si l'ALAT augmente ou ne se normalise pas (EASL, 2018).

Conclusion

L'hépatite virale C est un problème majeur de santé publique, d'une part vu sa fréquence et d'autre part vu ses complications avec le risque d'évolution vers la cirrhose et le carcinome hépatocellulaire. Les AAD disponibles par voie orale, sont très efficace avec une bonne tolérance et des effets secondaires mineurs. Le traitement de l'infection chronique par le VHC avec les AAD a permis d'obtenir un taux de guérison de 100% dans notre série. Cette guérison virologique permet de réduire la mortalité d'origine hépatique et une réduction du risque de progression vers le carcinome hépatocellulaire. D'où la mise en place d'une politique publique d'accès aux soins à tous les patients atteints d'hépatite virale C répliquative d'une part et d'autre part la prévention des facteurs de risque de transmission de la maladie.

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. Amber R Tierney, William Huepfel , Aasma P Shaukat, John R Lake, Mark Boldt, Qi Wang , Mohamed A Hassan. Direct-Acting Antiviral Therapy for Hepatitis C Infection in a Large Immigrant

- Community. *J Immigr Minor Health*. 2019 Jun;21(3):549-554. doi: 10.1007/s10903-018-0758-x. PMID: 29802526.
2. Anonymous. Global surveillance and control of hepatitis C; Report of a WHO consultation organized in collaboration with the Viral Hepatitis Prevention Board. *J Viral Hepatitis* 1999 ; 6 : 35-47.
 3. Bang CS, Song IH. Impact of antiviral therapy on hepatocellular carcinoma and mortality in patients with chronic hepatitis C: systematic review and meta-analysis. *BMC Gastroenterol*. 2017 apr 4; 17 (1): 46.
 4. Buffet C. Marqueurs biologiques sériques et dépistage des hépatites virales. *Rev Prat* 1995 ; 45 : 168-73.
 5. Cheinquer H, Sette H Jr, Wolff FH, De Araujo A, Coelho6borges S, Soares SRP, et al. Treatment of chronic HCV infection with the new direct acting antiviral (DAA): first report of real-world experience in southern Brazil. *Ann Hepatol*. 2017; 16 (5): 727-33.
 6. De Pace V, Morelli MC, Ravaioli M, Galli S, Vero V, et al. Efficacy, Safety, and Predictors of Direct-acting antivirals in Hepatitis C Virus Patients with Heterogeneous Liver Diseases. *New Microbiol*. 2019 Oct;42(4):189-196. Epub 2019 Oct 14. PMID: 31609453
 7. Diallo M Sarifou, Youssof Oumarou, Diallo A Tidiane, et al. Risk Factors for Hepatic Fibrosis in Patients with Chronic Viral Hepatitis B at the Hospital National Donka CHU in Conakry. *Gastroint Hepatol Dig Dis*. 2024; 7(2): 1-6. doi 10.33425/2639-9334.1080
 8. Diallo Mamadou Sarifou, Youssof Oumarou, Wann Thierno Amadou, et al. Epidemiological Clinical Aspects, Risk Factors and Paraclinical and Therapeutics of Chronic Viral C Hepatitis at the Donka Natioanl Hospital CHU Conakry. *Gastroint Hepatol Dig Dis* 2024; 7(3): 1-7. doi 10. 33425/2639-9334.1083
 9. Diallo MS, TA Wann, D Diallo, K Diallo, MLY Bah, SM Sylla, et al. Autoimmune hepatitis complicated by cirrhosis: about an observation at the Conakry University Hospital. *Jaccr Africa*, 2023 : 7 (3) : 65-70.
 10. Diallo MS, Youssof O, Yaogo A, Diallo D, Diallo K, Wann TA, Diallo AT, Bah MLY, Diakhaby Mamadou, Kanté MA. And Sylla Djibril (2024). Evaluation of Hepatic Fibrosis and Hepatic Steatosis by Pulse Elastography (FIBROSCAN) in Asymptomatic Patients about 170 Cases at the Donka CHU National Hospital in Conakry. *Open Journal of Gastroenterology*, 14 ; 125-138. doi:10.4236/ojgas.2024.144014
 11. European Association for the Study of the Liver. EASL Recommendations on Treatment of Hepatitis C 2016. *J Hepatol* 2016. [http://dx doi:101016/j](http://dx.doi.org/101016/j).

12. European Association for the Study of the Liver. EASL Recommendations on treatment of Hepatitis C 2018. *J Hepatol.* 2018; 69: 461-511.
13. Ghany MG, Morgan TR; ASSLD-IDSAs. Hepatitis C Guidance Panel. Hepatitis C Guidance 2019 Update: American Association for the Study of Liver Diseases-Infections Diseases Society of America Recommendations for Testing Management, and Treating Hepatitis C Virus Infection. *Hepatology.* 2020 Feb; 71(2): 686-721. doi 10.1002/hep.31060. PMID: 31816111.
14. Graham R Foster, Nezam Afdhal, Stuart K Roberts, Norbert Bräu, Edward J Gane, Stephen Pianko, Eric Lawitz, Alex Thompson, Mitchell L Shiffman, Curtis Cooper, William J Towner, Brian Conway, Peter Ruane, Marc Bourlière, Tarik Asselah, Thomas Berg, Stefan Zeuzem, William Rosenberg, Kosh Agarwal, Catherine A M Stedman, Hongmei Mo, Hadas Dvory-Sobol, Lingling Han, Jing Wang, John McNally, Anu Osinusi, Diana M Brainard, John G McHutchison, Francesco Mazzotta, Tram T Tran, Stuart C Gordon, Keyur Patel, Nancy Reau, Alessandra Mangia, Mark Sulkowski; ASTRAL-2 Investigators; ASTRAL-3 Investigators *N Engl J Med.* 2015 Dec 31;373(27):2608-17. doi: 10.1056/NEJMoa1512612.
15. Jordan J Feld, Ira M Jacobson, Christophe Hézode, Tarik Asselah, Peter J Ruane, Norbert Gruener, Armand Abergel, Alessandra Mangia, Ching-Lung Lai, Henry L Y Chan, Francesco Mazzotta, Christophe Moreno, Eric Yoshida, Stephen D Shafran, William J Towner, Tram T Tran, John McNally, Anu Osinusi, Evguenia Svarovskaia, Yanni Zhu, Diana M Brainard, John G Mc Hutchison, Kosh Agarwal, Stefan Zeuzem; ASTRAL-1 Investigators *N Engl J Med.* 2015 Dec 31;373(27):2599-607. doi: 10.1056/NEJMoa1512610.
16. Kodjoh N. Fighting viral hepatitis B and C in Africa Focus on Benin. *Médecine Santé Trop.* Avr 2015 ; 25 (2) : 131-4.
17. Kpoussou AR, Séhonou J, Wanvoegbe FA, Abattan C, Sokpon CNM, Vignon RK. Hépatite virale B et C : aspects épidémiologiques et cliniques au Centre National hospitalier et Universitaire de Cotonou. *Médecine d’Afrique Noire*, 2019, vol 66, N° 1 : 6-12.
18. Ly KN, Xing J, Klevens RM, et al. The increasing burden of mortality from viral hepatitis in the United States between 1999 and 2007. *Ann Intern Med.* 2012 ; 156 : 271-8.
19. Miaillhes P, Trepo C. L’histoire naturelle de l’infection par le virus de l’hépatite C. *Med Mal Inft* 2000 ; 30 (suppl1) : 8-13.

20. Nezam Afdhal , Stefan Zeuzem, Paul Kwo, Mario Chojkier, Norman Gitlin, Massimo Puoti, Manuel Romero-Gomez, Jean-Pierre Zarski, Kosh Agarwal, Peter Buggisch, Graham R Foster, Norbert Bräu, Maria Buti, Ira M Jacobson, G Mani Subramanian, Xiao Ding, Hongmei Mo, Jenny C Yang, Phillip S Pang, William T Symonds, John G McHutchison, Andrew J Muir, Alessandra Mangia, Patrick Marcellin; ION-1 Investigators *N Engl J Med*. 2014 May 15;370(20):1889-98. doi: 10.1056/NEJMoa1402454. Epub 2014 Apr 11.
21. Sombie R, Bougouma A, Somda S, Sangare L, Lompo O, Kabore Z, Tieno H, Drabo J, Ilboudo D. Hépatite virale C chronique : épidémiologie, diagnostic et traitement au CHU Yalgado -Ouédraogo de Ouagadougou. *J. Afr. Hépatol Gastroentérol*. 2011 ; 5 : 6-13.
22. Ying Yang, Feng-Ping Wu, Wen-Jun Wang, Juan-Juan Shi, Ya-Ping Li, Xin Zhang, and Shuang-Suo Dang. Real life efficacy and safety of direct-acting antiviral therapy for treatment of patients infected with hepatitis C virus genotypes 1, 2 and 3 in northwest China. *World J Gastroenterol*. 2019 Nov 28; 25(44): 6551–6560. Published online 2019 Nov 28. doi: 10.3748/wjg. v25.i44.6551

Prise en charge des personnes âgées dépendantes : une analyse du modèle socioculturel baoulé Agba de Côte d'Ivoire

Anoua Adou Serge Judicaël

Département d'Anthropologie et de Sociologie,
Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p115](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p115)

Submitted: 29 August 2024
Accepted: 12 November 2024
Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Judicaël A.A.S. (2024). *Prise en charge des personnes âgées dépendantes : une analyse du modèle socioculturel baoulé Agba de Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 115. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p115>

Résumé

Les soins offerts aux personnes âgées dépendantes sont variés et complexes surtout en milieu rural au vu de la quasi-absence des services adaptés à leurs besoins. Il était alors question d'analyser le modèle socioculturel de la prise en charge des personnes âgées dépendantes dans le groupe linguistique baoulé Agba de Côte d'Ivoire. Une recherche descriptive interprétative a donc été menée en février 2023 dans la localité rurale de Kouassi-Kouassikro. Des personnes âgées dépendantes, des aidants familiaux et un professionnel de la santé étaient concernés par l'enquête. Ces personnes ressources ont été sélectionnées sur la base de la méthode de la boule de neige afin de les rencontrer et procéder à l'enquête sur le terrain à l'aide des guides d'entretien semi-directif. De la gestion des données au moyen du discours structuré, l'analyse des données avec l'appui de la perspective stratégique s'est référée à deux cadres logiques, notamment socioculturel et biomédical de la prise en charge des personnes âgées dépendantes pour déceler des points d'impacts critiques et suggérer des leviers de solutions. Il en est ressorti que les personnes âgées dépendantes étaient présentées comme des êtres ambigus vu qu'ils étaient considérés comme des personnes soit malveillantes, soit bienveillantes. Par ailleurs, leur assistance reposait sur un mécanisme social sous-tendu à un code de comportement qui consistait à apporter un soutien du point de vue financier, matériel et sanitaire. Cependant, ce code de conduite s'est trouvé être lié à des risques sanitaires importants, notamment l'alcoolisme, l'intoxication alimentaire et les maladies

chroniques. Il est en conséquence envisagé l'élaboration d'une stratégie de communication plus efficace en matière d'éducation et des campagnes de sensibilisation visant la prise en charge optimale des personnes âgées dépendantes à court ou à moyen terme à Kouassi-Kouassikro en Côte d'Ivoire.

Mots-clés: Personnes âgées, bien-être, soutien social, résilience communautaire, santé publique

Care for dependent elderly people: an analysis of the Baoulé Agba socio-cultural model in Côte d'Ivoire

Anoua Adou Serge Judicaël

Département d'Anthropologie et de Sociologie,
Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire

Abstract

The care offered to dependent elderly people is varied and complex, especially in rural areas where there are virtually no services adapted to their needs. The aim was to analyse the socio-cultural model of care for elderly dependents in the Baoulé Agba group in Côte d'Ivoire. Descriptive and interpretative research was therefore carried out in February 2023 in the rural locality of Kouassi Kouassikro. Dependent elderly people, family carers and a health professional were involved in the survey. These resource persons were selected using the snowball method in order to meet them and carry out the field survey using semi-structured interview guides. From data management using structured discourse, the analysis of the data with the support of the strategic perspective referred to two logical frameworks, namely socio-cultural and biomedical, for the care of dependent elderly people in order to identify critical points of impact and suggest levers for solutions. It emerged that dependent elderly people were presented as ambiguous beings, as they were seen as either malevolent or benevolent. Moreover, their assistance was based on a social mechanism underpinned by a code of behaviour that consisted of providing financial, material and health support. However, this code of conduct was found to be linked to major health risks, in particular alcoholism, food poisoning and chronic illnesses. It is therefore planned to develop a more effective communication strategy in terms of education and awareness campaigns aimed at providing optimum care for dependent elderly people in the short to medium term in Kouassi Kouassikro in Côte d'Ivoire.

Keywords: Elderly people, well-being, social support, community resilience, public health

Introduction

L'Afrique subsaharienne compte 5% des personnes âgées de 60 ans et plus (OMS, 2020). Dans cette région du monde en développement, la prise en charge des personnes âgées dépendantes se déroule de tout temps dans le cadre familial en contexte actuel de vie chère. En Côte d'Ivoire, malgré cette situation précaire, cette catégorie sociale en croissance représente 2,6% de la population générale d'après les estimations du recensement général de la population et de l'habitat 2021 (MPD, 2022). Selon cette même source, 69 personnes de 65 ans et plus dépendent de 100 personnes en âge de travailler. Bien avant cette période, la situation socioéconomique des personnes âgées a révélé que 80% des personnes âgées vivaient en zone rurale et seulement 26,1% étaient alphabétisées (INS et ORC Macro, 2001). En dépit de cette inégalité encore d'actualité, la survie des personnes au-delà de 60 ans paraît alarmante d'autant plus que l'on note un niveau élevé (27,03%) de mortalité des personnes âgées de plus de 60 ans (MSHPCMU, 2021). S'il est admis par l'OMS en 2022 que les causes majeures des décès des personnes âgées dépendantes sont marquées par les maladies non transmissibles et des syndromes gériatriques, l'on attribue cela parfois en Côte d'Ivoire à l'insuffisance de prise en charge de soins adaptés et de soutien de l'Etat ou de la famille (MEPS, 2019). De ce qui précède, il n'en demeure pas moins que ces morbidités découlent des environnements physiques et sociaux au travers d'obstacles ou d'incitations en lien avec les possibilités, les décisions et les comportements en matière de santé (OMS, 2022).

Cela dit, plusieurs initiatives tiennent compte de ces circonstances en vue d'améliorer la santé et promouvoir le bien-être des personnes âgées dépendantes. À propos, l'on peut citer à l'échelle mondiale la proposition de décennie pour le vieillissement en bonne santé (2021-2030) dont la vision est de tendre vers un monde où chacun puisse avoir une vie plus longue et en meilleure santé (OMS, 2022). Dans le même sens, le dernier axe stratégique (Axe Stratégique 3) du plan national du développement sanitaire 2021-2025 en Côte d'Ivoire s'oriente vers le renforcement de la promotion de la santé et de la lutte contre les maladies et stipule en son effet 7 que les populations en particulier les plus vulnérables, utilisent des services de santé de qualité et adoptent des comportements adéquats favorisant une meilleure santé (MSHPCMU, 2021).

Au demeurant, relever ces défis passe par la prise en compte des limites et insuffisances des conditions de vie des personnes âgées dépendantes. Ces obstacles relevant d'une multitude de facteurs se trouvent bel et bien inscrits dans la littérature scientifique. En la matière, Ennuyer (2020) a mis l'accent

sur la catégorisation des personnes âgées à la faveur de la mise en place d'une politique vieillesse assistancielle traduisant des images négatives et déficitaires de ces personnes âgées vues comme fardeau social et lourdeur sur les dépenses publiques. À l'opposé de ces perceptions négatives, Cleerebaut (2015) a souligné des représentations positives entre estime et respect des personnes âgées avant que celles-ci ne soient considérées comme une richesse eu-égard à leur sagesse et leurs expériences au sein de la communauté rurale africaine. Dans ce milieu, Sanou (2023) a illustré la prise en charge des personnes âgées dépendantes par la solidarité familiale à domicile. Dans cette dynamique, selon Fontaine et Juin (2020), les actes d'aide par les proches aidants ont consisté entre autres à des soins personnels, l'entretien du logement, des courses, la préparation des repas, le soutien moral et psychologique, et la surveillance thérapeutique. Cependant, ce soutien familial connaît par moment des difficultés. À propos, Gucher *et al.* (2019) ont indiqué que le non-respect des temporalités propres de la personne âgée se trouve être à la base de l'indifférence, du conflit et de la désorganisation de son quotidien dans ses rapports avec les aides. Ceci a justifié le jugement négatif émis par certaines personnes âgées dépendantes sur la qualité de l'aide reçue à domicile. Dans ce même cadre, Say (2021) a relevé une maltraitance par les proches aidants envers les personnes âgées dépendantes. Cette attitude a découlé de l'épuisement des aidants à la suite des longues heures, de la multiplicité des tâches quotidiennes, en plus des conditions socioéconomiques, relationnelles et familiales peu reluisantes dans l'assistance aux personnes âgées. À cet égard, Yakam *et al.* (2020) ont constaté des vulnérabilités structurelle, économique, environnementale et sanitaire dans le processus de prise en charge des personnes âgées. Ils ont traduit cela par le fait que ces personnes âgées vivent seules avec des enfants ou d'autres personnes âgées, sans revenu ou pauvres, dans la promiscuité et des logements insalubres, malades sans recours aux soins et parfois en situation d'incapacités fonctionnelles ou de handicap. Sommes toutes, l'assistance des personnes âgées dépendantes dans le cadre familial a fait l'objet de plusieurs réflexions abordant des aspects spécifiques sociaux dans un contexte multidimensionnel à la fois géographique, environnemental, économique, médical et culturel. Il reste encore d'énormes champs de recherche à ce propos qui ne sont traités qu'en partie.

L'état de ces connaissances révèle le caractère complexe de la prise en charge à domicile des personnes âgées dépendantes. Dans ce domaine, les perceptions et les pratiques multiples guident la mise œuvre de l'assistance familiale. Cette situation se trouve liée à des risques variés au demeurant dans les communautés rurales en raison de l'absence des services adaptés aux besoins des personnes âgées dépendantes comme c'est le cas à Kouassi-Kouassikro au Centre-Est de la Côte d'Ivoire. Toutefois, il est à noter que ces

facteurs socio-culturels et risques sanitaires varient d'une culture à une autre. C'est pourquoi, il est nécessaire dans cette recherche d'examiner de près les logiques socioculturelles qui sous-tendent les morbidités chez les personnes âgées dépendantes dans le processus de leur assistance en famille. Dès lors, la question fondamentale qui se pose est la suivante : comment assurer la prise en charge sociale des personnes âgées dépendantes chez la communauté de Kouassi-Kouassikro au Centre-Est de la Côte d'Ivoire ? Aussi, l'observation attentive des caractéristiques de l'assistance familiale des personnes âgées dépendantes conduit-elle à suggérer l'hypothèse selon laquelle cette prise en charge repose sur un mécanisme social sous-tendu à un code de comportement original. C'est l'ouverture de ce code de conduite à des risques sanitaires qui fait obstacle à une santé de qualité dans la catégorie sociale des 60 ans et plus à Kouassi-Kouassikro.

Pour la démontrer, il importe de prendre appui sur la perspective scientifique stratégique à partir de la méthode dialectique en tant que support d'ancrage anthropologique. Cet outil adéquat et pertinent permet de ressortir le cadre logique, notamment socioculturel à travers les perceptions et pratiques en lien avec la prise en charge sociale des personnes âgées dépendantes, puis de déceler des risques sanitaires à travers des points d'impacts critiques, et enfin de suggérer des leviers de solutions. La présente étude vise à analyser le modèle socioculturel de la prise en charge des personnes âgées dépendantes dans le groupe baoulé Agba de Côte d'Ivoire. La conduite de l'étude s'est appuyée sur une démarche de recherche particulière.

Méthodologie

Cadre de la recherche

Le village de Kouassi-Kouassikro, chef-lieu de commune rurale, dans la région du N'zi au Centre-Est de la Côte d'Ivoire a été retenu comme le site de l'étude. Ce choix s'est justifié vu que l'objet de l'étude relatif à la prise en charge des personnes âgées dépendantes était observable dans cet environnement. En outre, il répond à un souci d'ordre géographique. En effet, cette recherche a pris en compte la réalité du milieu rural en vue de confronter les savoirs locaux et leurs implications en matière de prise en charge sociale des personnes âgées dépendantes aux normes de santé publique. Enfin, il a été important de faire intervenir l'aspect infrastructurel selon qu'il existe ou non des services adaptés au besoin des personnes âgées dépendantes en vue d'observer l'impact sur la santé de ces derniers. À partir de ces critères essentiels de choix, il a été important d'apprécier la relation entre logique éducative et santé des personnes âgées dépendantes. Une recherche de dimension qualitative et de type descriptif interprétatif (Thorne, 2008) a donc été menée sur une période de deux semaines, allant du 14 au 28 février 2023 à Kouassi Kouassikro. Ceci devait permettre, dans cette localité rurale, la

compréhension des perceptions et pratiques de prise en charge sociale des personnes âgées dépendantes et des risques sanitaires associés.

Population cible et collecte des données

Trois catégories de populations ont fait l'objet d'enquête dans cette recherche. Il s'agit notamment des personnes âgées dépendantes, des aidants familiaux et un professionnel de la santé. L'enquête auprès de ces personnes a été de type individuel à partir d'un échantillonnage consécutif de convenance sur la base de la méthode de la boule de neige (Gumuchian et Marois, 2000) afin de les rencontrer et procéder à l'enquête sur le terrain en tenant compte des critères d'inclusion. Concernant les personnes âgées dépendantes, il s'agit des personnes ayant requis une surveillance régulière. L'âge variait entre 60 et 80 ans. Elles ont été choisies parmi les hommes et les femmes de la communauté baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro vivant sous la responsabilité d'un membre de la famille dans une situation de dépendance physique ou psychique et économique. Ces critères ne prenaient pas d'emblée en compte les personnes d'un groupe ethnoculturel autre qu'Agba de Kouassi-Kouassikro ainsi que celles sans surveillance et jouissant d'un état de bien-être physique, mental et économique. L'intérêt du recours à cette catégorie sociale incluse dans l'enquête était de disposer d'informations officielles relatives à la nature de l'assistance familiale aux personnes âgées dépendantes et ses implications dans le vécu quotidien de celles-ci.

Au total, l'enquête s'est déroulée avec un effectif de quinze (15) personnes âgées dépendantes dont huit (08) hommes et sept (07) femmes. Dans cette option de l'enquête qualitative, des aidants familiaux considérés comme des proches en appui aux personnes âgées dépendantes dans leur vie quotidienne ont également été interrogés. Ce statut a concerné des hommes et des femmes de la communauté baoulé Agba sans distinction d'âge vivant à Kouassi-Kouassikro et en charge des personnes âgées dépendantes excluant naturellement ceux à l'extérieur de ladite localité. Le nombre d'aidants familiaux interrogés était de quinze (15) comprenant six (06) hommes et neuf (09) femmes. Cette enquête de type qualitatif que supposait cette orientation s'étendait également à un (01) personnel de santé. Celui-ci n'était en occurrence qu'un médecin vu comme un professionnel de la médecine conventionnelle en fonction au centre de santé urbain de Kouassi-Kouassikro. L'objectif de l'enquête ici était essentiellement informatif dans le domaine de la gériatrie. Tenant compte du critère de saturation des données (Pires, 2007) et de la rareté de la population de personnes âgées dépendantes et des aidants familiaux, l'enquête dans son ensemble s'élève à trente et un (31) participants.

De cet échantillonnage, la collecte des données s'est réalisée à partir de l'entretien individuel en vue de recueillir les données à analyser (Bonnet, 2008). Dans le contexte actuel de la recherche, les entretiens ont visé la

compréhension du sens accordé aux personnes âgées, des actes accomplis pour leur bien-être au quotidien ainsi que des implications sanitaires associées à cette assistance familiale. L'atteinte de cet objectif a conduit à élaborer deux guides d'entretien semi-directifs. Le premier adressé aux personnes âgées dépendantes et aux aidants familiaux a permis d'évoquer le sens, les formes, les moyens, les opportunités et les contraintes de cette prise en charge sociale des personnes âgées en famille. Le second à l'attention du médecin du centre de santé urbain de Kouassi-Kouasssikro a consisté à mettre en évidence les contradictions ciblées entre l'assistance en famille des personnes âgées et les normes de santé publique, puis les risques de santé à la faveur de certaines opportunités dans ce soutien social. Ce processus de recueil des informations a été soutenu au début par un consentement verbal éclairé des participants dans l'anonymat. De plus, des instruments comme un bloc-notes et un dictaphone ont aidé à enregistrer les données tout en attribuant un numéro à chacun des enquêtés pour les besoins de l'analyse.

Gestion et analyse des données

Le procédé manuel a été utilisé à la phase de dépouillement et des analyses. La transcription textuelle des conversations enregistrées sur fond sonore et la déclinaison en phrases complètes des prises de notes ont permis de développer des points de vue sur les divers aspects relatifs aux perceptions, aux pratiques et aux implications associées à la prise en charge sociale des personnes âgées dans le contexte du milieu rural de Kouassi-Kouasssikro. Par la suite, la technique de l'analyse de contenu thématique (Paillé et Mucchielli, 2012) a fourni des extraits significatifs en vue de mettre en exergue des connaissances et des actes locaux en rapport à l'assistance familiale des personnes âgées dépendantes. La mise en sens des données d'analyse à partir d'un examen dialectique (N'da, 2015), au regard des savoirs endogènes et des normes de santé publique, s'est offerte comme une meilleure lisibilité des incohérences à une santé de qualité en matière de prise en charge de la catégorie sociale des 60 ans et plus à Kouassi-Kouasssikro.

Résultats

Les représentations autour de la prise en charge des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouasssikro

Cette forme de connaissance met en évidence les imaginaires sociaux à propos des personnes âgées dépendantes et leur soutien social à Kouassi-Kouasssikro.

L'image des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouasssikro

Les personnes âgées dépendantes ont été différemment perçues dans le groupe baoulé Agba de Kouassi-Kouasssikro. Dans cette communauté

ethnoculturelle, elles étaient d'abord considérées comme des méchants sorciers. Ceci a conduit à leur attribuer des caractères comme des êtres abominables, immondes et répugnants. En effet, elles étaient à tort ou à raison jugées responsables de la plupart des malheurs vécus dans les familles où elles auraient été à l'origine des attaques spirituelles et mystiques contre ces membres empêchant du reste leur évolution voire leur réussite. Une aidante familiale a exprimé cela de la manière suivante : « *Ici au village, j'ai une grande mère qui a toujours fait échouer à des concours les hommes de la famille. Ce qui a fait que tous ont regagné le village pour être des paysans avec leurs diplômes obtenus à l'école primaire et au collège.* » (Aidante familiale 4). Pour d'autres aidantes familiales, les personnes âgées dépendantes auraient occasionné les décès de certains membres de la famille par simple jalousie ou par volonté manifeste de ne pas voir des proches être épanouis. Pour cela, elles leur auraient lancé des sortilèges les clouant ainsi dans des maladies incurables à mort, comme l'a affirmé une aidante familiale en ces termes : « *Ma vieille tante est sorcière. Quand on nous disait ça, personne ne croyait. Mais, elle a appelé un jour ses enfants pour leur avouer certains sorts contre des membres de la famille qui ne sont plus. Elle dit qu'elle ne peut plus se maîtriser donc que ses enfants se convertissent en l'islam ou au christianisme.* » (Aidante familiale 9). Par ailleurs, les personnes âgées dépendantes ont été présentées par la suite comme des êtres capricieux et invivables. Ceci se traduisait à travers l'agacement de certains proches leur reprochant leur bavardage mais également leur lourdeur et leur lenteur pendant l'assistance. Ce qui était parfois défavorable à l'exécution d'autres tâches par les aidants contribuant ainsi à laisser souvent les personnes âgées dépendantes à leur dépens, comme l'a attesté cet aidant familial : « *Le vieux me fatigue. Quand il me voit, c'est maintenant qu'il veut faire le tour des problèmes du village. Il prend son temps sachant bien que je dois me chercher pour mieux m'occuper de lui. Cela m'énerve tellement que souvent je gagne temps en le laissant se débrouiller tout seul.* » (Aidant familial 3). Dans le même sens, des aidants familiaux ont trouvé que les personnes âgées dépendantes en faisaient un peu trop en exprimant des besoins incessants. Cela se justifiait à travers les courses multiples des proches aidants à la demande des personnes âgées dépendantes, c'est ce qu'a témoigné un aidant familial dans ce qui suit : « *Ma mère âgée est soignante d'enfants dans le village alors qu'elle ne peut plus se rendre en brousse pour chercher les feuilles pour ces médicaments. Je suis devenu donc son commis pour cette course mais aussi lorsqu'elle doit passer un message à ces camarades soignantes, c'est encore moi qui suis chargé de le faire. Chaque jour, c'est comme cela avec elle et c'est trop épuisant de rester devant elle.* » (Aidant familial 6). De toutes ces perceptions, les personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouasssikro se présentaient comme des êtres malveillants. Ce qui n'est pas exhaustif en réalité dans le groupe

baoulé Abga dans lequel les personnes âgées dépendantes apparaissaient ailleurs comme des êtres débonnaires.

Dans la communauté baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro, les personnes âgées dépendantes ont été présentées par la suite comme des bibliothèques vivantes. Pour certains proches aidants, elles étaient vues comme les dépositaires de la tradition par leur maîtrise des us et coutumes mais surtout par leur partage des croyances et des valeurs du groupe social. Ce capital connaissance a fait d'elles des personnes importantes et spéciales dont la présence dans le quotidien du village est une richesse, comme l'a indiqué ici une aidante familiale : « *C'est une grande joie de voir son grand père, sa grand-mère ou ses arrières grands parents en vie. Ces personnes âgées sont des creusets du savoir. C'est une chance de les avoir encore parmi nous car elles peuvent être utiles dans plusieurs domaines.* » (Aidante familiale 2). En plus de cette qualité, d'autres aidants familiaux ont reconnu que les personnes âgées étaient des êtres valeureux. En effet, elles ont donné de leur jeunesse pour la communauté mais aussi pour la société par le travail dans leurs domaines et leurs secteurs d'activité spécifiques, comme l'a souligné un aidant familial en ces dires : « *Ce sont nos modèles, nos héros, des personnes très expérimentées, donc on leur doit beaucoup de gratitude et de reconnaissances. On doit leur rendre hommage et les honorer en les prenant en charge et surtout en profitant encore de leurs expériences.* » (Aidant familial 1). Ces perceptions des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouassikro laissaient découvrir chez elles des traits de caractère bienveillant. Cette constatation conduit à porter les faits observés vers les opinions vis-à-vis de leur soutien social.

Les opinions sur l'assistance aux personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouassikro

Divers avis ont porté sur l'assistance aux personnes âgées dépendantes. Ils ont illustré des exigences de solidarité à l'endroit d'une catégorie socialement nourricière de la vie en communauté baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro, au prix de plusieurs années de sacrifices et d'efforts. C'est fort de ce constat qu'il a été reconnu à leur proche un devoir d'aide à leur attention. À ce propos, il a été incontestable, pour les membres des familles des personnes âgées dépendantes, de s'offrir systématiquement et volontairement un rôle de pourvoyeur d'aide, comme l'a révélé une aidante familiale : « *C'est ma mère ! Elle m'a mis au monde. Aujourd'hui, elle est vieille. Elle ne peut plus rien faire. Je me dois de l'aider afin que le jour où elle meurt qu'elle sache que j'ai été présente à ses derniers jours.* » (Aidante familiale 7). Cette obligation sociale s'entendait davantage à Kouassi-Kouassikro comme une responsabilité naturelle au sein des familles de porter assistance à ces personnes âgées dépendantes. Ce point de vue a reflété une valeur sociale et

une habitude de vie pour le bien-être de ces derniers, c'est ce qu'a semblé expliqué un aidant familial en ces termes : « *Je suis l'aîné. Donc ça fait partie de mes responsabilités en tant que fils d'apporter un soutien à mon père. Pour moi, nous qui sommes les enfants, c'est un devoir pour nous de revenir vers les parents dans leur vieil âge. Car ils n'ont pas voulu être dans la situation qu'ils vivent en ce moment.* » (Aidant familial 4). A bien des égards, il convient de mentionner que la prise en charge des personnes âgées dépendantes a été également admise comme un acte attentionné qu'un devoir d'aide.

Dans la communauté baoulé Agba de Kouassi-Kouasssikro, la prise en charge des personnes âgées dépendantes s'est révélée être un acte attentionné de gratitude et d'amour à leur égard. En effet, l'assistance aux personnes âgées dépendantes a été traduite comme un moyen de reconnaissance pour leurs bienfaits envers les autres. Ce qui a constitué un enjeu social dans les rapports avec les personnes âgées dépendantes. Dans ce contexte, une aidante familiale a déclaré ceci : « *Mes parents ont contribué fortement à ma réussite. Ils m'ont scolarisé. Ils m'ont aidé à passer mon concours. Aujourd'hui je peux dire c'est grâce à eux que je suis ce que je suis. Donc à mon tour je dois les satisfaire car ils n'ont plus la force pour travailler. Donc je leur apporte ce que je peux leur apporter.* » (Aidante familiale 1). Au-delà de la reconnaissance qu'a suscité la prise en charge des personnes âgées dépendantes, il y a eu également l'expression d'un réel sentiment d'amour vis-à-vis d'eux. Ce lien naturel a guidé tant de proches familiaux de façon volontaire et désintéressée à assurer une vie de qualité aux personnes âgées dépendantes, comme l'a signalé une aidante familiale en ces dires : « *J'aime mes parents. Ils sont vieux. Je ne peux pas les laisser dans une souffrance totale. Ils m'ont mis au monde, ils ont fait beaucoup pour moi. J'ai décidé de venir au village pour les aider et satisfaire leurs besoins.* » (Aidante familiale 8). Ces avis à propos de la prise en charge sociale des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouasssikro ont laissé remarquer les motivations qui la sous-tendent. A présent, il importe de découvrir le modèle d'assistance en œuvre dans la quête de bien-être des personnes âgées dépendantes.

Les formes d'assistance aux personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouasssikro

Il est observé selon les enquêtes trois formes d'assistance des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouasssikro : le soutien social, le secours financier et matériel et l'appui sanitaire.

Le soutien social aux personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouasssikro a consisté pour les proches à leur assurer la nourriture, l'entretien de leur cadre de vie notamment les travaux ménagers et à leur prodiguer des conseils en faveur de leur bien-être. Ces tâches ont été le plus souvent dévolues aux filles ou aux belles-filles des personnes âgées, comme l'a attesté une

personne âgée dépendante de la manière suivante : *« C'est ma belle-fille envoyée par mon fils pour me surveiller qui me donne à manger. C'est elle qui lave mes habits et fait tout pour moi. Elle s'occupe bien de moi. »* (Personne âgée dépendante 1). Cette solidarité à l'endroit des personnes âgées dépendantes s'entretient sur de longue durée au fil des événements, comme c'est le cas dans cette déclaration : *« Actuellement je suis aveugle, je ne peux plus rien faire. C'est ma fille qui fait tout pour moi. Elle prend soin de la maison, s'occupe des habits de rechange et de la nourriture. »* (Personne âgée dépendante 4). Ce soutien offert par les proches s'étendait également à un secours financier et matériel.

Le secours financier et matériel aux personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouassikro a reposé sur la fourniture d'argent et de vivres par les proches. En effet, le milieu d'habitat rural dans lequel vivaient les personnes âgées dépendantes se caractérisait par une situation économique difficile en raison de la cherté de la vie et de l'insuffisance des moyens financiers. Cette condition de vie précaire ne laissait indifférent leurs proches, comme l'a admis une personne âgée dépendante : *« La vie est difficile parce que nous n'avons pas d'argent. Le problème ici c'est l'argent. C'est tout ! L'anacarde vendu pour avoir un peu d'argent ne se paye pas bien. Mais comme nos enfants le savent, ils nous apportent donc de l'argent pour tous nos besoins. »* (Personne âgée dépendante 10). Outre les moyens financiers, certaines personnes âgées dépendantes ont reconnu avoir également bénéficié de la part de leur proche des produits d'alimentation, comme l'a évoqué l'une d'entre elles en ces dires : *« De nos jours, c'est difficile de faire des achats pour se nourrir. Les prix ont flambé sur le marché. Heureusement, mes enfants et petits-enfants peuvent parfois m'apporter de la patte d'arachide, du poisson séché et autres légumes secs pour me permettre d'avoir de quoi à manger sur une longue période. »* (Personne âgée dépendante 12). En plus du secours financier et matériel susmentionné, il est à présent question d'appréhender l'appui sanitaire en faveur des personnes âgées dépendantes dans le contexte de Kouassi-Kouassikro.

L'appui sanitaire aux personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouassikro a concerné la sollicitation, par les proches, des soins infirmiers en cas de maladie dans un centre de santé. En effet, les proches des personnes âgées dépendantes ont recours à la médecine moderne en cas de perturbation physiologique pour leur assurer une meilleure santé. Pour ce faire, d'importants moyens financiers sont déboursés à l'occasion pour satisfaire à leur couverture maladie, comme l'a noté une personne âgée dépendante : *« J'ai l'hypertension artérielle. Quand ça déclenche, mes enfants ont l'habitude de m'envoyer à l'hôpital. Souvent, ils vont envoyer l'argent en demandant aux autres à mes côtés de m'emmener à l'hôpital. Si là-bas l'argent ne suffit pas pour payer tous les médicaments, ils complètent. En tout*

cas, quand je suis malade des efforts sont faits par tous pour me sauver. » (Personne âgée dépendante 6). Au-delà des efforts financiers pour le bien-être sanitaire des personnes âgées dépendantes, c'est plus ou moins une routine pour leur proche de leur faire visiter un centre de santé en vue de leur faire bénéficier de meilleurs soins en cas de maladie, comme l'a signalé l'une d'entre elles en ces dires : « Lorsque je ne me sens pas bien, mon fils m'emmène à l'hôpital pour voir ce qui ne va pas d'abord. Les infirmiers me donnent des médicaments. C'est comme ça il fait ! » (Personne âgée dépendante 8).

Sommaires toutes, ces différentes représentations autour de la prise en charge des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouassikro n'excluent pas des contraintes sur le plan sociologique qui freinent leur ouverture à une vie saine.

Les risques associés à la prise en charge des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouassikro

Des risques ont été observés dans la prise en charge des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouassikro. Ils ont découlé principalement des dons reçus en espèce et en nature. D'abord, il s'est avéré que plusieurs personnes âgées dépendantes recevaient directement les sommes d'argent envoyés par des proches. Ce qui leur permettait de s'offrir certains plaisirs aux conséquences parfois néfastes pour leur santé, c'est ce qu'a semblé expliqué une aidante familiale en ces termes : « *Le vieux, lui son problème, c'est qu'il prend l'argent que son petit frère lui a envoyé pour se promener dans les endroits où les femmes vendent l'alcool. On lui dit d'arrêter que ce n'est pas bon pour sa santé. Mais hum il ne nous écoute pas !* » (Aidante familiale 1). En effet, certaines personnes âgées dépendantes, une fois en possession de l'argent, s'adonnaient à la consommation de l'alcool. Pour le médecin du centre de santé urbain de Kouassi-Kouassikro, ce comportement est à risque comme il l'a souligné dans ces propos suivants : « *les personnes âgées sont fragiles avec l'alcool puisque les cellules du système nerveux sont sensibles à la toxicité de l'alcool. De même que l'alcool a un lien avec les maladies du trouble cognitif comme l'Alzheimer où l'on observe des chutes. L'alcool affecte également l'équilibre, la marche. C'est donc dire que l'alcool a des complications sur la santé des personnes âgées dépendantes.* » (Médecin). De plus, il est à noter que les produits alimentaires parfois envoyés par les proches ont constitué des risques de santé pour les personnes âgées dépendantes. En effet, des repas sont proposés sans tenir compte de la santé de ces personnes âgées, comme l'a signalé une aidante familiale : « *Bon, côté nourriture là, on ne demande pas leur avis avant de faire la cuisine. Ce qu'on a eu pour préparer on leur donne. La nourriture du soir c'est tout le monde qui mange.* » (Aidante familiale 6). Dans ces circonstances, des aliments riches en matière

grâce et parfois défavorables à la santé des personnes âgées dépendantes lui sont imposés, comme l'une d'entre elles déclare en ces termes : « *Ma fille fait la cuisine sans me demander. Elle prépare selon son goût. Souvent j'ai des envies mais quand je lui dis, elle ne le fait pas. À mon âge il y a des sauces que je ne peux pas trop manger chaque soir comme l'arachide, la sauce graine même si c'est ce que certains ont offert comme aide. Mais je vais faire comment je suis obligé.* » (Personne âgée dépendante 13). Pour le médecin du centre de santé urbain de Kouassi-Kouassikro, ce comportement alimentaire est effectivement à risque pour cette catégorie de personne, comme il l'a indiqué dans ces explications suivantes : « *Les aliments riches en matières grasses, en sel et sucre sont à proscrire chez les personnes âgées dépendantes vu que cela peut favoriser chez elles des problèmes de santé comme l'hypertension artérielle, le diabète la malnutrition et l'obésité.* » (Médecin). À cause de ces comportements, l'on comprend que des actes dans la prise en charge des personnes âgées dépendantes constituent pour elles des risques de santé. Cet ensemble de faits observés mérite un éclairage.

Discussion

Cette recherche a apporté un éclairage sur les logiques socioculturelles proposées face aux morbidités chez les personnes âgées dépendantes dans le processus de leur assistance en famille. Cela dit, cette prise en charge reposait sur un mécanisme social sous-tendu à un code de conduite ouvert à des risques sanitaires donc défavorables à une santé de qualité dans la catégorie sociale des 60 ans et plus à Kouassi-Kouassikro. À partir de la perspective scientifique stratégique, la méthode dialectique a donc permis de mettre en évidence les perceptions et les pratiques en matière de prise en charge des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouassikro ainsi que les faits de contradiction qui en découlent. Il en est ressorti que la prise en charge des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouassikro a traduit un modèle d'assistance et de bien-être en faveur desdites personnes. D'un point de vue logique, il a été distingué trois formes de prise en charge des personnes âgées dépendantes : le soutien social, le secours financier et matériel et enfin, l'appui sanitaire. Ces pratiques ont été considérées tantôt comme un acte de devoir tantôt comme un acte attentionné quand bien même les personnes âgées dépendantes ont été perçues comme des personnes soit malveillantes soit bienveillantes. Toutes ces représentations indiquent qu'il existe bien un modèle de base en matière de prise en charge des personnes âgées dépendantes dans la culture baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro. Toutefois, ce mécanisme social d'assistance aux personnes âgées dépendantes n'est pas sans risque. Des faits de contradiction se trouvent liés à certaines aides favorisant du coup des comportements délétères à travers la consommation de l'alcool et celle des aliments gras chez des personnes âgées dépendantes.

À travers les résultats présentés, il est tout d'abord admis une image ambivalente des personnes âgées dépendantes dans le groupe baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro. Dans cette communauté, cet état de pensée est perçu comme un fait de dynamique sociale. Ceci relève du conflit des perceptions socioculturelles qui se sont structurées autour des opinions contradictoires vis-à-vis des personnes âgées dépendantes. De ce point de vue, les personnes âgées dépendantes ont été considérées comme des personnes malveillantes c'est-à-dire des personnes nuisibles avec un caractère maléfique. Dans ce cas d'espèce, Say (2021) a fait remarquer que cette dépréciation des personnes âgées par les proches aidants se construit à partir des items comme mystique, sorcier fin, adultère, mari méchant et père inconscient. Pour elle, ce regard de l'entourage trouve son fondement dans une relation sociale rétrospective jugée insatisfaisante doublée d'un désir de vengeance avec pour corollaire l'absence d'affection et de compassion. D'autre part, abordant la disqualification des personnes âgées dans la structure familiale, Antoine et Zoumana (2019) ont observé une distension des liens affectifs et des rapports intergénérationnels de même qu'une situation de précarité et de vulnérabilité en ce qui concerne des séniors diabétiques au sein des familles. Ces perceptions sociales individuelles augmentent davantage les images négatives attribuées aux personnes âgées vues comme fardeau social, aussi bien que l'a montré Ennuyer (2020), à travers une perception sociale catégorielle desdites personnes dans la mise en place d'une politique vieillesse assistancielle. En dépit de cette image péjorative, les personnes âgées dépendantes ont également été présentées comme des êtres bienveillants à vrai dire des personnes altruistes avec un caractère débonnaire. Comme quoi les résultats de Cleerebaut (2015) ont indiqué ces représentations positives à l'égard des personnes âgées à travers des valeurs à leur attribuer entre autres l'estime, le respect, la sagesse et la richesse de leurs expériences dans la communauté rurale africaine. D'autant mieux, Das et Bhattacharyya (2021) ont souligné que ces représentations sont révélatrices de l'existence de liens sociaux forts eu égard aux perceptions du vieillissement symbolisées par les personnes âgées dans des zones périurbaines de l'Inde.

À la suite des ambivalences du caractère des personnes âgées dépendantes, nos résultats prouvent que l'assistance à celles-ci dans le groupe baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro correspond à un enjeu d'ordre éthique. Cet enjeu est en lien avec la légitimité et le désir de générosité des membres des familles des personnes âgées dépendantes. En effet, la mise en œuvre du soutien social consiste avant tout à montrer une reconnaissance légitime des sacrifices et des efforts à l'actif des personnes âgées dépendantes. Cela dit, leurs proches sont amenés à s'imposer, naturellement en toute responsabilité, un devoir d'aide dans un élan de solidarité pour pourvoir à leurs besoins. Évoquant ce sentiment d'obligation, Ferné (2022) a avancé, à partir du point

de vue de trois proches de personnes âgées dépendantes, que la persistance d'un fort sentiment de devoir filial sur la base des liens affectifs avec la famille suggère la forte implication des individus dans l'aide aux parents âgés dépendants malgré la distance et l'autonomisation. De même que Sanou (2023) a révélé des dynamiques familiales complexes et ambivalentes au Burkina Faso sous-jacentes à un sentiment d'obligation, sous l'égide du contrat intergénérationnel et des injonctions sociales, moteur de la prise en charge d'une personne âgée en fin de vie. Et pourtant Ferrié et Radi (2019) ont constaté un hiatus entre les pratiques avérées et les principes par rapport à cette conception des devoirs en ce qui concerne la prise en charge des personnes âgées au Maroc. Pour eux, cela se justifiait par le changement démographique et la modernisation des modes de vie au regard de l'autonomie dans la gestion des relations familiales. Outre que la légitimité de générosité, la solidarité vis-à-vis des personnes âgées dépendantes consiste à développer une attitude d'attentionnée par les membres de leurs familles. Par conséquent, ces proches sont conduits à leur exprimer un réel sentiment d'amour à travers des aides quotidiennes matérielles et affectives. Ce désir de générosité des proches aidants marqué par l'affection à l'égard des personnes âgées dépendantes a incité Cleerebaut (2015) a souligné à travers une réflexion sur les solidarités familiales que leur aide apparaît spontanément en fonction du lien d'affection, de l'affinité et de la proximité avec leurs parents dépendants. Alors que Xing et Chu (2019) ont fait remarquer, à travers l'analyse des rapports de réciprocité intergénérationnelle en milieu rural chinois, que les vieilles personnes devraient remplir une série de devoirs envers leurs descendants, notamment en termes de transmission de patrimoine avant de se voir assurer une telle aide dans leurs vieux jours.

De cet enjeu d'ordre éthique de la prise en charge des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouassikro, il en découle des formes d'assistance diverses desdites personnes dans ce groupe baoulé Agba. La diversité des assistances s'inscrit dans des logiques culturelles basées avant tout sur la solidarité familiale. Celle-ci résulte de l'apport des membres de la fratrie voire de la communauté. Elle se distingue par son caractère informel et se résume à une opération d'aide pour assurer un bien-être aux parents âgés dépendants. Ces pratiques d'aide se rapportent à un ensemble de soutien social, financier, matériel et sanitaire. Dans la recherche de Fontaine et Juin (2020), réalisée sur l'implication des proches aidants en France, on a vu que le soutien social aux personnes âgées est le plus souvent associé aux actes domestiques de la vie quotidienne, à l'organisation des diverses interventions médico-sociales, à la facilitation du bien-être moral et psychologique et enfin au maintien du lien social et à l'accès aux droits humains. Quant à Yakam Yemtchoua (2023), il a également relevé, dans une contribution aux connaissances actuelles sur les conditions de vie des personnes âgées dépendantes, que celles-ci ont très

souvent bénéficié des transferts financiers ou matériels des membres de leur famille vivant en dehors de leur ménage. Toutefois, Yakam *et al.* (2020) ont remarqué que ces formes d'assistance dans le processus de prise en charge des personnes âgées s'accompagnaient également de vulnérabilités structurelle, économique, environnementale et sanitaire. En effet, la solitude, la pauvreté, la promiscuité, la maladie et les incapacités fonctionnelles ou d'handicap étaient parfois les situations de fragilité dans lesquelles vivaient les personnes âgées au Cameroun.

Quoique ces variétés d'aide constituent l'ensemble des ressources mobilisées pour une prise en charge des personnes âgées dépendantes dans le groupe baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro, certaines formes d'assistance, en dépit de leur caractère humanitaire, sont loin de minimiser le risque de santé. Il a été à ce propos noté dans nos résultats que la mise à disposition des moyens financiers et des denrées alimentaires riches en gras exposait davantage lesdites personnes âgées dépendantes à des comportements irrationnels en matière de santé. Cette situation est liée à des comportements à risque comme la consommation d'alcool et d'aliments gras. Ce qui pourrait inéluctablement les exposer aux maladies chroniques comme l'hypertension artérielle, le diabète et aux maladies métaboliques comme la malnutrition et l'obésité. De cette hypothèse du risque sanitaire, Clarke *et al.* (2022), en ce qui les concerne à propos des risques de maladie chronique, ont observé à partir de l'état de santé des personnes âgées en Guyane, une plus grande prévalence des maladies silencieuses telles que l'hypertension artérielle, le diabète, et l'hypercholestérolémie. Ailleurs, chez les résidents âgés de 75 ans et plus en établissement médico-social, Jaques *et al.* (2019) ont soutenu que les comportements addictifs à l'alcool chez la personne âgée entraînaient des risques et des répercussions sur l'état de santé. S'agissant des risques liés à la consommation de l'alcool, Petitdemange (2012) a indiqué que ses effets nocifs occasionnaient des troubles nutritionnels chez une personne sur cinq dans la population des personnes prises en charge dans les réseaux de santé personnes âgées en Lorraine. De même, Lecerf *et al.* (2014) ont indiqué, en ce qui concerne l'alimentation et la nutrition chez la personne âgée, que le risque de morbi-mortalité lié à la dénutrition dépasse celui lié à l'obésité.

À l'issue de cette analyse des résultats, on voit à partir d'une approche qualitative que l'image des personnes âgées dépendantes ainsi que la notion de leur assistance sont associées à des représentations dialectiques. En outre, les formes d'assistance multiples en œuvre dans le processus de leur prise en charge engendrent le plus souvent des risques sanitaires variés. Il apparaît donc clairement que la prise en charge des personnes âgées dépendantes repose sur un mécanisme social sous-tendu à des comportements parfois à risque dans le groupe baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro. D'évidence, ces résultats obtenus corroborent ceux de la littérature récente. De plus, ils mettent

en lumière les perceptions sur les personnes âgées dépendantes tout comme les pratiques sociales en faveur de leur bien-être dans un contexte de milieu rural.

Toutefois, cette prise en charge originale ne rejoint sensiblement la logique de prestation aux normes de santé publique en faveur des personnes âgées dépendantes eu-égard les risques sanitaires qu'elle comporte. Ceci soulève davantage la question de l'offre de service en famille envers les personnes âgées dépendantes pour leur bien-être social, mental et physique et les enjeux de santé publique. Afin de parvenir à une meilleure compréhension de la prise en charge endogène des personnes âgées dépendantes dans ce milieu rural, il convient de procéder à une analyse critique globale d'entretiens sur tous les éléments susmentionnés en tenant compte cette fois-ci de la dynamique des rapports entre les acteurs en jeu à savoir les proches aidants et les personnes âgées dépendantes, de la relation entre les perceptions sur les personnes âgées dépendantes et sur l'assistance à celles-ci, des contraintes et facteurs de motivation à l'assistance des personnes âgées dépendantes et des stratégies de réduction des risques de santé qui en découlent. De ces perspectives théoriques, il est visiblement incontestable d'extrapoler les présents résultats dans le cadre de cette recherche sur la prise en charge des personnes âgées dépendantes dans le groupe baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro.

Au demeurant, les résultats de cette recherche mettent en exergue la vulnérabilité des personnes âgées dépendantes dans un contexte de milieu rural à travers les incohérences sur la perception et les risques associés au soutien social à leur attention. La recherche telle que présentée fait certainement apparaître une portée théorique relativement aux connaissances disponibles pour appréhender la caractérisation de la prise en charge d'une catégorie sociale vulnérable comme les personnes âgées vivant dans un milieu d'habitat rural le plus souvent prédisposé à la précarité. Ceci est très important pour l'anthropologie sociale de la santé des personnes âgées en vue d'apprécier les contradictions ciblées entre les pratiques culturelles et les normes de santé publique et réduire les morbidités dans ce domaine. Cela dit, il est nécessaire d'envisager des actions de communication pour le changement social et de comportement orientées vers le renforcement des compétences transculturelles des proches aidants en vue de réduire les connaissances contradictoires sur les personnes âgées dépendantes et les risques de santé associés à l'assistance familiale.

Conclusion

La prise en charge des personnes âgées dépendantes en milieu rural demeure un défi de taille en famille dans le groupe baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro. En effet, l'assistance des proches aidants se mue parfois en

risque de santé pour cette catégorie sociale vulnérable. La pertinence de la réflexion sur la prise en charge sociale des personnes âgées dépendantes dans cette communauté ethnoculturelle baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro est d'importance en vue d'une analyse de ce modèle socioculturel dans ce domaine. À cet égard, l'analyse dialectique dans la perspective stratégique a montré des perceptions négatives sur les personnes âgées relativement à l'image d'être malveillant à leur conférer et des risques de santé en lien avec les formes spécifiques de soutien financier et matériel à leur attention. De toute évidence, ce modèle socio-culturel de prise en charge des personnes âgées dépendantes est révélateur des obstacles à une prise en charge de qualité des personnes âgées dépendantes à Kouassi-Kouassikro. Il est donc indéniable d'agir sur ces facteurs d'influence en s'appuyant sur des actions de communication à l'attention des proches aidants en vue de disposer de connaissances appropriées sur les personnes âgées dépendantes mais aussi sur des pratiques adaptées à leur bien-être. Ceci passe par le renforcement de la logique éducationnelle de toute la communauté baoulé Agba de Kouassi-Kouassikro à partir d'une démarche participative réaliste et efficiente. Par ailleurs, toutes ces connaissances constituent des sources de documentation du domaine de l'anthropologie sociale de la santé des personnes âgées dépendantes en termes de prise en charge. Même si en d'autres circonstances de recherche, l'analyse sur ce sujet mérite d'être approfondie à travers la dynamique des rapports entre les différents acteurs, la dynamique des perceptions entre les acteurs et les formes d'assistance, les contraintes et facteurs de motivation à l'assistance. La prise en charge de qualité des personnes âgées dépendantes en milieu rural en dépend.

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

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

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

Études humaines : L'étude a été approuvée par le comité scientifique institutionnel de l'Université Alassane Ouattara et les principes éthiques (consentement, anonymat, etc.) ont été respectés.

References:

1. Antoine, D., & Zoumana, C. (2019). Structure Familiale Et Disqualification De La Personne Agée Diabétique Résidant A Micaou Dans La Commune De Yopougon (Côte d'Ivoire). European Scientific

- Journal, 15(34),175-192.
<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n34p175>
2. Bonnet, M. (2008). Jean-Pierre OLIVIER DE SARDAN, La rigueur du qualitatif. Les contraintes empiriques de l'interprétation socio-anthropologique. [Jean-Pierre OLIVIER DE SARDAN, The rigour of quality. The empirical constraints of socio-anthropological interpretation]. Bulletin Amades, Louvain-La-Neuve, Bruylant Academia, pp. 1-368. <https://doi.org/10.4000/amades.1080>
 3. Clarke, L., Castor-Newton, M., Angénieux, O., Lapeyre-Mestre, M. & Gardette, V. (2022). La population âgée en Guyane : état des lieux et enjeux pour le système de santé. Santé Publique, 34, 695-707. <https://doi.org/10.3917/spub.225.0695>
 4. Cleerebaut, J., & Renchon, J. L. (2015). Quelles solidarités envers les personnes âgées? A la recherche d'un équilibre entre la solidarité familiale et la solidarité étatique. Université catholique de Louvain,. Prom. : Renchon, Jean-Louis. <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:3177>
 5. Das, M. & Bhattacharyya, A. (2021). Aspects du bien-être en fin de vie chez les personnes âgées des zones périurbaines de l'Inde. Gérontologie et société, 43(164), 67-83. <https://doi.org/10.3917/gsl.164.0067>
 6. Ennuyer, B. (2020). La discrimination par l'âge des « personnes âgées » : conjonction de représentations sociales majoritairement négatives et d'une politique vieillesse qui a institué la catégorie « personnes âgées » comme posant problème à la société. La Revue des droits de l'homme. Revue du Centre de recherches et d'études sur les droits fondamentaux, (17). <https://doi.org/10.4000/revdh.8756>
 7. Ferné, M. (2022). Prendre soin à distance : concilier éloignement et devoir filial auprès d'un parent âgé en Martinique. Enfances Familles Générations [En ligne], 40 | 2022, mis en ligne le 24 mai 2022, consulté le 14 janvier 2024. URL : <http://journals.openedition.org/efg/13734>
 8. Ferrié, J. & Radi, S. (2019). Entre deux modèles : les devoirs vis-à-vis des personnes âgées au Maroc. Gérontologie et société, 41(158), 153-163. <https://doi.org/10.3917/gsl.158.0153>
 9. Fontaine, R., & Juin, S. (2020). L'implication des proches aidants dans le maintien de l'autonomie des personnes âgées-Jusqu'où?. Médecine/sciences, 36(12), 1188-1195. <https://doi.org/10.1051/medsci/20202226>
 10. Gumuchian, H., & Marois, C. (2000). Chapitre 6. Les méthodes d'échantillonnage et la détermination de la taille de l'échantillon. In Initiation à la recherche en géographie : Aménagement, développement territorial, environnement. Presses de l'Université de Montréal. <https://books.openedition.org/pum/14800?lang=fr>

11. Gucher, C., Laforgue, D. et Alvarez, S. (2019). La perception de la qualité au prisme des temporalités : les temps de l'aide à domicile. *Gérontologie et société*, 41 (3), 47-59. DOI : 10.3917/gsl.160.0047. URL : <https://www.cairn.info/revue-gerontologie-et-societe-2019-3-page-47.htm>
12. Institut National de la Statistique-INS et ICF 2022. Enquête Démographique et de Santé de Côte d'Ivoire, 2021. Rockville, Maryland, USA : INS/Côte d'Ivoire et ICF. <https://dhsprogram.com/pubs/pdf/PR140/PR140.pdf>
13. Institut National de la Statistique [Côte d'Ivoire] et ORC Macro. 2001. Enquête Démographique et de Santé, Côte d'Ivoire 1998-1999. Calverton, Maryland USA : Institut National de la Statistique et ORC Macro. <https://www.dhsprogram.com/pubs/pdf/FR129/FR129.pdf>
14. Jaques, C. L., Lachat, L., & Meier, J. (2019). Comment les déterminants de la participation de la personne âgée de 75 ans et plus, alcoolique et résidant en établissement médico-social (EMS), influencent-ils l'alliance thérapeutique ? Mémoire de bachelor: Haute Ecole Arc Santé, consulté le 14 janvier 2024. URL : <https://sonar.ch/hesso/documents/313547>
15. Lecerf, J. M., Caussy, C., Hankard, R., & Raynaud-Simon, A. (2014). Grandes lignes de la nutrition de l'adulte en bonne santé (et qui souhaite le rester) et au cours du cycle de la vie. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2014(465), 35-45. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(14\)72642-5](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(14)72642-5)
16. Ministère de la Santé, de l'Hygiène Publique et de la Couverture Maladie Universelle (MSHPCMU). (2021). Plan national de développement sanitaire 2021-2025. Abidjan : République de Côte d'Ivoire. <https://ucp-fm.com/uploads/documentations/6388a0fde5e42-suivis-plan-national-de-developpement.pdf>
17. Ministère du Plan et du Développement (MPD). (2022). Recensement général de la population et de l'habitat 2021. Résultats globaux définitifs. Abidjan : Institut National de la Statistique (INS), République de Côte d'Ivoire. Consulté le 19 septembre 2023. URL: <https://www.ins.ci/RGPH2021/RESULTATS%20DEFINITIFSRP21.pdf>
18. Ministère de l'Emploi et de la Protection Sociale (MEPS). (2019). Contribution de la côte d'ivoire concernant l'élaboration du rapport thématique de la 41ème session du conseil des droits de l'homme à Genève. Consulté le 21 septembre 2023. URL: https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Issues/Disability/OlderPersons/COTE_D_IVOIRE.docx

19. N'da, P. (2015). Recherche et méthodologie en sciences sociales et humaines : réussir sa thèse, son mémoire de master ou professionnel, et son article. [Research and methodology in social sciences and humanities: passing your thesis, your master's or professional thesis, and your article] Paris: L'Harmattan, pp.1-275. <http://livre2.com/LIVREF/F33/F033004.pdf>
20. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2022). Vieillesse et santé. Genève : Organisation mondiale de la Santé. Consulté le 21 septembre 2023. URL: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
21. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2020). Décennie pour le vieillissement en bonne santé, 2020-2030 [Final proposal], Genève : OMS. Consulté le 21 septembre 2023. URL: <https://www.who.int/fr/initiatives/decade-of-healthy-ageing>
22. Paillé, P., et Mucchielli, A. (2012). L'analyse qualitative en sciences humaines et sociales. [Qualitative analysis in the humanities and social sciences] 3e éd. Paris: Armand Colin, pp. 1-424. <https://www.cairn.info/l-analyse-qualitative-en-sciences-humaines--9782200249045.htm>
23. Petitdemange, A. F. (2012). Prévalence de la consommation d'alcool chez les personnes prises en charge dans les réseaux de santé personnes âgées en Lorraine. Etude transversale sur 1241 cas. Sciences du Vivant [q-bio]. Université de Lorraine. Thèse de Doctorat. <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733950>
24. Pires, A. P. (2007). Échantillonnage et recherche qualitative : essai théorique et méthodologique. [Sampling and Qualitative Research: Theoretical and Methodological Testing], in N.K. Denzin et Y.S. Lincoln (dir.), Strategies of Qualitative Inquiry, Thousand Oaks, Sage Publications, 113-169.
25. Sanou, M. (2023). Configurations et reconfigurations familiales du care des personnes âgées dépendantes: Une socio-anthropologie des représentations et des pratiques de la fin de vie à Bobo-Dioulasso, Burkina Faso (Doctoral dissertation, USL-B-Université Saint-Louis). <http://hdl.handle.net/2078.3/271465>
26. Tanoh Say A. C. (2021). Relation Proche Aidant/ Aidé Et Accompagnement Familial : Regard Sur La Maltraitance Des Personnes Agées Dépendantes En Perte D'autonomie (Côte d'Ivoire). European Scientific Journal, ESJ, 17(5), 200-215. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n5p200>
27. Thorne S. E. (2008). Interpretive Description. Walnut Creek: Left Cost Press.

28. World Bank Group., (2023). Espérance de vie à la naissance, total (années). World Health Organization, Global Health Observatory Data Repository/World Health Statistics. Consulté le 19 septembre 2023. URL: <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.DYN.LE00.MA.IN>
29. Xing, J. & Chu, J. (2019). Des relations de réciprocité intergénérationnelle en crise: Une ethnographie de la prise en charge des personnes âgées dans les milieux ruraux chinois. *Vie sociale*, 27, 167-185. <https://doi.org/10.3917/vsoc.193.0167>
30. Yakam, W. A., Carrière, Y., Legrand, T., Bergouignan, C., Sanderson, J. P., & Oris, M. (2020). Vulnérabilité des personnes âgées au Cameroun: formes et facteurs. Quand le vieillissement change la donne: enjeux démographiques, politiques et socioéconomiques. Louvain La Neuve, Belgium: Publications de l'AIDELF–Carrefour de la démographie francophone, 75-94. <https://colloque.aidelf.org/documents/1863.pdf>
31. Yakam Yemtchoua, W. A. (2023). Arrangements résidentiels, transferts familiaux et santé des personnes âgées en Afrique subsaharienne: cas du Sénégal. (Doctoral dissertation, Université de Montréal), consulté le 14 janvier 2024. URL : <https://doi.org/1866/27779>

Dynamique spatio-temporelle du couvert forestier dans le bassin de Kara au Nord Togo (Afrique de l'Ouest)

Atsu K. Dogbeda Hloror

Kossi Adjonou

Kossi Segla

Katché Komlanvi Akoete

Kouami Kokou

Université de Lomé, Faculté Des Sciences, Département de Botanique,
Laboratoire de Recherche Forestière, Togo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p137](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p137)

Submitted: 10 October 2024

Accepted: 22 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Hloror A.K.D., Adjonou K., Segla K., Akoete K.K. & Kokou K. (2024). *Dynamique spatio-temporelle du couvert forestier dans le bassin de Kara au Nord Togo (Afrique de l'Ouest)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 137.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p137>

Résumé

Dans le contexte de la dégradation des écosystèmes forestiers, cette étude vise à approfondir les connaissances sur la dynamique forestière dans le bassin de la Kara. Elle se concentre sur les changements d'occupation des sols sur une période de 50 ans, de 1972 à 2021. Les étapes incluent la cartographie des occupations du sol pour les années 1972, 1987, 2005 et 2021, en utilisant des images satellites Landsat, ainsi qu'une projection pour 2050 basée sur un scénario tendanciel. L'Indice de Santé de la Végétation (VHI) a été calculé pour suivre l'état de la végétation et sa corrélation avec les paramètres météorologiques. Les résultats révèlent une réduction des surfaces forestières entre 1972 et 2005, suivie d'une légère augmentation jusqu'en 2021, ce qui suggère une tendance favorable à la conservation. Cependant, la conversion des savanes en terres agricoles est préoccupante, avec une dégradation rapide de 9,22 % entre 2005 et 2021. L'analyse de la matrice de Markov a permis d'évaluer les probabilités de transition entre les classes d'occupation du sol pour la période 2021-2050, mettant en évidence une tendance à la conversion des savanes en forêts. De plus, l'étude du VHI montre une variabilité interannuelle de l'état de la végétation, alternant entre des périodes humides et

sèches entre 1972 et 2005, avec une variabilité moindre entre 2005 et 2021. Ces résultats constituent une base pour comprendre et anticiper l'évolution des paysages en réponse au développement agricole.

Mots-clés: Bassin de la rivière Kara, Ecosystème forestier, Prédiction, Matrice de Markov, Variabilité interannuelle, Indice VHI

Spatio-Temporal Dynamics of Forest Cover in the Kara River Basin in Northern Togo (West Africa)

Atsu K. Dogbeda Hlovor

Kossi Adjonou

Kossi Segla

Katché Komlanvi Akoete

Kouami Kokou

Université de Lomé, Faculté Des Sciences, Département de Botanique,
Laboratoire de Recherche Forestière, Togo

Abstract

In the context of forest ecosystem degradation, this study aims to deepen knowledge of forest dynamics in the Kara basin. It focuses on land-use changes over a 50-year period, from 1972 to 2021. Stages include land-use mapping for the years 1972, 1987, 2005, and 2021, using Landsat satellite images, and a projection for 2050 based on a trend scenario. The Vegetation Health Index (VHI) was calculated to monitor vegetation condition and its correlation with meteorological parameters. The results show a reduction in forest area between 1972 and 2005, followed by a slight increase up to 2021, suggesting a favorable conservation trend. However, the conversion of savannah to farmland is a cause for concern, with a rapid degradation of 9.22% between 2005 and 2021. Markov matrix analysis was used to assess the transition probabilities between land-use classes for the period 2021-2050, highlighting a trend towards the conversion of savannah to forest. In addition, the VHI study shows inter-annual variability in vegetation conditions, alternating between wet and dry periods between 1972 and 2005, with less variability between 2005 and 2021. These results provide a basis for understanding and anticipating the evolution of landscapes in response to agricultural development.

Keywords: Kara River Basin, Forest ecosystem, Prediction, Markov matrix, Variability Interannual variability, VHI index (Vegetation Health Index)

Introduction

La sauvegarde de l'environnement exige une intégration de ses ressources naturelles dans l'aménagement du territoire (Agbanou, 2018). De nos jours, ces dernières subissent une exploitation accrue dont l'agriculture reste le principal facteur de pression influençant considérablement la biodiversité (Aurélié et Aude, 2015). En effet, la baisse des rendements agricoles, l'impossibilité de faire fonctionner les mécanismes traditionnels de gestion du risque et l'incertitude fragilisent les systèmes de culture et induisent des stratégies de court terme qui sont souvent dommageables à l'environnement (Roudier, 2012). Dans le but de conquérir d'autres terres nouvelles, les réserves foncières, de nouvelles espaces sont prises d'assaut par l'extension des cultures, en raison du caractère aléatoire des pluies et de leur diminution, ainsi que l'absence d'alternative sur le plan de la modernisation et de l'intensification durable des systèmes productifs. Cette intensification agricole a conduit à une fragilisation et destruction des écosystèmes, avec des impacts négatifs sur la biodiversité et les services écosystémiques (Ellis *et al.*, 2020 ;Erb *et al.*, 2017).

Au Togo, les changements les plus spectaculaires dans l'utilisation des terres sont observés dans les régions situées au nord du pays, notamment dans les écorégions de savanes sèches et la plaine de l'Oti (MERF, 2018). Ces transformations exercent des pressions croissantes sur les écosystèmes naturels, comme c'est le cas dans le bassin de la Kara. L'agriculture demeure responsable de ces répercussions directes sur l'occupation du sol et la configuration du paysage. En effet, le développement des cultures vivrières associé aux cultures de rentes ont contribué à la dégradation des écosystèmes par l'action de l'agriculture extensive. À cela s'ajoutent les pratiques telles que le surpâturage et les feux de brousse. La défaillance dans la gestion efficiente des systèmes agricoles constitue alors une contrainte majeure pour la conservation de la biodiversité et l'équilibre écologique des écosystèmes tropicaux (Atakpama *et al.*, 2019).

Dans la nouvelle dynamique d'installation d'agropole dans le bassin de la Kara, il est essentiel de s'interroger sur la traduction spatiale des dynamiques écosystémiques afin de mieux gérer ces écosystèmes naturels. Quelle est l'ampleur de cette dynamique à ce jour ? Il convient d'analyser en se servant de la télédétection, la dynamique de l'occupation du sol et l'évolution des espaces forestiers afin de caractériser la variation du couvert végétal dans le bassin. D'autre part, il est crucial d'explorer comment les variations climatiques, telles que les changements de température et de précipitations, affectent ces dynamiques. Les études montrent que les écosystèmes forestiers sont particulièrement sensibles aux fluctuations climatiques, ce qui peut entraîner des modifications significatives de la biodiversité et de la résilience des habitats. Il a été démontré que les périodes

prolongées de sécheresse associées à des températures élevées peuvent intensifier les pressions déjà exercées sur les ressources naturelles, entraînant ainsi une dégradation accrue des forêts. En somme, cette approche qui associe l'analyse historique du couvert forestier à l'évaluation des impacts climatiques sur l'état de la végétation est cruciale pour élaborer des stratégies de gestion durable. Cela permettra non seulement de préserver l'écosystème du bassin de la Kara mais aussi d'améliorer la qualité de vie des populations locales qui en dépendent.

Cette étude vise à améliorer les connaissances sur la dynamique forestière dans le bassin de la Kara afin d'orienter efficacement les stratégies de gestion forestière et de développement agricole du pays. Cette étude a pour objectifs d'analyser la dynamique du couvert forestier dans le bassin de la Kara sur les cinquante dernières années et d'évaluer l'impact des variations climatiques sur cet écosystème.

II - Matériel et méthodes

II-1. Zone d'étude

L'étude porte sur le bassin de la rivière Kara, d'une superficie de 5 287 km², qui constitue un sous-bassin du bassin de l'Oti (75 859 km²). Le bassin de la rivière Kara est un bassin transfrontalier situé dans le Togo et le Bénin. Il est situé entre les longitudes 0°30' et 1°38'E et les latitudes 9°15' et 10°01'N (Figure 1).

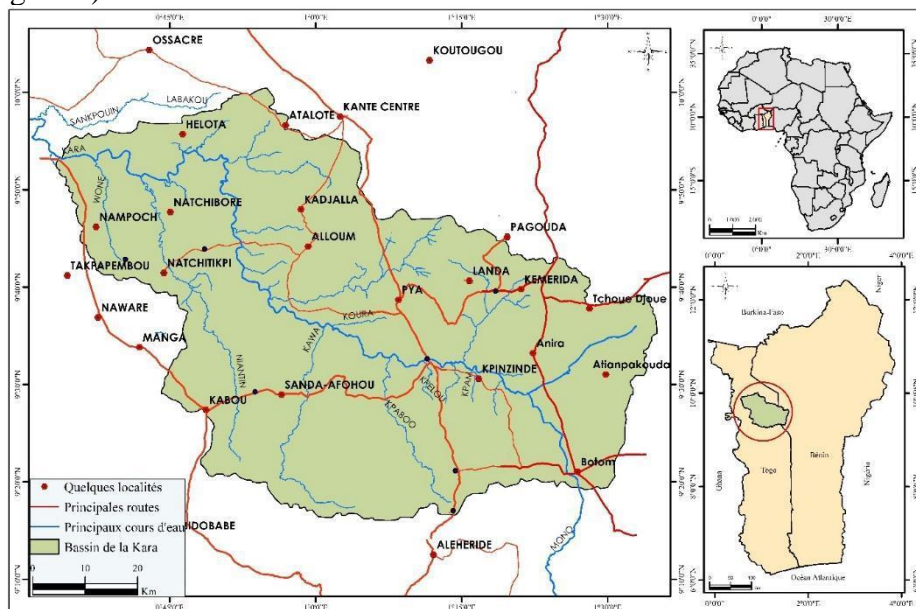


Figure 1 : Situation géographique du bassin de la Kara

Le climat est de type tropical avec deux saisons : une saison des pluies d'avril à octobre avec de fortes variations de précipitations et une saison sèche le reste de l'année. Les précipitations sont régies par la dynamique de la mousson ouest-africaine et sont estimées en moyenne à 1320 mm par an avec une déviation standard écart-type de 206 mm et un coefficient de variation de 0,16. La température annuelle moyenne est de 27,3°C, avec un écart-type de 0,5°C et un coefficient de variation de 0,02. La zone d'étude est recouverte de formations du Néoprotérozoïque et du Paléozoïque, ainsi que des unités de Buem et Atakora, de gneiss-migmatites, et de massifs basiques et ultrabasiques (Tairou et al. 2012). Les sols de l'ensemble du bassin versant comprennent les ferralsols, acrisols ou lixisols correspondant à des sols ferrugineux tropicaux lessivé. Le terrain comprend des collines, dont l'altitude maximale atteint 782 m à Lama- Kouméa, des dépressions, des plaines plates, des plaines et des plateaux. La population estimée dans le bassin de la Kara s'élève à 460 000 habitants sur la base des résultats des derniers recensements de la population au Togo (RGPH, 2020).

II-2. Méthodologie

II-2-1. Méthode d'acquisition des données satellites et climatiques

- *Image de la mission Landsat Level 2*

Les données Landsat de résolution spatiale et spectrale complète (résolution 30 x 30 m) de la fin de la période sèches (Janvier – Février) et avec une couverture nuageuse inférieure à 10 % ont été téléchargées à partir du portail du « Center for Earth Resources Observation and Science (EROS) of U.S. Geological Survey (USGS) » (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Les produits de Level-2 (Surface reflectance), des satellites Landsat ont été choisis pour obtenir des données géométriques et radiométriques corrigées (Tableau 1). En effet, ces données ont des qualités radiométriques et géométriques satisfaisantes pour effectuer des analyses de changement d'affectation des terres et en particulier l'analyse historique de l'évolution du couvert forestier (Gutman et al, 2005).

Tableau 1 : Base de données d'images Landsat utilisée pour l'analyse de l'évolution des écosystèmes forestiers entre 1972 et 2021

Année	Date d'acquisition	Capteur
2021	04/01/2021	L8 / OLI
2019	16/02/2019	L8 / OLI
2018	12/01/2018	L8 / OLI
2017	25/01/2017	L8 / OLI
2015	04/01/2015	L8 / OLI
2013	23/02/2013	L7 / ETM+ (SLC-off)
2012	04/01/2012	L7 / ETM+ (SLC-off)
2011	02/02/2011	L7 / ETM+ (SLC-off)
2010	30/01/2010	L7 / ETM+ (SLC-off)
2009	27/01/2009	L7 / ETM+ (SLC-off)

2008	25/01/2008	L7 / ETM+ (SLC-off)
2007	22/01/2007	L7 / ETM+ (SLC-off)
2005	01/02/2005	L7 / ETM+ (SLC-off)
2002	09/02/2002	L7 / ETM+
2000	04/02/2000	L7 / ETM+
1991	10/01/1991	L4 / TM
1987	23/01/1987	L5 / TM
1972	10/11/1972	LM01/CO2/T2

- ***Données climatiques***

Les données climatiques de la zone d'étude sur toute la période considérée ont été téléchargées sur le Climate Change Knowledge Portal (CCKP) de la Banque mondiale. Il s'agit notamment des données de précipitations moyennes et de températures moyennes, disponibles. Toutes ces données sont librement accessibles et téléchargeables sur le portail, qui vise à renforcer les connaissances et les capacités en matière d'adaptation au changement climatique.

- ***Données d'analyse***

Des données précises sur les placettes d'entraînement sont essentielles pour la classification avec l'algorithme « Random forest ». L'échantillonnage des parcelles d'entraînement a été fait sur le terrain. La taille des placettes d'entraînement est plus ou moins inférieure à la taille d'un pixel de Landsat (30mx30m). Sept types d'occupation du sol ont été retenues (Forêt dense, Forêt claire/ Savane boisée, Plantation, Savane arboré/arbustive, Culture/jachère, Eau, Agglomération). Au total, 520 parcelles ont été définies et réparties sur l'ensemble de la zone d'étude.

La description des différents types d'occupation du sol utilisés pour la cartographie de la zone d'étude est présentée comme suit :

- **Forêt**

Elle comprend les galeries forestières, les forêts denses sèches et forêts claires, les agroforêts, les plantations forestières.

- **Savanes**

Cette classe est constituée essentiellement de la savane arbustive et arborée. Elle est généralement caractérisée par une végétation riche en karité, néré, tamarinier et acacia.

- **Cultures et jachères**

Cette classe regroupe des cultures vivrières comme celle de maïs, soja, le sorgho etc.... Les jachères sont composées quant à elles des espaces cultivées des années précédentes et laissées au repos pour quelques années.

- **Agglomération et sols nus**

Il s'agit des terres sans végétation ou à faible couverture végétale. Elles regroupent les sols nus, les affleurements rocheux, les routes, les constructions, les infrastructures

- **Eau**

Il s'agit des rivières, des barrages et des mares qui peuvent être temporaires

II-2-2. Analyse de la dynamique spatio-temporelle du couvert forestier

Les images Landsat ont été retenues pour l'analyse des données. Pour les besoins de la classification, il a été nécessaire d'établir une référence qui définit comment les types d'occupation du sol cible se présentent sur les images. Ainsi, une définition des points de références (les classes d'occupation) a été faite sur la base des images de très haute résolution disponible dans Google Earth pour l'année 2021.

- **Prétraitement des données**

Ce prétraitement se résume à la correction radiométrique et à la correction géométrique.

- **Cartographie de l'occupation du sol**

L'étude a consisté à classifier les images Landsat pour cartographier les occupations du sol en 1972, 1987, 2005 et 2021, en utilisant des parcelles d'entraînement vérifiées pour chaque année. L'algorithme Random Forest (RF) (Breiman, 2001), choisi pour ses performances en prédiction de l'utilisation des sols, a été utilisé, car il surpasse d'autres méthodes comme la classification par maximum de vraisemblance (Grinand et al. 2013 ; Gislason, et al., 2006). Pour améliorer la discrimination des classes, plusieurs indices dérivés des canaux des images satellitaires ont été calculés, notamment l'indice de végétation normalisé (NDVI), l'indice de végétation amélioré (EVI) et l'indice de différence d'humidité normalisé (NDWI). L'intégration de ces indices est essentielle pour optimiser la classification des images satellitaires et améliorer la précision des types d'occupation du sol, tenant compte des variations de densité de végétation et des caractéristiques des surfaces (Kouassi et al., 2018 ; Ross, 1993 ; Leo et al., 1984 ; Rouse et al. 1974).

✓ NDVI

L'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) quantifie la végétation en mesurant la différence entre le proche infrarouge (que la végétation réfléchit fortement) et la lumière rouge (que la végétation absorbe). *Le NDVI utilise la bande du proche infrarouge (NIR) et les canaux rouges dans sa formule (Rouge).*

$$NDVI = (NIR - Rouge) \div (NIR + Rouge)$$

Il varie de -1 à +1 mais il n'y a pas de frontière distincte pour chaque type de couverture terrestre. Par exemple, des valeurs négatives indiquent généralement la présence d'eau, tandis qu'une valeur proche de +1 suggère une végétation dense avec des feuilles vertes. En revanche, un NDVI proche de zéro indique l'absence de feuilles vertes, pouvant même correspondre à une zone urbanisée.

✓ *EVI*

Dans les zones de couvert dense où l'indice de surface foliaire (LAI) est élevé, les valeurs NDVI peuvent être améliorées en exploitant les informations dans la longueur d'onde bleue. Les informations dans cette partie du spectre peuvent aider à corriger les signaux de fond du sol et les influences atmosphériques. L'indice de végétation amélioré (EVI) est un indice de végétation " optimisé " conçu pour améliorer le signal de végétation avec une sensibilité améliorée dans les régions à forte biomasse et un meilleur suivi de la végétation grâce à un découplage du signal de fond de la canopée et une réduction des influences de l'atmosphère.

EVI est calculé à partir de la *bande proche infrarouge (NIR)*, et deux bandes du visible (*bande du rouge et du bleu*) selon cette équation :

$$EVI = (2,5 \times (NIR - Rouge)) \div (NIR + 6 \times Rouge - 7.5 \times Bleu + 1)$$

L'indice de végétation améliorée (EVI) est généralement compris entre -1 et +1. Lorsque l'indice est proche de -1, cela suggère un environnement aquatique ou des zones sans végétation significatives. En revanche, une valeur d'EVI proche de +1 indique une forte densité de feuillage vert, typique des forêts luxuriantes ou des cultures saines. Les valeurs intermédiaires renvoient à divers niveaux de couverture végétale intermédiaire.

✓ *NDWI*

Le NDWI est un indicateur basé sur la télédétection sensible au changement de la teneur en eau des feuilles (Gao, 1996). Elle est utilisée pour mettre la différence entre les forêts continentales et la mangrove. Sa formule est la suivante : $NDWI = (NIR - SWIR) \div (NIR + SWIR)$

Où *NIR* est la bande du proche infrarouge et *SWIR* la bande du moyen infrarouge.

Les valeurs du NDWI varient de -1 à +1 : les valeurs inférieures à 0 indiquant des surfaces sans eau, les valeurs proches de 1 indiquent une très forte teneur en eau, souvent dans les zones humides.

- ***Évaluation de la précision***

Une évaluation de la qualité des classifications est effectuée en calculant la matrice de confusion (Sari et al., 2021) et le coefficient de Kappa (K) exprimé comme la probabilité d'une classification correcte (Hansen et al., 2012). Le coefficient de Kappa (K), développé par Cohen (De Sherbinin et al., 2007) est une mesure statistique puissante et largement utilisée pour évaluer la concordance entre les variables d'une grille à l'autre (Alam et al., 2020).

- ***Détection des changements***

Les cartes issues des résultats de la classification des images ont été comparées à l'aide d'une matrice de changement dans les logiciels Orfeo

ToolBox (version 8.1.2) et QGIS (version 3.30) afin d'obtenir les changements dans les différentes classes pour les différentes périodes considérées dans cette étude (Munsi et al., 2009). En outre, les résultats de la distribution des occupations ont été utilisés pour calculer les tendances de la dynamique des occupations, les changements nets, le pourcentage de changement et le taux d'évolution entre les années 1972 et 2021, 2005 et 2021 ainsi que 1991 et 2005. Pour calculer le pourcentage de changement, les couvertures initiales et finales de l'occupation ont été comparées à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Taux de variation (\%)} = (\text{Superficie UTC actuelle} - \text{Superficie UTC antérieure}) \div (\text{Superficie UTC antérieure}) \times 100$$

Où,

Superficie UTC actuelle = Superficie totale de l'unité d'occupation à la période la plus récente

Superficie UTC antérieure = Superficie totale de l'unité d'occupation à une période précédente

Pour obtenir le taux de variation annuel pour chaque type d'UTC, le taux de variation de la dernière année a été soustrait de celui de l'année initiale, puis divisé par le nombre total d'années à l'aide de l'équation suivante :

Taux de variation annuel = (année finale - année initiale) / (nombre total d'années)

Une matrice de changement post-classification a ensuite été utilisée pour analyser ces changements. Cette technique de détection des changements post-classification fournit des informations importantes sur la distribution spatiale de l'occupation du sol. Une matrice de conversion des terres a été générée à partir des images classifiées de 2005, 2012, et 2022.

- ***Simulation de l'occupation du sol en 2050***

LCM est un modèle générique conçu pour la simulation des changements d'occupation et d'usage des sols (Eastman, 2009). Il a été initialement conçu pour gérer les impacts sur la biodiversité, analyser et prévoir l'utilisation des terres et les changements de couverture terrestre. LCM évalue les changements de couverture terrestre entre deux dates T1 (initiale) et T2 (final). Il calcule les modifications et affiche les résultats sous forme statistique et cartographique. Il prédit le couvert forestier futur sur la base de potentiel de transition relative (Figure 2).

Ce modèle est constitué de trois étapes majeures : l'entrée de données, les traitements (modules), la validation et les résultats de prédiction. Les variables utilisées dans le modèle d'entrée sont constituées de « distance par rapport aux habitations », « distance par rapport aux cours d'eau » et « distance par rapport aux routes ». La prédiction des changements d'occupation de sol dans la modélisation LCM se base sur le changement historique de la date T1 à la date T2 des cartes d'occupation du sol pour projeter les scénarios futurs. Les changements identifiés sont la transition d'un état d'occupation du sol à

un autre. La procédure d'allocation spatiale des changements d'occupation du sol se fait par affectation multi-objectif (MOLA), qui se couple à l'estimation de la quantité de changement effectuée par des chaînes de Markov. La deuxième étape dans le processus de prédiction est la modélisation du potentiel de transition, où des classes potentielles à se convertir en d'autres classes sont identifiées.

Ces cartes de potentiel de transition sont organisées dans un sous-modèle de transition évalué à l'aide des chaînes de Markov. Les transitions sont modélisées à l'aide d'un réseau neuronal de perception multicouches (MLP). Les transitions potentielles sont retenues lorsque le taux de précision est supérieur à 70%. Une fois calibré, le modèle est utilisé pour prédire les scénarios futurs. Dans sa forme la plus simple, le modèle détermine comment les variables influencent les changements futurs entre les dates T1 et T2, puis calcule les transitions potentielles à venir. La matrice de probabilités de transition affiche la probabilité que chaque formation du sol se transforme en une autre catégorie. Les matrices de probabilités fournissent le potentiel de changement de chaque formation sans répartition spatiale.

Dans le cadre de cette étude, le scénario tendanciel ou scénario Business As Usual est utilisé pour prédire l'évolution de l'occupation du sol. Ce scénario part de l'hypothèse de l'absence de nouvelles politiques économiques ou environnementales. En effet, ce scénario tendanciel ou BAU qui prolonge les tendances actuelles dans le futur est largement utilisé et recommandé par les auteurs pour prédire l'évolution future de l'occupation du sol, en l'absence de nouvelles politiques ou mesures de gestion (Faty, 2021; Braud et al., 2011). C'est un scénario dans lequel les changements futurs des surfaces forestières suivent les tendances observées antérieurement. Il s'appuie sur les données socio-économiques passées et récentes (1972-2021) notamment les activités agricoles, et les efforts de conservation récentes des ressources forestières.

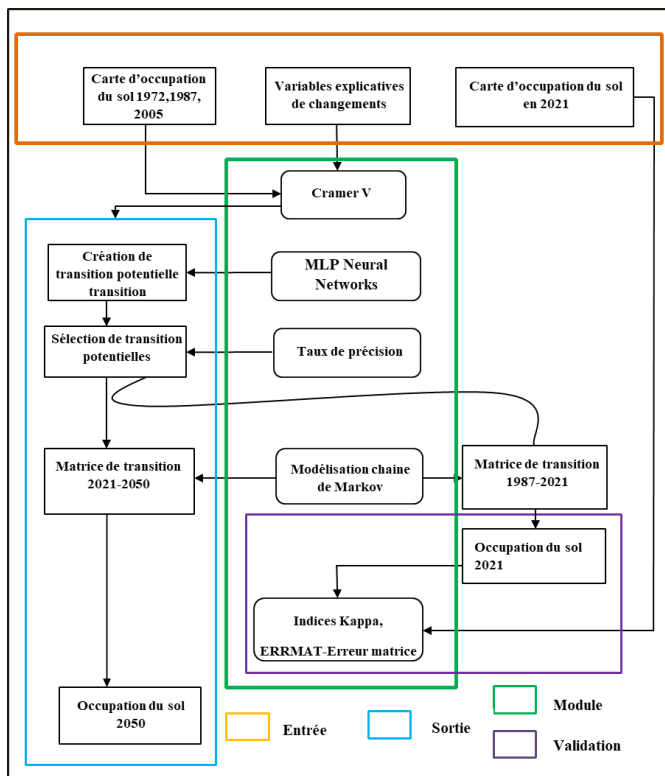


Figure 2 : Modèle de prédiction de l'occupation du sol de 2050

II-2-3. Impact des variations et des changements climatiques sur les écosystèmes forestiers

Cette approche consiste, d'une part, à utiliser les paramètres biophysiques NDVI et LST extraits des séries temporelles mensuelles du produit Landsat pour calculer l'indice de sécheresse, également connu sous le nom d'indice de santé de la végétation (VHI), et d'autre part, à croiser ces résultats avec des données climatiques.

Le modèle VHI est calculé en combinant les informations fournies par le VCI et le TCI. Cet indice renseigne sur la disponibilité de l'humidité et les conditions thermiques de la végétation. De nombreuses études ont montré que l'association du VCI et du TCI permet d'obtenir des résultats efficaces pour détecter la sécheresse afin d'analyser l'état de la végétation (Zhong et al.,2019 ; Bijaber et Rochdi, 2017 ; Rhee et al., 2010).

Il est calculé par l'équation suivante : $VHI = a \times VCI + (1 - a) \times TCI$

Dans cette étude, le même poids a été attribué à la composante humidité VCI et la composante thermique TCI en raison d'un manque d'informations plus précises sur l'influence du VCI et du TCI sur le VHI (Karnieli et al., 2006). La classification de VHI de Kogan, (2002) a été

considérée dans cette étude (Tableau 2) pour caractériser l'état de la sécheresse dans le bassin de la Kara.

Tableau 2 :Classification de l'indice de santé de la végétation selon Kogan, (2002)

Seuils de VHI	Indication
VHI<10	Sécheresse extrême
10<VHI<20	Sécheresse sévère
20-VHI-30	Sécheresse modérée
30<VHI<40	Sécheresse légère
40 <VHI	Pas de sécheresse

- **VCI**

Les anomalies des conditions de la végétation ont été déterminées à partir des valeurs des séries chronologiques des données pour la période allant de 2003-2018. Les Indices de Végétation Normalisé (NDVI) mensuelles et annuelles ont été calculé. L'anomalie de NDVI a été générée sur la base de la déviation par rapport aux valeurs max et min enregistrées sur la période considérée (VCI).

$$VCI(i) = NDVI(i) - NDVI() \div NDVI() - NDVI()$$

Avec NDVI (i) : le NDVI de la période étudiée, NDVI Min, NDVI minimum de la période étudiée et NDVI Max, NDVI maximum de la période étudiée.

- **TCI**

L'intégration du LST dans la surveillance de la sécheresse est utile car elle fournit des informations permettant de mieux caractériser et surveiller la sécheresse (Sruthi et Aslam, 2015). Elle est également un indicateur d'alerte précoce pouvant renseigner sur le début du stress hydrique de la végétation (Bijaber et Kochdi, 2017). Le principe du calcul de l'indice TCI est le même que celui du VCI mais sa formulation a été modifiée pour tenir compte de la réponse de la végétation à la température.

$$TCI(i) = TCI(max) - TCI(min) \div TCI(max) - TCI(min)$$

Avec TCI (i) le TCI de la période étudiée, TCI Min, TCI minimum de la période étudiée et TCI Max TCI maximum de la période étudiée. Un TCI proche de zéro en milieu de saison végétative indique des conditions défavorables au développement des cultures donc un début du stress hydrique de la végétation. Le TCI considère qu'une température élevée (sécheresse) a tendance à causer une détérioration pendant la période de croissance végétative, alors que les températures basses sont plus favorables au développement de la végétation (Gidey et al,2016).

L'analyse des données climatiques, comprenant les précipitations et les températures, a été réalisée afin de comprendre les tendances environnementales et leur impact sur la végétation. Ces données ont servi à établir une tendance globale. Par la suite, un test de corrélation a été effectué avec les données de l'indice de végétation par humidité (VHI).

III - Résultats

III.1. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol

- *Occupation du sol dans le bassin de la Kara*

Le bassin de la Kara est occupé par des forêts (forêt dense et claires, savanes boisées, les agro-forêts, les plantations), la savane (savane arbustive, arborées et herbeuse), les cultures et jachère, les sols nus et bâtis (*Figure 3*). Les résultats de l'évaluation de l'exactitude au niveau des pixels sont présentés dans la matrice de confusion (*Tableau 3*). Les valeurs de la précision globale se situent entre 89 % et 96 %.

Tableau 3 : Matrice de confusion des classifications des images 1972, 1987, 2005 et 2021 du bassin de la Kara

Année	Coefficient de Kappa	Précision globale
1972	0,89	95,62 %
1987	0,92	94,34 %
2005	0,91	93,45 %
2021	0,96	88,19 %

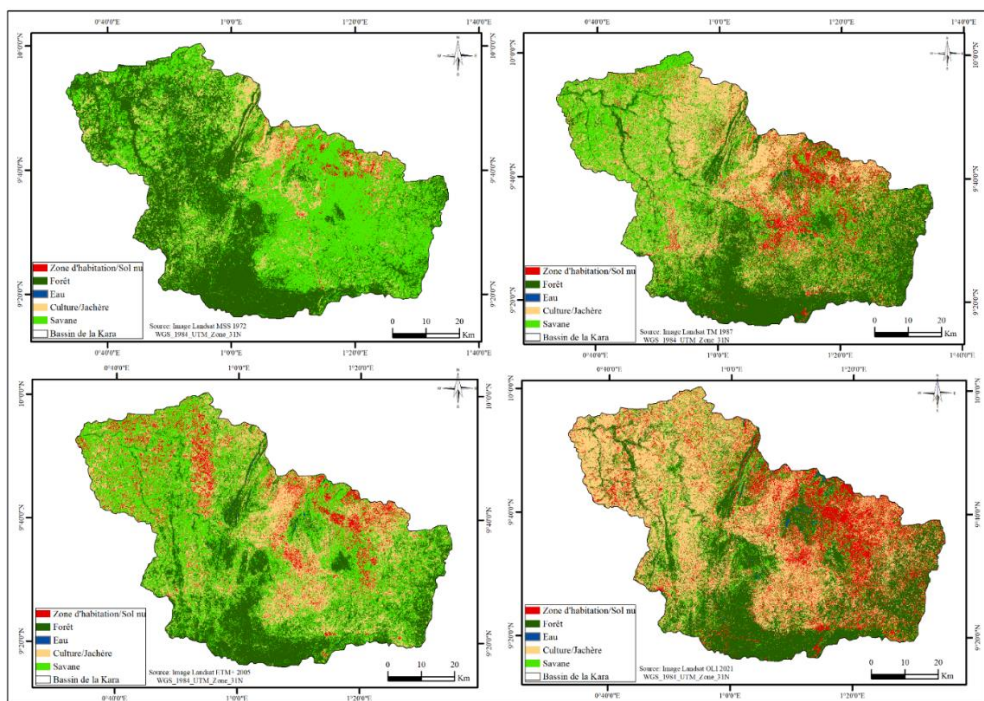


Figure 3 : Occupation du sol du bassin de la Kara en 1972, 1987, 2005 et 2021

L'analyse des images a mis en évidence l'évolution des surfaces consacrées aux différentes catégories d'utilisation des terres au fil du temps. Cette méthode a permis de visualiser et de quantifier les changements dans l'utilisation des terres. Les données, présentées sous forme de graphiques (*Figure 4*), présentent des changements significatifs dans le paysage. Une

diminution significative des forêts entre 1972 et 2005, suivi d'une petite augmentation entre 2005 et 2021 qui traduit une tendance positive vers la conservation. La conversion des savanes en zones agricoles a été rapide entre 2005 et 2021, atteignant un taux de 9,22 % (Figure 5).

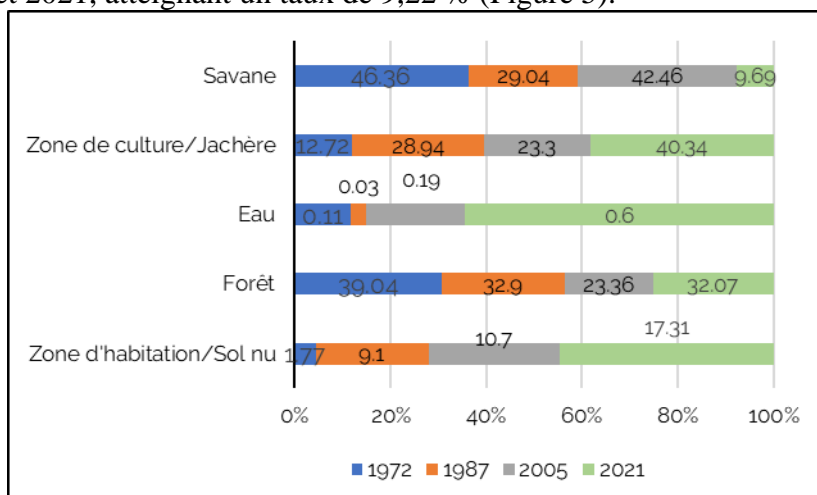


Figure 4 : Superficies des occupations du sol en 1972, 1987, 2005 et 2021 du bassin de la Kara

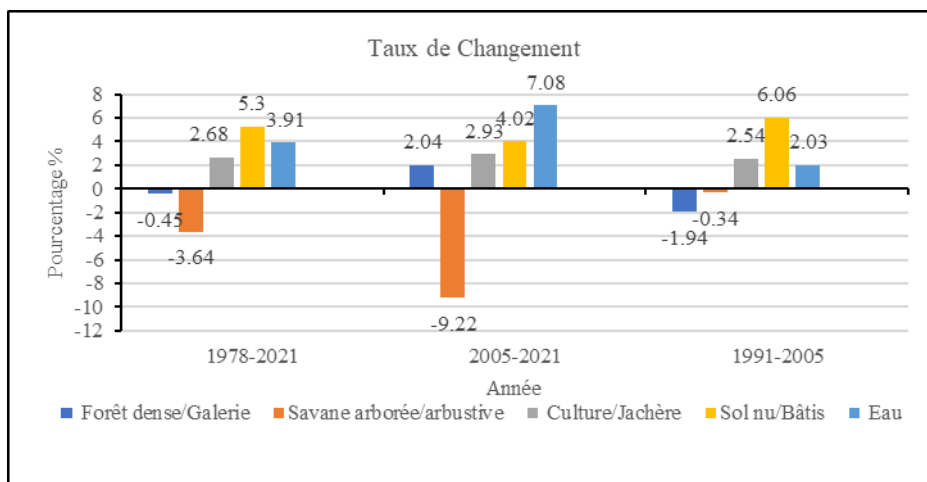


Figure 5 : Taux de changement des différentes classes d'occupation

● **Dynamique forestière dans le bassin de la Kara**

La carte de détection de changement montre des changements significatifs dans le couvert forestier entre 1972 et 2021 (Figure 6). La moitié du couvert forestier (106284 ha) a été converti, contre un gain de 66 153 ha (Tableau 4). Cela signifie qu'environ 51 % de la superficie forestière de 1972 a été convertie à d'autres usages. Ces changements peuvent avoir des implications importantes pour l'environnement et la biodiversité.

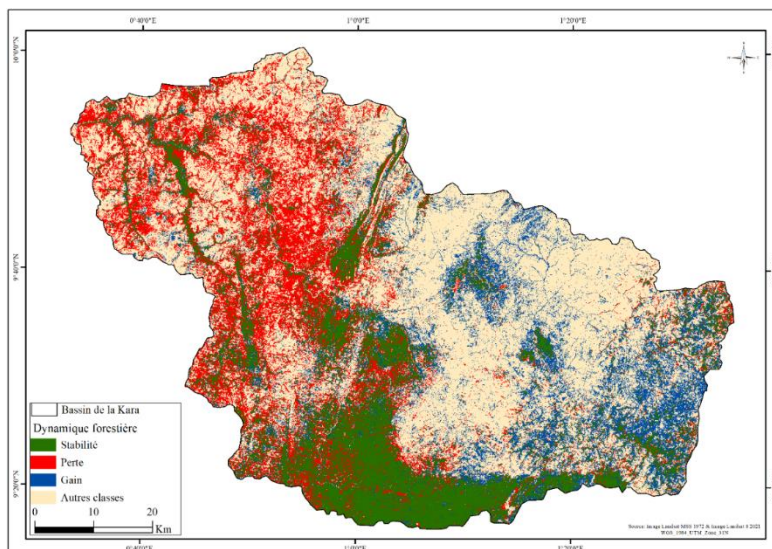


Figure 6 : Dynamique du couvert forestier dans le bassin de la Kara entre 1972 et 2021

Tableau 4 : Superficie des changements de la couverture forestière en 1972 et 2021 dans le bassin de la Kara

Dynamique forestière	Surface (ha)
Stabilité	101320
Perte	106284
Gain	66153
Autres classes	262783

- **Occupation du sol de 2050**

L'évolution de l'occupation du sol dans le bassin de la Kara d'ici 2050 montre des transformations significatives d'après le scénario envisagé (Figure 7). Avec une certitude de 72,12%, le modèle prévoit l'apparition de nouvelles surfaces de cultures et de jachères, ainsi qu'une régénérescence de la végétation forestière. Les forêts vont progresser légèrement de 0.50 % contre une augmentation de 1% des agglomérations et 2,5 % des mosaïques de cultures et jachères (Figure 8). Inversement, les savanes vont régresser de 4 % entre 2021 et 2050.

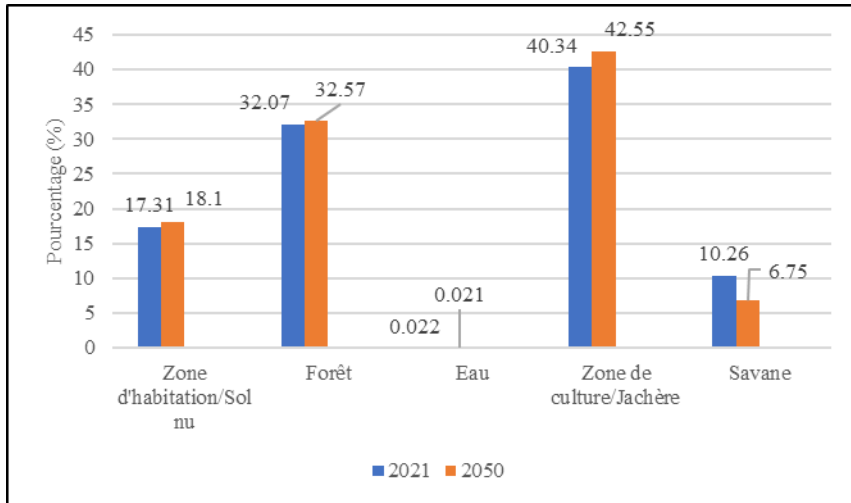


Figure 7 : Superficie d'occupation du sol en 2050

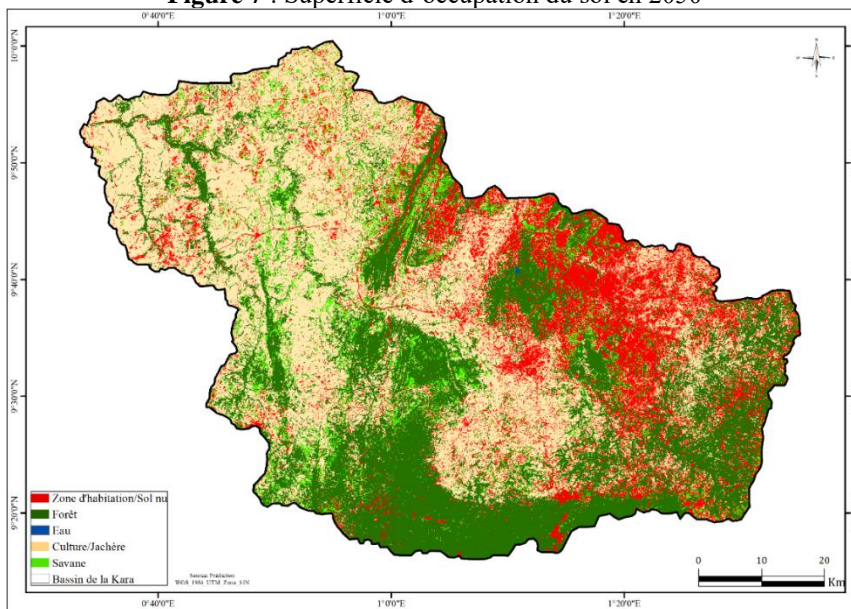


Figure 8 : Occupation du sol du bassin de la Kara en 2050

L'analyse de la matrice de Markov a permis d'obtenir les probabilités de transitions de chaque type d'occupation du sol à se transformer en d'autres classes au cours de la période considérée (2021-2050). Le scénario met en évidence une tendance évolutive des forêts, grâce à une conversion significative des savanes (30%) (Tableau 5). Les mosaïques de cultures/jachères vont aussi augmenter en défaveur des savanes avec une probabilité de 0,21. En ce qui concerne les mosaïques de sols nus-habitations, elles auront une possibilité de se transformer en cultures-jachères (0,2) et en savane avec une probabilité de 0,22. Enfin les zones de savane subiront plus

de conversion et 10% seulement des zones de savane en 2021 resteront inchangées.

Tableau 5 : Matrice de transition de l'occupation du sol entre 2021 et 2050

2021	2050				
	Zone d'habitation/Sol nu	Forêt	Eau	Zone de culture/Jachère	Savane
Zone d'habitation/Sol nu	82.18	0.01	0.31	10.12	7.38
Forêt	10.16	58.73	0.01	22.08	9.02
Eau	1.79	0.35	89.56	1.62	6.68
Zone de culture/Jachère	16.1	6.2	0.35	69.46	7.89
Savane	19.63	29.7	0.73	40.81	9.13

III.2. Évolution spatio-temporelle de l'indice VHI en relation avec les données climatiques

L'analyse de la cartographie interannuelle (Figure 9) montre une forte variabilité interannuelle de l'état de la végétation dans le bassin de la Kara entre 1972 et 2005, et une faible variabilité entre 2005 et 2021. En effet, la comparaison des cartes annuelles de l'indice de santé de la végétation entre 1972 et 2005 fait ressortir une alternance des conditions à la fois humides et/ou sèches aux pas de temps d'une à deux années successives. Sur les quinze années qui composent l'échelle temporelle considérées, trois années (2000, 2002, 2005) ont montré les conditions de la sécheresse graves exprimée par les faibles valeurs de l'indice de santé de la végétation et trois autre de sécheresses sévères à modérées (1972, 1987, 2021). Les conditions normales (humides) sont observées différemment dans les autres années. À l'exception des années 2015 et 2017, qui ont présenté des conditions très humides, des sécheresses légères à modérées ont été observées chaque année, avec une distribution spatiale très variable d'une année végétative à l'autre. L'analyse de l'évolution globale marque une succession irrégulière des conditions à la fois humides et/ou sèches.

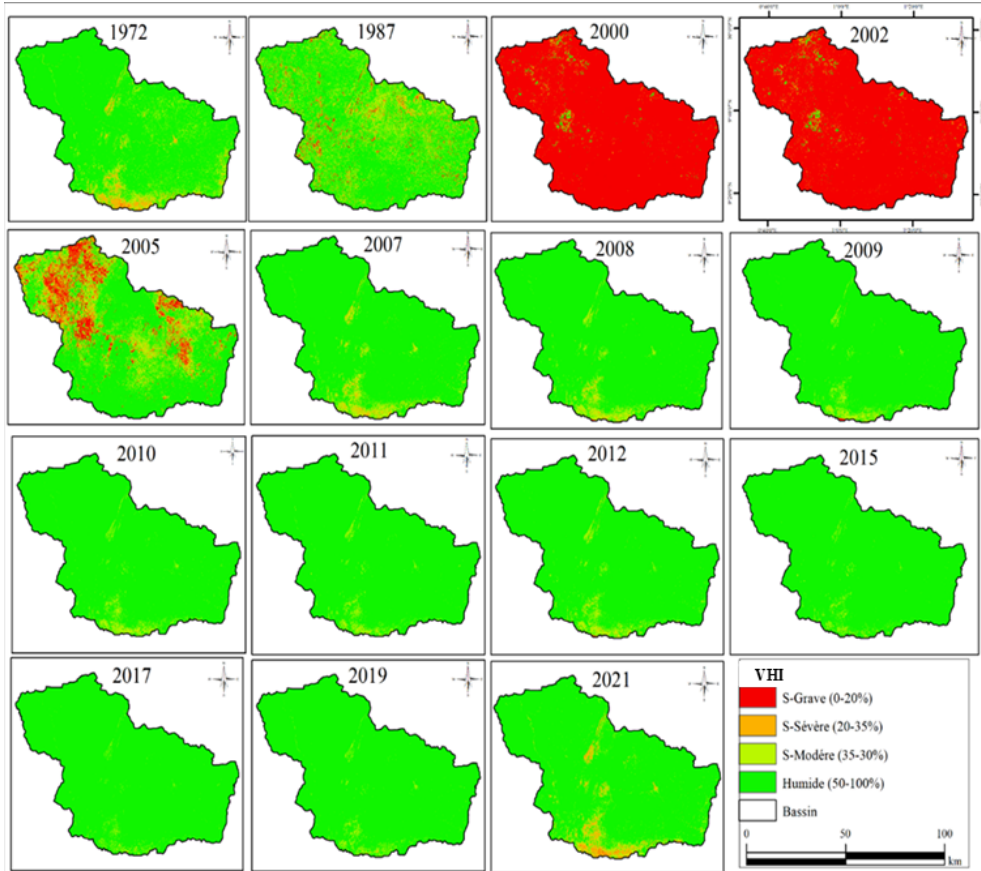


Figure 9 : Evolution de l'indice VHI entre 1972 et 2021 dans le bassin de la Kara

L'analyse des fréquences annuelles des données de précipitation et de température montre une corrélation entre l'indice et ces dernières. Les périodes de faibles précipitations conjuguées aux fortes températures (Figure 10) ont un indice VHI faible ce qui traduit la santé de la végétation. En effet, des périodes prolongées de faible pluviométrie et de températures élevées sont associées à un VHI bas, indiquant un stress ou une dégradation de la végétation.

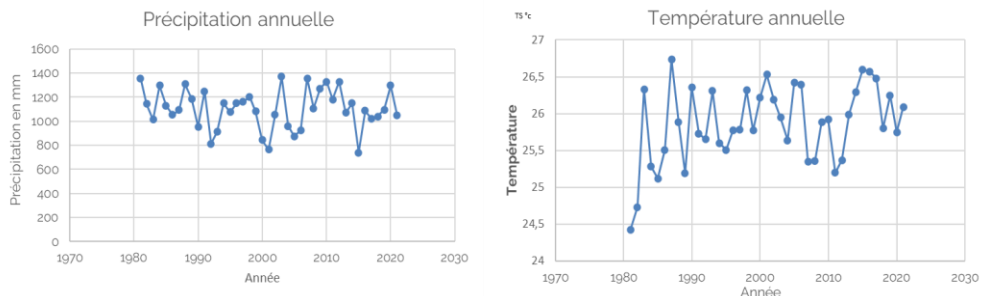


Figure 10 : Évolution des précipitations et des températures entre 1980 et 2021

IV DISCUSSION

Validation des traitements

Les résultats des traitements montrent que les classifications supervisées appliquées aux images satellites Landsat ont une précision globale supérieure à 85 %. Cette classification supervisée est donc appropriée pour étudier l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin. Elle est représentative car elle a impliqué l'utilisation de zones de vérification sur le terrain (Masoud et Koike, 2006). La qualité de la classification est confirmée par des valeurs d'indice de Kappa supérieures à 80 %. Un indice de Kappa supérieur à 0,50 indique que les résultats de l'analyse d'image sont statistiquement recevables (Zhang *et al.*, 2015 ; Pontius, 2000).

L'évolution de l'occupation du sol dans le bassin de la Kara d'ici 2050 montre des transformations significatives d'après le scénario utilisé. Les projections réalisées pour l'année 2021, en appliquant le même modèle d'évolution de l'occupation des sols, indiquent une fiabilité de 72,16% pour cette prédiction. Cela signifie que ce scénario d'évolution reflète de manière assez précise la réalité attendue dans la région de la Kara d'ici 2050 et peut être prise en compte dans les politiques d'aménagement.

L'indice de santé de la végétation (VHI) est un outil précieux pour évaluer l'impact des conditions climatiques sur la végétation. Il est calculé à partir de l'indice de condition de la végétation (VCI), qui lui-même dérive de l'indice normalisé de différence de végétation (NDVI). Ces indices permettent de surveiller les zones susceptibles de subir un stress végétal et de détecter une éventuelle sécheresse. Pour valider l'indice calculé dans ce travail, une corrélation a été calculée entre cet indice et les données de précipitations et de températures. Les résultats obtenus révèlent une corrélation de 0,78, ce qui indique que ces données sont fiables et peuvent être utilisées pour des prédictions. Ces informations sont cruciales pour la gestion des ressources naturelles et l'agriculture, car elles permettront d'anticiper et de répondre aux conditions de sécheresse qui peuvent affecter la productivité des cultures et la santé des écosystèmes.

Reprise modérée des formations forestières, dégradation des savanes au profit de terres agricoles et de jachères

L'analyse de la dynamique spatio-temporelle du couvert forestier est cruciale pour comprendre les changements environnementaux et planifier la gestion durable des ressources naturelles. Cette analyse permet d'identifier les tendances dans l'utilisation des terres, qui ont des implications importantes pour la biodiversité et les écosystèmes locaux.

Dans le bassin de la Kara, l'analyse a révélé des tendances de déforestation, de reforestation et de changements dans l'utilisation des terres. La déforestation observée est la conséquence des activités humaines telles

que l'agriculture et l'expansion urbaine. C'est un résultat qui est en accord avec plusieurs études réalisées dans le cadre de l'analyse diachronique des milieux forestiers au Togo (Kpedenou et *al.*, 2016 ; Atakpama et *al.*, 2018). En générale, des études récentes utilisant la télédétection et les SIG ont aussi mis en évidence une tendance générale à la régression du couvert forestier en Afrique de l'Ouest et Centrale (Ouedraogo, 2021 ; Fayolle et *al.*, 2018 ; Aleman et *al.*, 2016), malgré des efforts de gestion et de reboisement dans certaines régions. Les principaux moteurs identifiés sont l'expansion agricole, l'exploitation du bois de feu et la dégradation des forêts (Faye et *al.*, 2020 ; Potapov et *al.*, 2012).

Cependant, comme le montrent les analyses, il y a une reforestation progressive dans le bassin. En effet, d'autres études en Afrique ont montré qu'il y a aussi des signes d'espoir grâce aux efforts de reforestation (Sendzimir et *al.*, 2011 ; Haglund et *al.*, 2011). Des initiatives des gouvernement comme, la mise en place d'un cadre institutionnel et de coordination pour la gestion des ressources forestières au Togo, la Grande Muraille Verte dans le sahel et AFR100 (African Forest Landscape Restoration) visent à inverser la tendance de la déforestation en restaurant les paysages forestiers et en promouvant la régénération naturelle. Au total, 26 pays africains sur 58 ont fait état d'une expansion des forêts par boisement ou régénération naturelle entre 2010 et 2020 (FAO, 2020). Malgré ces efforts positifs, il reste un défi majeur à relever pour compenser les pertes de forêts à l'échelle du continent et assurer un avenir durable pour les écosystèmes et les populations d'Afrique de l'Ouest.

En termes de changements d'occupation et d'utilisation des terres, la conversion la plus spectaculaire observée dans le bassin de la Kara est celle des savanes en zones de culture. Cette tendance, qui peut avoir des impacts significatifs sur la biodiversité et les écosystèmes locaux, a été mise en évidence par plusieurs études récentes dans la région. Des études menées au Togo (Kpédénou et *al.*, 2016), au Sénégal (Solly et *al.*, 2021) en Côte d'Ivoire (Kpangui et *al.*, 2018) ont également montré des conversions importantes des savanes en terres agricoles. Les auteurs soulignent que ce phénomène, observé à grande échelle, est susceptible d'entraîner des perturbations majeures dans le fonctionnement des écosystèmes naturels. Ces changements d'utilisation des terres sont souvent liés à des facteurs économiques, comme le développement de cultures de rente plus rentables que l'élevage traditionnel. Ils peuvent aussi résulter de mutations sociales, comme la diminution de la pression pastorale, ou de changements climatiques favorisant l'expansion des zones cultivées. Cette conversion massive des savanes en parcelles agricoles soulève donc des inquiétudes quant à la préservation de la biodiversité et à la durabilité des systèmes de production.

Tendance à une légère augmentation des surfaces forestières d'ici 2050 et expansion des zones agricoles

Selon les résultats de modélisation du scénario tendanciel, une conversion significative entre les classes d'occupation des sols est prévue, sans grands changements dans les superficies totales, sauf pour les savanes qui régresseront considérablement. Ce modèle prédit une légère augmentation des surfaces forestières à l'horizon 2050. Ces tendances de conversion entre les types d'occupation, avec une dégradation des savanes et une légère reconstitution des forêts, sont similaires aux résultats d'autres études menées dans des régions comparables. En effet les travaux de Agbanou et *al.* (2018) dans le Nord-Ouest du Bénin, Hounkpati et *al.* (2024) dans la préfecture de Tchamba prédisent eux aussi, une transformation importante des paysages, avec de légères augmentations du couvert forestier.

Corrélation entre l'indice VHI et les variables climatiques

L'indice VHI (Vegetation Health Index) est un indicateur crucial pour évaluer la santé de la végétation et les conditions de sécheresse sur des périodes spatio-temporelles. Son évolution peut fournir des informations précieuses sur les impacts environnementaux et agricoles. L'étude montre que l'indice VHI a connu des variations significatives entre 1972 et 2021 dans la zone d'étude. Ces variations sont corrélées aux facteurs météorologiques, notamment la pluviométrie et la température, affectant ainsi la disponibilité en eau et la santé des cultures. En effet, d'autres études (Derradji, 2023 ; Nasser et *al.*, 2020 ; Hanade, 2019 ; Bijaber et Rochdi, 2017) ont révélé que les périodes de sécheresse sévères sont souvent associées à des valeurs VHI inférieures à 40, signalant un stress hydrique important pour la végétation. Ces différents résultats soulignent l'importance de la surveillance continue de cet indice pour anticiper et gérer les crises de sécheresse et leurs impacts sur l'agriculture et l'écosystème.

Conclusion

Dans cette étude, les outils de télédétection, tels que les images satellitaires, ont été intégrés aux systèmes d'information géographique et aux techniques d'analyse écologique. L'étude des changements observés dans le bassin de la Kara entre 1972 et 2021, a permis de mettre en lumière l'évolution significative des principaux types d'occupation du sol. Il est constaté une diminution marquée des surfaces de savane et de forêt, au profit des terres cultivées et des jachères. Toutefois, . Cependant, un processus de reconstitution des forêts a été initié, et les projections pour 2050 confirment cette tendance. En outre, la corrélation entre l'indice VHI et les paramètres météorologiques souligne l'importance d'une surveillance continue pour anticiper et gérer les crises de sécheresse ainsi que leurs répercussions sur

l'agriculture et l'écosystème. La télédétection s'affirme ainsi comme un outil précieux pour la génération d'informations spatio-temporelles et comme un support à la décision pour les besoins d'aménagement du territoire.

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. Agbanou, T., Paegelow, M., Toko Imorou, I. et Tente, B. (2018). Modélisation des changements d'occupation des terres en région soudanaise au nord-ouest du Bénin. *Revue scientifique européenne* , 14(12), 248-266.
2. Aleman, J., Boulanger, P., et Gollner, M. (2016). Changements d'affectation des terres en Afrique de l'Ouest : une analyse des facteurs et des conséquences. *Global Environmental Change* , 39, 1-12.
3. Atakpama, W., Asseki, E., Amana, EK, Koudegnan, C., Batawila, K. et Akpagana, K. (2018). Importance socio-économique de la forêt communautaire d'Edouwossi-copé dans la préfecture d'Amou au Togo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 6(1), 9.
4. Bijaber, N. et Rochdi, A. (2017). Télédétection spatiale pour l'évaluation du risque de sécheresse au Maroc. *Revue Internationale de Géomatique* , 27(2), 203-222.
5. Braud, I., Arnaud, C., Ribstein, P., et Fine, J. (2011). Liens entre climatologie, occupation du sol et inondations. *Climatologie* , 9(2), 83-107.
6. Breiman, L. (2001). Modélisation statistique : les deux cultures. *Statistical Science* , 16(3), 199-215.
7. Breiman, L., Friedman, JH, Olshen, RA, et Stone, CJ (1984). *Arbres de classification et de régression* . Chapman et Hall/CRC, 1-368
8. Davranche, A., et Taïbi, AN (2015). Les changements d'occupation et d'usage du sol : des processus multidimensionnels complexes qui concernent la biodiversité. Dans R. Mathevet et L. Godet (Éds.), *Pour une géographie de la conservation* (pp. 121-142).
9. Eastman, JR (2009). *IDRISI Taiga : Guide du SIG et du traitement d'images* . Clark Labs, Université Clark.

10. Ellis, EC, Beusen, AHW et Klein Goldewijk, K. (2020). Biomes anthropiques : de 10 000 av. J.-C. à 2015 apr. J.-C. *Land* , 9(129), 1-19.
11. Erb, K.-H., Lauk, C., Kastner, T., et Meyer, A. (2017). Impact inattendu de la gestion forestière et du pâturage sur la biomasse végétale mondiale. *Nature* , 553, 73–76.
12. FAO. (2020). La situation des forêts du monde 2020. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. <https://doi.org/10.4060/ca9825fr/> Consulté en février 2024.
13. Faty, A. (2021). Détermination de scénario d'occupation du sol dans le contexte du changement climatique dans le bassin versant du fleuve Sénégal. [PDF]. Disponible sur ResearchGate.
14. Faye, CT, Thiaw, AD et Faye, G. (2020). Dynamique du couvert végétal dans la Forêt Communautaire de Sambandé au Sénégal. *Physio-Géo* , 19(-1), 29-48.
15. Fayolle, A., Ngomanda, A., Mbasi, M., Barbier, N., Bocko, Y., Couteron, P., et Medjibe, VP (2018). Impact du changement climatique sur les écosystèmes forestiers en Afrique centrale : une revue. *Forest Ecology and Management* , 429, 1-12.
16. Gidey, E., Dikinya, O., Sebege, R., Segosebe, E., et Zenebe, A. (2018). Analyse du début, de la fin, de la durée, de la fréquence, de la gravité et de l'étendue spatiale des sécheresses agricoles à long terme à l'aide de l'indice de santé de la végétation (VHI). Raya et ses environs, nord de l'Éthiopie.
17. Gislason, PO, Benediktsson, JA et Sveinsson, JR (2006). Forêts aléatoires pour la classification de la couverture terrestre. *Pattern Recognition Letters* , 27(4), 294-300.
18. Grinand, C., Gollner, M. et Rabeharisoa, L. (2013). Estimation de la déforestation des forêts humides à Madagascar à l'aide de données de télédétection. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection* , 14(211-212), 27-34.
19. Haglund, T., et al. (2011). Restauration des paysages dégradés en Afrique : revue des approches et des pratiques. *Land Degradation et Development* , 22(3), 245-257.
20. Hanade-Houmma, I. (2019). Télédétection et évaluation des risques de sécheresse dans les agrosystèmes. *Revue Internationale de Géomatique* , 29(3), 345-367.
21. Institut National de la Statistique et des Études Économiques et Démographiques (INSEED). (2023). Présentation des principaux résultats définitifs du RGPH-5. Lomé, Togo : INSEED.
22. Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R., Anderson, M., Imhoff, M., Gutman, G., Panov, N., et Goldbe A. (2010). Utilisation du NDVI et de la

- température de la surface terrestre pour l'évaluation de la sécheresse : avantages et limites. *Journal of Climate* Volume 23. American Meteorological Society.
23. Kogan, N. (2002). Carrières dans les arts du spectacle : une perspective psychologique. *Creativity Research Journal* , 14(1), 1-16.
 24. Kossi Hounkpati, K., Kossi Adjonou, H., Moluh Njoya, H., Dogbeda Hloror, AK, Kipkulei HK, Sieber S., Löhr K., et Kokou K.(2024). Renforcer la restauration des paysages forestiers grâce à la compréhension. *Journal de la Société indienne de télédétection* .
 25. Kouassi J., Kahia J., Diby L., Kouassi JL, Bene K. et Kouame C. (2018). Variabilité climatique et feux de brousse dans le bassin versant du N'Zi en Côte d'Ivoire centrale. *Journal africain de recherche agricole* , 13(41), 2249-2255.
 26. Kpangui KB, Adou Yao CY, Kouassi AF et Sangne YC (2018). Incidence de l'ombrage sur les caractères phénotypiques du cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) dans le V Baoulé (Centre de la Côte d'Ivoire). *Cahiers Agricultures* , 27(3), 5003.
 27. Kpedenou KD, Boukpepsi T., Tchamie TTK(2016). Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (sud-est Togo) à l'aide de l'imagerie satellite Landsat. *Rev.Sc.Env.Univ.* , Lomé (Togo), n°13.20.
 28. Masoud AA et Koike K. (2006). Salinisation des terres arides détectée par télédétection des changements de couverture terrestre : une étude de cas dans la région de Siwa, dans le nord-ouest de l'Égypte. *Journal of Arid Environments* ,1 ,151-167.21.
 29. Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières (MERF).(2018). Analyse de l'utilisation des terres au Togo.Lomé,Togo, 44 p.
 30. Nagendra, H., Pareeth, S. et Ghate, R. (2006). Les habitants des parcs : villages forestiers, changement de couverture terrestre et fragmentation du paysage dans la réserve de tigres de Tadoba Andhari, en Inde. *Géographie appliquée* , 96, 96-112.
 31. Nasser, T., Faour, G. et Touchart, L. (2020). Suivi de la sécheresse dans un territoire agricole du Liban : la plaine de la Bekaa. *Méditerranée* , 131.
 32. Ouédraogo, R. (2021). *Analyse des déterminants socioéconomiques et psychosociaux de la décision d'adoption d'innovations par les agriculteurs : cas de l'irrigation de complément au Burkina Faso*. Montpellier : Montpellier SupAgro, 243 p. Thèse de doctorat -Sciences économiques.

33. Pontius, JRG (2000). Comparaison de quantification de cartes catégorielles. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* , 66(8), 1011–1016.
34. Potapov, P., Turubanova, S., et Hansen, MC (2012). Cartographie et surveillance de la déforestation et de la dégradation des forêts à Sumatra (Indonésie) à l'aide de séries chronologiques Landsat. *Actes du Symposium international IEEE 2012 sur les géosciences et la télédétection* , 6286-6289.
35. Rhee, SY, Park, T., et Lee, DH (2010). Facteurs d'innovation et de performance pour les PME innovantes en Corée du Sud : médiation de l'orientation vers l'apprentissage. *Journal of Small Business Management* , 48(2), 270-288.
36. Roudier, P. (2012). Climat et agriculture en Afrique de l'Ouest : quantification de l'impact du changement climatique sur les rendements et évaluation de l'utilité des prévisions saisonnières (Thèse de doctorat, École des Hautes Études en Sciences Sociales). HAL.
37. Ross, AJ (1993). Citation, classification originale et modifications taxonomiques. *Le Taxonomicon* .
38. Rouse, JW, Haas, RH, Schell, JA et Deering, DW (1974). Surveillance des systèmes de végétation dans les Grandes Plaines avec l'ERTS. *Publication spéciale de la NASA* , 351, 309-317.
39. Sendzimir, J., et al. (2011). Résilience face au changement : le rôle des systèmes socio-écologiques dans la gestion des ressources naturelles. *Ecological Economics* , 70(9), 1767-1778.
40. Solly, B., Diéye, EHB, Sy, O., Jarju AM et Sané T. (2021). Détection des zones de dégradation et de régénération de la couverture végétale dans le sud du Sénégal à travers l'analyse des tendances de séries temporelles MODIS NDVI et des changements d'occupation des sols à partir d'images Landsat. *Revue Française De Photogrammétrie Et De Télédétection* , 223, 1-15.
41. Sruthi, S., et Aslam, MM (2015). Analyse de la sécheresse agricole à l'aide des données NDVI et de température de surface terrestre : une étude de cas du district de Raichur. *Aquatic Procedia* , 4, 1258-1264.
42. Zhang, Y., Xiao, X., Wu, X., Zhou, S., Zhang, G., Qin, Y., et Dong, J.(2015). Un ensemble de données mondiales à résolution modérée sur la production primaire brute de végétation pour 2000-2016. *Scientific Data*, 2(1), 1-33.
43. Zhong, L., Ma, Y., Xue, Y., et Piao, S. (2019). Tendances et impacts du changement climatique sur le verdissement de la végétation sur le plateau tibétain. *Environmental Pollution* , 247, 293-301.

Deviance Psychiatrique et Déterminants Psychosociaux : Au sujet de huit cas de l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville

Michel K. Gbagbo, M.C.-CAMES

Psychopathologie sociale, Laboratoire d'Etude et de Prévention de la Délinquance et des Violences (LEPDV). Faculté de Criminologie, Université FHB, Abidjan, Côte d'Ivoire

Kolotcholoma Issouf Soro

Département de Sociologie, Université Peleforo Gon Coulibaly, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p162](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p162)

Submitted: 30 October 2024

Accepted: 28 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Gbagbo M.K.G. & Soro K.I. (2024). *Deviance Psychiatrique et Déterminants Psychosociaux : Au sujet de huit cas de l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 162. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p162>

Résumé

En Côte d'Ivoire, la dangerosité psychiatrique, définie comme la probabilité qu'un individu souffrant d'un trouble mental adopte un comportement dangereux, soulève des enjeux importants liés à la stigmatisation et à l'exclusion sociale. Malgré les connaissances existantes, peu d'études ont exploré les déterminants psychosociaux de cette dangerosité dans un contexte ivoirien. L'objectif de cet article est d'analyser l'impact de facteurs tels que la stigmatisation sociale, l'isolement familial et l'absence de soutien sur l'émergence de comportements déviants chez des patients atteints de troubles mentaux. La méthodologie repose sur une étude qualitative menée auprès de huit patients de l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville, sélectionnés pour leurs antécédents de comportements déviants. Les données ont été collectées à travers des entretiens semi-structurés et une observation clinique, puis analysées selon une approche thématique à l'aide du logiciel NVivo. Les résultats montrent que la stigmatisation sociale et l'isolement familial exacerbent les comportements déviants, perçus par les patients comme des mécanismes de survie face à une souffrance psychologique persistante. Ces comportements incluent des actes de violence physique, verbale, ou d'automutilation, ainsi que des fugues et des vols, souvent liés à des

frustrations et à un manque de soutien. Ces observations soulignent la nécessité d'adopter une approche globale dans la prise en charge des troubles mentaux, en intégrant des interventions psychosociales visant à réduire la marginalisation et à renforcer les réseaux de soutien familial et communautaire.

Mots-clés: Dangerosité, stigmatisation, isolement, troubles mentaux, soutien

Psychiatric Deviance and Psychosocial Determinants : A Study of Eight Cases from Bingerville Psychiatric Hospital

Michel K. Gbagbo, M.C.-CAMES

Psychopathologie sociale, Laboratoire d'Etude et de Prévention de la Délinquance et des Violences (LEPDV). Faculté de Criminologie, Université FHB, Abidjan, Côte d'Ivoire

Kolotcholoma Issouf Soro

Département de Sociologie, Université Peleforo Gon Coulibaly, Côte d'Ivoire

Abstract

In Côte d'Ivoire, psychiatric dangerousness, defined as the likelihood that an individual suffering from a mental disorder will engage in dangerous behavior, raises significant issues related to stigma and social exclusion. Despite existing knowledge, few studies have explored the psychosocial determinants of this dangerousness in an Ivorian context. The aim of this article is to analyze the impact of factors such as social stigma, family isolation, and lack of support on the emergence of deviant behaviors among patients with mental disorders. The methodology is based on a qualitative study conducted with eight patients from the Bingerville Psychiatric Hospital, selected for their history of deviant behaviors. Data were collected through semi-structured interviews and clinical observations, and then analyzed thematically using NVivo software. The results show that social stigma and family isolation exacerbate deviant behaviors, which are perceived by patients as survival mechanisms in the face of persistent psychological distress. These behaviors include acts of physical and verbal violence, self-harm, as well as running away and theft, often linked to frustrations and lack of support. These observations highlight the need for a comprehensive approach to mental health care, integrating psychosocial interventions aimed at reducing marginalization and strengthening family and community support networks.

Keywords: Dangerousness, stigma, isolation, mental disorders, support

Introduction

La dangerosité criminologique englobe la dangerosité psychiatrique. Elle se réfère à la probabilité pour un individu (malade ou non) de commettre un acte délinquant, de nature infractionnelle, criminelle, délictuelle et contraventionnelle. Elle est liée à des facteurs comme les antécédents criminels, les comportements violents, les facteurs psychologiques (comme un trouble mental ou la non-maitrise de soi) et les influences sociales ou environnementales. Les criminologues experts ainsi que les magistrats utilisent ces données pour évaluer la dangerosité du sujet, ses risques de récidive, et proposent ou mettent en place un programme de traitement adapté au cas spécifique du délinquant afin de prévenir la récidive (Coutanceau, 2012).

Quant à la dangerosité psychiatrique, elle désigne spécifiquement la probabilité qu'un individu pose un acte dangereux pour lui-même, autrui et les biens, sous l'impulsion d'un trouble mental, qu'il soit déjà ou non passé à l'acte. Elle est évaluée par des professionnels de la santé mentale, comme les experts psychiatres près des tribunaux. Cette dangerosité se base sur la nature des troubles mentaux, les antécédents psychiatriques du sujet et de sa famille, ses symptômes actuels, ses interrelations avec l'entourage, et les risques encourus pour lui et les autres. C'est cette évaluation qui permet de proposer, au magistrat ou à la famille, le traitement thérapeutique adapté pour réduire le risque de violence pathologique (Zagury, 1998). Par exemple, un sujet incarcéré pour agression sexuelle peut bénéficier d'une liberté provisoire tout en étant soumis à une obligation de soins.

En Côte d'Ivoire, la dangerosité psychiatrique représente un enjeu de santé publique peu étudié, bien qu'elle soit omniprésente dans les discours liés à la sécurité et à la santé mentale. Cette thématique est souvent perçue sous l'angle de la menace, au détriment de la compréhension des facteurs sociaux, psychologiques et économiques qui façonnent ces comportements. De plus, la stigmatisation sociale qui entoure les troubles mentaux et la marginalisation des personnes concernées amplifient les obstacles à leur prise en charge efficace.

Il est donc crucial d'explorer ces déterminants psychosociaux afin de combler les lacunes existantes dans la littérature scientifique locale et de proposer des solutions adaptées au contexte ivoirien. Cette étude vise non seulement à identifier les mécanismes sous-jacents à la déviance psychiatrique, mais aussi à fournir des recommandations pour améliorer les politiques de santé mentale et les pratiques de prise en charge. En adoptant une approche bio-psycho-sociale, elle ambitionne de replacer la souffrance individuelle et sociale au cœur des réflexions sur la dangerosité psychiatrique, en dépassant les approches centrées exclusivement sur la répression ou la sécurité.

L'État a une obligation de soins pour les individus atteints de troubles mentaux. Il doit protéger ces personnes, la société et les biens, ce qui peut nécessiter des soins sans consentement. En Côte d'Ivoire, on parle d'hospitalisation d'office sur décision d'un représentant de l'État.

Le dispositif légal ivoirien, encadré par une approche sécuritaire, repose sur les notions d'irresponsabilité pénale et d'hospitalisation d'office. Ces mécanismes visent à protéger la société tout en assurant une prise en charge adaptée des individus souffrant de troubles mentaux, conformément aux prescriptions du Code pénal. Par exemple, l'article 102 du Code pénal stipule qu'il n'y a pas de responsabilité pénale lorsque l'auteur des faits est atteint d'une altération de ses facultés mentales ou d'un retard anormal de son développement, rendant sa volonté abolie ou l'empêchant de comprendre le caractère illicite de son acte. Dans ces cas, l'individu peut être hospitalisé d'office. L'article 78 du Code pénal permet à l'État de détenir une personne présentant un danger pour elle-même ou pour autrui en raison de troubles mentaux, même sans son consentement (LOIDICI.COM, *ibid.*).

Suite à cette hospitalisation, il est crucial de mettre en place un accompagnement médico-social complet pour faciliter la réintégration et la réinsertion de la personne dans la société (Gbagbo et Bazaré, 2018). Cependant, l'État se doit également de respecter les libertés fondamentales des citoyens, conformément à la Constitution, ce qui peut engendrer des tensions entre l'obligation de protection et la préservation de la liberté.

Cette tension constitue l'épicentre du débat sur l'éthique qu'induit la notion de dangerosité psychiatrique. Ce débat se situe au croisement de la psychiatrie et de la criminologie. Et l'Etat ne sait pas toujours quelles mesures adéquates prendre à l'égard de sujets souvent stigmatisés et plus vulnérables que dangereux. (Coutanceau, *Ibid.*).

Le croisement entre la psychologie et la criminologie s'avère fondamental pour comprendre et gérer cette dangerosité. La psychologie apporte une analyse fine des troubles mentaux et des mécanismes psychiques qui influencent les comportements déviants, tandis que la criminologie examine le passage à l'acte dans son contexte social, juridique et institutionnel. Cette approche interdisciplinaire permet de mieux cerner les liens entre troubles psychiques, comportements dangereux et cadre légal, tout en proposant des stratégies adaptées pour prévenir la récidive et favoriser la réinsertion sociale des individus concernés. Ainsi, le présent travail s'inscrit dans une perspective où ces deux disciplines dialoguent pour proposer une lecture holistique et opérationnelle de la dangerosité psychiatrique.

Les troubles mentaux associés à la dangerosité incluent en premier lieu les psychoses (schizophrénie, délire paranoïaque, troubles schizo-paranoïde, bouffées délirantes aiguës, autres troubles socio-affectifs et troubles de l'humeur). Celles-ci induisent de la déréalisation en cas de décompensation,

ce qui très souvent implique une abolition de la conscience au moment du passage à l'acte. Et en second lieu des troubles de la personnalité à potentiel dangereux, tels que le trouble de la personnalité anti-sociale, celui de la personnalité narcissique, la psychopathie, ou une paraphilie. Dans ces cas, l'individu est pleinement conscient de ses actes au moment de leur commission (Rossinelli, 2009).

Pour gérer l'ensemble de ce qui constitue la dangerosité psychiatrique en Côte d'Ivoire, il est nécessaire de fournir les soins thérapeutiques appropriés et spécifiques. À l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville notamment, les soins spécifiques à la dangerosité psychiatrique sont caractérisés par une approche globale et multidisciplinaire. Les patients sont évalués par des équipes de professionnels de la santé mentale, comprenant des psychiatres, des psychologues et des infirmiers spécialisés. Les soins se concentrent sur la gestion des symptômes psychiatriques, la prévention des comportements violents et l'ergothérapie conduite par des assistants sociaux. Les interventions incluent des thérapies individuelles et de groupe, des médicaments psychotropes et des programmes de réhabilitation sociale. L'objectif est de fournir un soutien psychosocial pour aider les patients à mieux gérer leur condition, retrouver leur autonomie et préparer leur sortie et leur rétablissement.

La contention est utilisée comme une mesure de dernier recours pour prévenir les comportements violents ou dangereux chez les patients. Elle est mise en place de manière contrôlée et supervisée, conformément aux protocoles médicaux et aux directives éthiques. Les mesures de contention, telles que l'utilisation de ceintures de contention ou de chambres de protection (dites d'isolation), sont toujours accompagnées d'une surveillance médicale rapprochée pour minimiser le risque de traumatismes physiques ou psychologiques. Le sujet est également isolé afin que les autres patients et leurs accompagnants ne soient pas traumatisés par la vue de son agitation ou de sa contention. Les professionnels de la santé mentale s'efforcent de réduire la nécessité de cette contention par des interventions thérapeutiques, médicamenteuses et psychosociales. Celles-ci visent à stabiliser l'état du patient – surtout à son arrivée – avant de débiter les psychothérapies proprement dites (Gbagbo, 2009).

La distinction entre la déviance psychiatrique et la criminalité psychiatrique est à son tour assez subtile mais non moins importante. La déviance psychiatrique se réfère à des comportements se présentant comme inappropriés ou dangereux, sous l'effet d'un trouble psychique, mais qui ne comportent pas obligatoirement de composante délinquente. C'est le cas par exemple du schizophrène qui soliloque, gesticule ou parle à haute voix et qui peut être perçu comme étrange et inquiétant. Ce sujet est tout juste déviant, puisqu'il ne suit pas les normes sociales, mais il ne commet aucune infraction.

Son comportement est le reflet de son trouble mental, ce qui nécessite une prise en charge thérapeutique (Di Vittorio, 2014).

En revanche, si l'on parle de criminalité psychiatrique, l'on se réfère nécessairement à des actes, criminels, commis par des individus souffrant de troubles mentaux. Le pédophile, le vampire clinique, la personne souffrant d'un trouble de la personnalité anti-sociale (TPA) qui passent à l'acte violent, doivent être jugés dans un cadre légal, mais la dimension psychiatrique de leur personnalité doit obligatoirement aussi être prise en compte. Cette prise en compte a un but essentiel pour le magistrat : l'aider à déterminer le niveau de responsabilité de l'infacteur, et les mesures de traitement qui seront le plus appropriées au cas individualisé (Zagury, *ibid.*).

En somme, la déviance psychiatrique s'avère plus large que la criminalité psychiatrique dont nous parlerons ici. Polymorphe, une telle dangerosité est éruptive et s'exprime contre tout objet (qu'il s'agisse de biens ou de personnes) et partout, y compris au sein même de l'hôpital. Elle traduit aussi l'existence de comportements autodestructeurs, comme les tentatives de suicide ou les automutilations. Ses déterminants sont maintenant connus : type de trouble mental, chronicité de la maladie, qualité de la prise en charge, arrêt du traitement, antécédents psychiatriques, consommations de substances psychoactives, licites ou non. Ce sont des facteurs dont la maîtrise permet d'améliorer la prévention et la gestion des situations à risque (Besnier & al. 2009 ; Coldéfy, 2007).

Il s'agit alors d'adapter la réponse judiciaire et médico-social, tout en respectant les droits fondamentaux des patients. Ainsi, en France, notre modèle de référence, les Unités pour Malades Difficiles (UMD) et les Services Médico-Psychologiques Régionaux rattachés aux prisons (les SMPR), lieux spécifiques où sont pris en charge des patients faisant l'objet d'une hospitalisation sous contrainte en raison de leur dangerosité, sont régulièrement supervisés par le Préfet. (Azoulay et al. 2020 ; Gbagbo et Bazaré, 2018).

Cependant, une telle dangerosité se manifeste aussi en dehors des structures de soins, un peu comme dans le cas de l'individu passant à l'acte sous l'effet d'une consommation alcoolique irrépressible et chronique. Cela signifie que la pathologie psychique possède une inexpugnable dimension sociale et que c'est au sein de la famille, lieu où se noue et se dénoue le nœud pathologique, que se créent les conditions d'un suivi efficient.

Dans un contexte de désinstitutionnalisation, elle, qui autrefois était perçue comme le problème, devient aujourd'hui la solution (Carpentier, 2001). Et à la question de savoir pourquoi cette chronicisation parfois, ces interruptions thérapeutiques, ces soudains éloignements, ce renfermement sur soi ou ces errances urbaines accompagnés de violence (par bris, vocalisations intempestives, dénudation), il est de plus en plus fréquent d'incriminer la niche

familiale, et plus largement encore, les facteurs psychosociaux de l'inobservation thérapeutique (Dequelson et al. 2015). Le rôle de la stigmatisation et de l'auto-stigmatisation dans la chute par rétroaction prend toute son importance ici, si l'on souhaite améliorer la conscience des troubles chez la personne et une diminution du risque de récidive déviante.

La recherche actuelle souligne que l'isolement social et la marginalisation des individus atteints de troubles mentaux graves, souvent perçus comme imprévisibles et dangereux, favorisent un sentiment d'aliénation et de désespoir. Ces facteurs augmentent leur vulnérabilité au passage à l'acte (Gbagbo, 2024 ; Valéry, 2021). Les patients issus d'environnements familiaux dysfonctionnels, marqués par la violence, le rejet et l'absence de soutien émotionnel, sont particulièrement exposés à ce risque. En réponse à une souffrance psychologique persistante et non apaisée, ils développent plus fréquemment que d'autres des comportements déviants (Coulibaly & al., 2021 ; Gbagbo, 2015).

Elle indique aussi comment la précarité économique, associée à un accès limité aux demandes de soins en santé mentale, contribuerait à exacerber la chronicité des symptômes non traités et à favoriser une montée en puissance de la dangerosité (Degraft-Johnson & Yorke 2021). En Afrique noire, les conditions socio-économiques précaires, avec un accès limité aux services de santé mentale, accentuent ce phénomène, en particulier dans les zones rurales où les infrastructures psychiatriques sont quasi inexistantes (Kasler, 2011).

Dans ce contexte, cette étude vise à analyser les déterminants psychosociaux de la dangerosité psychiatrique, en mettant l'accent sur le rôle de la stigmatisation sociale, de l'isolement familial et de l'absence de soutien dans l'émergence de comportements déviants chez les patients atteints de troubles mentaux. À travers une approche qualitative, elle cherche à mieux comprendre ces interactions pour proposer des pistes d'intervention adaptées au contexte ivoirien

En outre, il existe des facteurs structurels dits institutionnels, antérieurs aux facteurs déclenchants du passage à l'acte, qui, eux aussi, impactent la dangerosité psychiatrique. Il s'agit de l'insuffisance des ressources humaines et matérielles en santé mentale et de ce qui se nomme la stigmatisation institutionnelle. Lorsque des patients se sentent marginalisés et maltraités au sein même des structures sanitaires, qu'ils ne bénéficient pas de réseau associatif de soutien, ils ont tendance, en Afrique noire notamment, à limiter leur demandes de soin en santé mentale. Or, une postcure non suivie et un arrêt du traitement peuvent conduire à une chronicité des affections mentales, ainsi qu'au développement de comportements violents (Bergot, 2020 ; Mercuel, 2012 ; Okasha, 2002).

Parmi ces facteurs structurels on trouve également la conception traditionnelle de la maladie mentale. La stigmatisation sociale en lien aux

troubles mentaux s'avère particulièrement forte dans plusieurs sociétés africaines, où le trouble psychique est vécue – encore aujourd'hui - comme une atteinte cardinale du lien ontologique de l'être au Cosmos anthropologique (Kpassagou, et Bansard, 2022).

Fréquemment expliqué par une exo-causalité d'essence spirituelle reposant sur une représentation moniste du monde où les sphères physiques et métaphysiques sont perçues comme expressions d'une même réalité fondamentale, le trouble mental est réputé insensible à la médecine « blanche », d'origine occidentale. Et davantage accessible par des psychothérapies réunissant des membres de la famille, y compris des Ancêtres et des génies (Gureje et al., 2005 ; Memel-Fotê et al., 1998)), et l'absorption de certains breuvages.

Au fond, dans cette vision unificatrice, le trouble à soigner exige une appréhension holistique du sujet. Le soin se porte alors et sur ses axes horizontaux (ses relations aux autres), et sur son phylum génétique vertical (son lien au Cosmos) et enfin sur son être physique ; le but étant de rétablir l'équilibre et l'harmonie entre l'homme et son univers pluriel.

Bien que des connaissances existent, les études précédentes nous semblent quelque peu abstraites. En particulier, les cas concrets de l'influence des déterminants psychosociaux sur l'émergence ou la consolidation de la dangerosité psychiatrique en Côte d'Ivoire et à Abidjan n'ont pas réellement été abordés. Cette étude aurait donc un double intérêt : combler cette lacune scientifique et essayer d'identifier les déterminants psychosociaux de la déviance mentale afin de mieux contrer la stigmatisation des PS2M (personnes souffrant de maladie mentale) et de proposer des formes de prévention plus efficace, basées sur autre chose que la simple répression.

Sur le plan théorique, cette étude s'appuiera sur le modèle bio-psycho-social d'Engel (1978 ; 1980). Ce modèle a été choisi car il offre une approche holistique, permettant d'aller au-delà des limites de l'approche biomédicale traditionnelle de la maladie mentale. En effet, là où le modèle biomédical se concentre principalement sur les dimensions biologiques et physiopathologiques du trouble, le modèle bio-psycho-social intègre également les dimensions psychosociales, telles que la stigmatisation, le rejet social et les interactions familiales.

Ce choix théorique est justifié par la complexité de la dangerosité psychiatrique, qui ne peut être réduite à une seule cause biologique ou psychologique. Les facteurs sociaux, comme l'isolement ou la marginalisation, interagissent de manière dynamique avec les aspects biologiques et psychologiques pour générer des comportements déviants. Par conséquent, le modèle bio-psycho-social est particulièrement adapté à cette étude, car il permet d'appréhender la dangerosité psychiatrique dans toute sa

multidimensionnalité, en tenant compte des influences combinées des contextes sociaux, familiaux et individuels.

La déviance psychiatrique, en tant que thématique interdisciplinaire, trouve un ancrage dans des études qui explorent ses déterminants psychosociaux, son lien avec la stigmatisation sociale et ses implications dans les systèmes de soins. Silcot (2006) met en évidence l'importance de la sociologie dans l'étude de la maladie mentale, en soulignant son rôle dans la construction des normes et des perceptions de déviance. Cette perspective est complétée par les travaux de Carpentier (ibid.), qui analyse l'évolution historique des relations entre la psychiatrie et les familles, mettant en lumière l'impact des environnements familiaux dysfonctionnels sur la prise en charge des troubles mentaux.

Les déterminants psychosociaux de la déviance psychiatrique sont abordés par Bazin et al. (2006), qui montrent comment la précarité économique et l'accès limité aux soins de santé amplifient la chronicité des troubles mentaux, surtout dans les zones urbaines défavorisées. Cette perspective trouve un écho dans les travaux de Forté (2001), qui analyse l'impact de facteurs psychosociaux tels que l'isolement social et le rejet sur les comportements de dépendance chez les adolescents, des éléments souvent associés à la déviance psychiatrique.

La stigmatisation sociale, facteur clé de notre thématique, est explorée par Gagnon et al. (2008), qui insistent sur les conséquences de l'exclusion sociale pour les personnes souffrant de handicaps psychosociaux. Les auteurs soulignent que la stigmatisation nuit à l'estime de soi et accentue les comportements déviants. Pariseau-Legault et al. (2019) prolongent cette réflexion en analysant les effets des décisions judiciaires imposant des soins, montrant comment ces mesures peuvent renforcer la rupture avec les systèmes de soutien, aggravant ainsi la marginalisation des patients.

Les interactions entre psychiatrie, justice et sécurité sont examinées par Gravier (2023), qui critique l'instrumentalisation sécuritaire de la psychiatrie forensique en Suisse. Ce point est renforcé par Laberge et Morin (1993), qui interrogent les liens entre troubles mentaux et judiciarisation en Amérique du Nord, illustrant les tensions entre réhabilitation et pénalisation des comportements déviants.

Enfin, la dimension humaniste du soin psychique, indispensable pour repenser la prise en charge, est défendue par Corcos et al. (2024), qui appellent à recentrer les pratiques psychiatriques sur les besoins spécifiques des patients. Cette réflexion s'inscrit dans une dynamique visant à dépasser les approches purement sécuritaires et à intégrer des interventions psychosociales globales

La littérature existante met en lumière plusieurs dimensions essentielles de la déviance psychiatrique et de ses déterminants psychosociaux. Elle souligne que les déterminants psychosociaux tels que la

précarité économique, l'isolement social et familial, et la stigmatisation jouent un rôle central dans l'apparition et la chronicité des comportements déviants (Bazin et al., *ibid.* ; Forté, *ibid.*). Les dynamiques justice-psychiatrie révèlent des tensions entre une approche sécuritaire et les objectifs de réhabilitation (Gravier, *ibid.* ; Laberge & Morin, *ibid.*). Enfin, des auteurs tels que Corcos et al. (*ibid.*) insistent sur la nécessité d'une approche humaniste et multidimensionnelle pour replacer les besoins des patients au centre des pratiques de soins

Malgré ces contributions, des lacunes importantes subsistent. La majorité des études se concentrent sur des contextes européens et nord-américains, laissant peu de place à des analyses spécifiques aux pays africains, comme la Côte d'Ivoire. Cela laisse subodorer un manque d'analyses contextuelles. En outre, les travaux existants n'explorent pas de manière détaillée comment des facteurs tels que la stigmatisation, le rejet familial et l'accès limité aux soins interagissent dans des contextes de vulnérabilité extrême, ce qui témoigne d'une absence de focalisation sur les interactions spécifiques. Enfin, la plupart des recherches sont quantitatives ou conceptuelles, négligeant les récits individuels et les expériences vécues, essentiels pour une compréhension approfondie des dynamiques psychosociales.

Notre article comble ces lacunes en proposant une analyse contextuelle inédite de la déviance psychiatrique en Côte d'Ivoire, basée sur une méthodologie qualitative. Il met en lumière les interactions complexes entre stigmatisation, isolement et précarité économique, tout en offrant des perspectives pour adapter les politiques de santé mentale à des réalités culturelles et économiques spécifiques. Dans une perspective exploratoire, cette étude propose une combinaison de facteurs médicaux, psychosociaux et économiques. Centrée sur huit cas colligés à l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville (HPB), l'étude utilise une analyse narrative et thématique pour explorer en profondeur les dynamiques rapportées.

I. Methodologie

1.1. Site, population et échantillon

L'étude s'est déroulée à l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville (HPB), l'un des principaux centres de prise en charge des troubles mentaux en Côte d'Ivoire. Cet hôpital reçoit des patients souffrant de divers types de troubles mentaux, offrant ainsi un cadre idéal pour étudier la relation entre ces troubles et les comportements déviants.

La population cible de l'étude comprend des patients souffrant de troubles mentaux ayant présenté des comportements déviants.

Plus spécifiquement, pour cette étude, une méthode d'échantillonnage non probabiliste, raisonnée et intentionnelle a été adoptée, conformément aux

exigences d'une recherche qualitative centrée sur des cas spécifiques. Les participants ont été sélectionnés parmi les patients de l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville (HPB), en tenant compte de plusieurs critères rigoureusement définis.

Les huit patients inclus dans l'étude devaient présenter un trouble mental diagnostiqué, avec une prédominance de psychoses pour homogénéiser l'échantillon. En outre, ils devaient avoir des antécédents de comportements déviants tels que la violence, les fugues ou les tentatives de suicide, afin de s'assurer que les comportements étudiés reflètent des exemples concrets de dangerosité psychiatrique. La disponibilité des participants pour des entretiens semi-structurés, ainsi que la sévérité et la chronicité des troubles, ont également été prises en compte, garantissant la pertinence des cas sélectionnés pour explorer les dynamiques psychosociales.

Le processus de sélection a été supervisé par le médecin-chef du service psychiatrique, dont l'expertise a permis d'identifier des patients représentatifs des problématiques étudiées.

L'échantillonnage a été complété jusqu'à atteindre un effet de saturation des données, c'est-à-dire le point où les entretiens ne révélaient plus d'informations nouvelles ou significatives. Ce principe a renforcé la validité des données collectées, en assurant que les cas retenus reflètent une diversité d'expériences et de contextes sociaux.

Bien que ce mode d'échantillonnage ne permette pas une généralisation des résultats à l'ensemble des patients psychiatriques en Côte d'Ivoire, il offre une richesse qualitative essentielle. Il permet d'approfondir la compréhension des déterminants psychosociaux de la déviance psychiatrique dans un contexte spécifique, tout en garantissant une représentativité minimale des profils étudiés. Ce choix méthodologique répond ainsi à l'objectif principal de l'étude, qui est de dégager les mécanismes complexes à l'origine de ces comportements.

1.2. Méthode et techniques de recueil et d'analyse des données

La collecte de données s'est faite à partir d'entretiens semi-structurés avec les patients. Ils visaient à recueillir des informations sur leurs parcours personnels, leurs interactions sociales, et leurs expériences de stigmatisation. Ces entretiens ont permis de documenter le rôle de facteurs psychosociaux et des interactions sociales et familiales dans la production de la déviance pathologique.

Les données recueillies ont été analysées de manière qualitative et thématique, à l'aide du logiciel NVivo. Cette méthode a permis d'identifier les thèmes clés tels que la stigmatisation, le soutien social, et l'isolement, tout en explorant leur interaction avec les troubles mentaux.

1.3. Fiabilité, validité et éthique

Pour assurer la fiabilité des données, l'échantillon a été sélectionné de manière à représenter divers profils de patients atteints de troubles mentaux. Les entretiens ont été enregistrés, transcrits, et analysés selon une méthodologie rigoureuse pour éviter tout biais de subjectivité. Les données des entretiens ont été enregistrées, transcrites et consignées dans un journal de terrain manuscrit, permettant de capturer des observations détaillées et des réflexions personnelles tout au long de l'étude.

En termes de validité, les données ont été combinées aux dossiers médicaux des patients, ce qui a permis de croiser leurs différentes perspectives.

Sur le plan éthique, l'étude a respecté les principes de confidentialité et de consentement éclairé. Les participants ont été informés de la nature de l'étude et ont donné leur accord pour y participer. De plus, toutes les données personnelles ont été anonymisées afin de protéger l'identité des patients. Le comité d'éthique n'a pas été consulté dans le cadre de cette étude, car tous les entretiens ont été réalisés sous la supervision du médecin-chef de service. Nous avons mené les entretiens en sa présence, et c'est lui qui nous a introduit avant chaque entretien et a obtenu le consentement éclairé des patients et de leurs accompagnants. Au plan institutionnel, même si l'étude a été supervisée par le médecin-chef, une revue de nos résultats a été présentée au Directeur de l'hôpital, pour validation, avant que les résultats ne soient exploités. Cela a permis de fournir une couche supplémentaire de protection et d'assurance que toutes les considérations éthiques ont été respectées.

II. Présentation et Analyse des Résultats

2.1. Présentation des résultats des huit cas

L'étude a porté (cf. Tableau n°1 ci-dessous) sur huit exemples de personnes souffrant de troubles mentaux suivies à l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville. Les profils sociodémographiques des participants montrent une diversité d'âge, de sexe, et de niveau d'éducation, couvrant un large spectre de contextes sociaux et personnels. Les patients sont majoritairement des célibataires, âgés entre 26 et 55 ans, avec des niveaux d'éducation variés allant du primaire à l'enseignement secondaire. Plusieurs d'entre eux sont sans emploi, et certains vivent encore chez leurs parents ou dans des conditions précaires.

Tableau n°1 : Profils sociodémographiques des participants

Participant	Age	Sexe	Niveau d'éducation	Statut professionnel
Patient 1	30	Homme	Secondaire	Sans emploi
Patient 2	45	Femme	Primaires	Emploi précaire
Patient 3	26	Homme	Secondaire	Sans emploi
Patient 4	38	Femme	Primaires	Sans emploi
Patient 5	50	Homme	Secondaire	Emploi stable

Patient 6	35	Femme	Secondaire	Sans emploi
Patient 7	28	Homme	Primaires	Sans emploi
Patient 8	55	Femme	Secondaire	Emploi précaire

Source : Données d'enquête

Le tableau n°2 ci-dessous montre que les diagnostics varient selon les patients, mais que la majorité des sujets présente des troubles psychotiques et des troubles de la personnalité, notamment la psychose délirante, le trouble de personnalité *borderline* et des troubles liés à la consommation de substances psychoactives. Les comportements déviants observés incluent la violence physique et verbale, des tentatives de suicide, des actes de vol au sein du foyer familial, ainsi que des fugues et des menaces de mort.

Tableau n°2 : Types de troubles mentaux et des actes déviants

Participant	Trouble Mental	Actes Déviants
Patient 1	Psychose délirante	Violence verbale
Patient 2	Personnalité borderline	Fugues
Patient 3	Trouble psychotique	Violence physique
Patient 4	Trouble paranoïaque	Menaces de mort
Patient 5	Personnalité narcissique	Vols familiaux
Patient 6	Personnalité borderline	Tentatives de suicide
Patient 7	Dépendance aux substances	Consommation de drogues
Patient 8	Schizophrénie	Violence physique et fugues

Source : Données d'enquête

2.2. Présentation des thématiques aux entretiens

Les entretiens ont révélé plusieurs thématiques majeures, offrant une meilleure compréhension des déterminants psychosociaux des comportements déviants.

2.2.1. Stigmatisation et marginalisation sociale

La stigmatisation est un thème récurrent dans les récits des patients. Ils se sentent souvent rejetés par leur famille et la société. Par exemple, l'un des patients a confié : « Mes parents ont arrêté de me rendre visite après ma première crise. Ils pensent que je suis un danger pour eux. ». Ce sentiment d'isolement, ressenti après avoir été abandonné par ses proches, peut exacerber les sentiments de désespoir et de détresse émotionnelle. Un tel rejet de la part des proches peut aggraver la stigmatisation des sujets, les amenant à intérioriser un aperçu négatif d'eux-mêmes. Sans le soutien des proches, les sujets manquent alors de ressources économiques et émotionnelles pour gérer leurs crises et améliorer leurs conditions, ce qui peut les amener à un repli de type autistique ou au développement de comportements de défiance, exacerbant ainsi leur déviance. De tels facteurs combinés rendent la réintégration sociale encore plus difficile pour les patients, créant un cercle

vieux où isolement et déviance se renforcent mutuellement., comme l'indiquait ailleurs Coldefy, (2007).

2.2.2. Isolement familial et manque de soutien

Le manque de soutien familial constitue un thème récurrent dans le vécu des patients. Plusieurs d'entre eux expriment leur frustration face à l'absence de solidarité de leur entourage. Par exemple, un patient a déclaré : « Mon frère me dit toujours que je ne fais que leur causer des problèmes. Personne ne me soutient, alors je reste seul à l'hôpital. » Cette situation d'isolement accru, comme l'ont indiqué Gureje et al. (2005), augmente les risques de comportements déviants, souvent perçus comme des mécanismes de défense ou de protestation.

Ainsi, le rôle des familles est crucial dans la réhabilitation des individus souffrant de troubles mentaux. Sans le soutien familial, qui leur sert de « béquilles psychiques », ces personnes, privées de repères, de réconfort, de conseils, d'encouragements et de surveillance, peuvent rechuter et/ou développer des comportements inappropriés ou dangereux.

2.2.3. Perception de la violence

Certains patients ont évoqué des comportements violents en réponse à des sentiments de colère et de frustration. Un patient décrit : « Quand je suis en colère, je casse tout. C'est la seule façon pour moi de montrer que j'existe. ». Cette violence est souvent liée à un sentiment de perte de contrôle de leur vie et de leur environnement comme indiqué par Gbagbo, (2024). Ne pas être convié aux réunions de famille par exemple, ou voir les gens faire silence à son approche, est extrêmement perturbant et frustrant pour un ex-patient psychiatriqué. Celui-ci, en effet, a surtout besoin à ce stade de son parcours thérapeutique, de « renormaliser » ses relations et de se rétablir, dans sa famille, sa communauté, comme au sein du monde professionnel, s'il travaillait.

2.3. Analyse des résultats

L'analyse des entretiens menés avec les huit patients de l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville a révélé des thèmes récurrents qui permettent de mieux comprendre les déterminants psychosociaux des comportements déviants observés. Ces thématiques mettent en lumière les interactions complexes entre les troubles mentaux et les facteurs sociaux, notamment la stigmatisation, l'isolement, et les réponses individuelles à ces conditions.

2.3.1. Stigmatisation sociale et déviance

Nos résultats montrent que la stigmatisation des troubles mentaux est un facteur omniprésent qui contribue directement aux comportements déviants

des ex-patients hospitalisés réintégré dans leur famille, ce qui confirme les observations de Valéry en 2021. Les patients évoquent un profond sentiment de rejet, que ce soit au sein de leur famille ou dans la société. Ce rejet provoque en eux des sentiments d'hostilité et les pousse à adopter des comportements déviants.

2.3.2. Isolement familial et résilience pathologique

Le manque de soutien familial aggrave les sentiments d'exclusion des patients, poussant certains à adopter des comportements déviants pour attirer l'attention sur eux ou exprimer leur désespoir. Dans ce contexte, une résilience pathologique s'instaure. Celle-ci se caractérise par une adaptation aux circonstances défavorables et se manifeste par des comportements ou des mécanismes de défense potentiellement nuisibles. Le manque de soutien familial aggrave les sentiments d'exclusion des patients, les poussant en effet à adopter des comportements déviants pour attirer l'attention ou exprimer leur désespoir.

Au plan psychopathologique, Gbagbo (2015) a décrit ce phénomène comme étant une « chute par rétroaction » : le patient, au lieu de jouer le rôle du « fou de la ville » pour satisfaire les attentes de son environnement, ou de se conformer à une norme culturelle imposée qui le réduit à l'image populaire du fou ou de l'idiot du village — un individu marginal, irresponsable et irrécupérable — pourrait inconsciemment rechercher dans une maladie réifiée une forme d'identité souveraine, exprimée par des actes de violence verbale et physique.

Cette analyse se rapproche de ce que disait Okasha (2002), à savoir que la violence exprimée constituerait une réponse à l'isolement familial ressenti ainsi qu'à une certaine mise à distance. La violence devient alors le *medium* d'un lien recréé, peut être pathologique, mais bien réel. Il s'agirait alors souvent pour le sujet d'un moyen d'exprimer sa frustration, de réaffirmer son existence, dans un environnement à la fois compétitif et invisibilisant et de retrouver une forme de contrôle.

2.3.3. Comportements déviants comme mécanismes de survie

Les comportements déviants observés (propos acerbes, méfiance généralisée, susceptibilité, bris d'objets sous l'effet de la colère, insultes, crachats, trépignements...) ne sont pas simplement des manifestations d'émotions incontrôlées. Selon la théorie lacanienne, il s'agit d'une « montée en scène » de la violence, où des sujets cherchent à exprimer de manière dramatique leurs sentiments de frustration et de détresse. Ces actes constituent un passage à l'acte significatif, servant à communiquer une détresse profonde et une protestation face à la marginalisation et au manque de soutien.

Cette idée concorde également avec la théorie de Rosenberg (1979) sur certaines formes de déviance sociale. Celles-ci sont liées à une faible estime sociale et sont souvent contrées par des individus possédant une forte estime de soi. Dans ce contexte spécifique, la discordance entre l'estime sociale et l'estime de soi peut se manifester par une déviance sociale en réaction à la discrimination. L'individu utilise la déviance comme un mécanisme de survie distinctif, cherchant avant tout à obtenir des marques de respect, de considération et à retrouver une utilité reconnue au sein de la famille, de la communauté et/ou du monde professionnel.

En combinant ces perspectives, nous pouvons mieux comprendre comment les comportements déviants servent à réaffirmer une identité face à l'exclusion et au rejet. D'un point de vue psychanalytique, ces comportements peuvent être interprétés comme des mécanismes de défense face à une blessure narcissique. D'un point de vue psychosocial, ils sont également une forme de résistance à l'exclusion et une quête de reconnaissance sociale.

2.3.4. Adaptation matérielle et errance urbaine

Ces stratégies de survie incluent également une dimension matérielle. Certains patients recourent à la violence pour se protéger des railleries ou simplement survivre dans le « monde de la rue ». Le vol, les cris, la destruction de biens, la nudité (même due à un délire), la mendicité et l'appropriation de certaines zones urbaines sont autant de manifestations de leur nouveau mode d'adaptation, de leur désespoir et de leur errance dans des rues hostiles. De plus, ces individus, isolés au sein de la population, sont fréquemment affectés par des interruptions de leur traitement médicamenteux ou par un suivi thérapeutique inconsistant.

Nos observations et analyses corroborent les idées de Diagne (2016) et Gbagbo (2015), qui décrivent un processus de rupture et de désaffiliation sociale en quatre étapes : une prise en charge hospitalière de courte durée, un parcours thérapeutique paradoxal entre divers systèmes de soin et la famille, avec ou sans continuité médicamenteuse, une chronicisation de la maladie, et enfin une errance urbaine. Cette errance, qu'elle soit « fixe » ou « mobile », se manifeste principalement dans les zones densément peuplées et riches en étales, susceptibles de répondre aux besoins primaires des sujets.

Diagne (ibid.) souligne qu'il existe une logique de choix et d'appréciation des situations qui remet en question à la fois les systèmes de prise en charge de la maladie mentale et leurs représentations. Pour les familles économiquement défavorisées et les patients eux-mêmes, des choix pragmatiques émergent au fil de leur parcours. La gestion de l'agitation et de la violence chronique, ou la peur de leur survenue, dans un espace de vie restreint et chaud, limite les solidarités naturelles issues des traditions (Gbagbo, ibidem). Par conséquent, la fuite vers la rue devient la meilleure

option pour le malade, en réponse aux mauvais traitements, au retour forcé au village ou à une contention déshumanisante au village ou au sein même du domicile familial.

2.3.5. Culpabilité et regrets

Malgré leur comportements déviants, certains des ex-patients font remonter aussi un profond sentiment de culpabilité, reconnaissant les conséquences parfois négatives de leurs actions. Cela révèle une dimension humaine, émotionnelle, souvent minorée, et qui est pourtant bien reconnue par eux. Leur désir de réintégration sociale et leur estime de soi abimé s'accompagnent d'une reconnaissance des souffrances infligées à autrui. Les sujets ne donc pas déconnectés, complètement, du monde environnement, veulent s'y réintégrer, comprennent les sentiments d'autrui, toutes choses pouvant faciliter leur acceptation sociale.

La culpabilité ressentie par les anciens patients psychiatriques est souvent amplifiée par le jugement social, comme l'illustre Mercuel (2012) dans son analyse des sans-abri. Ces derniers, confrontés à des actes perçus comme déviants – tels que des comportements violents ou des crises publiques – expriment fréquemment des sentiments de regret et de honte lorsqu'ils reçoivent une aide. Ce sentiment est lié à la prise de conscience des conséquences de leurs actions, souvent exacerbées par un environnement hostile et l'absence de soutien social.

De manière similaire, les patients atteints de troubles psychiatriques graves ressentent une culpabilité intense lorsqu'ils reviennent sur leurs comportements passés, même si ces derniers étaient directement liés à leur état mental. Ce processus de regret, bien que douloureux, joue un rôle clé dans leur reconstruction identitaire. Il témoigne d'un désir de réintégration sociale et d'une volonté de regagner la confiance de leur entourage.

Cependant, comme le souligne Mercuel, (ibid.), cette culpabilité est également une réponse à la stigmatisation sociale. Lorsque leurs actions sont interprétées de manière négative, les patients se retrouvent à devoir non seulement gérer leurs troubles mais aussi à affronter le rejet ou la méfiance des autres. Ils doivent alors réapprendre à vivre en société tout en reconstruisant une image de soi positive, ce qui peut être un processus long et éprouvant.

III. Discussion

Les résultats de cette étude confirment que les comportements déviants observés chez les patients atteints de troubles psychiatriques sont étroitement liés à des déterminants psychosociaux. Parmi ces déterminants, la stigmatisation sociale, l'isolement familial, et la précarité économique jouent un rôle central. Les patients interrogés ont décrit des expériences d'exclusion,

de rejet et de marginalisation, exacerbées par des environnements familiaux dysfonctionnels et un accès limité aux soins. Les comportements déviants, tels que la violence physique et verbale ou les tentatives de suicide, apparaissent souvent comme des mécanismes de survie dans des contextes d'aliénation sociale. Ces observations s'inscrivent dans le cadre du modèle bio-psycho-social, qui permet d'explorer les interactions complexes entre les dimensions biologiques, psychologiques et sociales des troubles mentaux.

Les résultats confirment les conclusions de plusieurs auteurs, notamment Valéry (ibid.), qui souligne l'impact de la stigmatisation sociale sur le développement de comportements déviants, et Mercuel (ibid.), qui décrit la culpabilité comme un processus de reconstruction identitaire pour les patients marginalisés. De manière cohérente avec les travaux de Gbagbo (2015), les patients utilisent souvent la déviance comme un moyen de réaffirmer leur existence propre ou d'attirer l'attention sur leur détresse. Par ailleurs, les résultats enrichissent la perspective de Okasha (2002), selon laquelle la violence exprimée peut être interprétée comme un mécanisme maladroit mais significatif de création ou de restauration de liens sociaux.

Cependant, des spécificités contextuelles émergent de cette étude. Contrairement aux environnements occidentaux étudiés par Laberge & Morin (ibid.) ou Gravier (ibid.), où les systèmes de soutien institutionnels sont plus structurés, le cadre ivoirien est marqué par un manque de ressources en santé mentale et une stigmatisation institutionnelle accrue. La perception spirituelle des troubles mentaux, ancrée dans des croyances traditionnelles, constitue également un aspect distinctif, comme le soulignent Kpassagou & Bansard (ibid.) et Memel-Fotê et al. (1998).

Nos résultats confirment la pertinence du modèle biopsychosocial d'Engel (ibid.), en montrant comment les dimensions biologiques, psychologiques et sociales interagissent dans la construction des comportements déviants liés aux troubles psychiatriques. La stigmatisation sociale et l'isolement familial apparaissent comme des facteurs sociaux critiques, agissant comme des catalyseurs de la déviance en complément des dimensions biologiques (comme la nature des troubles mentaux) et psychologiques (tels que les mécanismes de *coping* défaillants).

Cette étude enrichit les travaux sur la stigmatisation sociale, notamment en soulignant son rôle non seulement comme un facteur d'exclusion, mais aussi comme un moteur des comportements déviants. Les résultats montrent que la stigmatisation peut engendrer une double spirale négative : elle exacerbe les comportements déviants tout en renforçant l'isolement des patients.

Au sujet de l'interrelation entre les théories psychosociales de l'identité et les troubles psychiatriques, nos données révèlent que les comportements déviants, tels que la violence ou les fugues, peuvent être

interprétés comme des tentatives de réaffirmation d'une identité sociale dans un contexte de marginalisation. Cela offre une nouvelle perspective sur la manière dont les patients psychiatriques réagissent face à la perte de leur statut social.

Tout cela appelle à une révision du cadre criminologique : en effet, cette étude contribue à une réflexion sur le lien entre psychiatrie et criminologie, en soulignant l'importance d'une évaluation interdisciplinaire des comportements déviants. Elle invite les théoriciens du domaine criminologique à intégrer les dimensions psychosociales dans l'analyse de la récidive et de la dangerosité.

Cette étude se distingue par son approche qualitative approfondie, qui explore les récits individuels des patients, offrant une compréhension nuancée des déterminants psychosociaux de la déviance psychiatrique. Elle se concentre sur un contexte local inédit, celui de la Côte d'Ivoire, en intégrant des spécificités culturelles et sociales souvent négligées dans la littérature existante. Le recours au modèle bio-psycho-social d'Engel enrichit l'analyse en tenant compte des interactions entre facteurs biologiques, psychologiques et sociaux. De plus, les huit cas présentés fournissent des exemples concrets et écologiquement valides, renforçant la pertinence des résultats. Enfin, l'étude propose des recommandations pratiques et applicables, tout en respectant une rigueur éthique notable, notamment à travers l'anonymisation des données et le consentement éclairé des participants. Ces éléments en font une contribution significative à la compréhension et à la gestion de la dangerosité psychiatrique dans un contexte sous-étudié.

Malgré ces forces, des limites sont évidentes. Celles-ci résident dans la taille restreinte de l'échantillon (biais d'échantillonnage) et le cadre unique de l'HPB (biais de sélection géographique) qui réduisent la généralisation des résultats. Une recherche future pourrait inclure un échantillon plus large et diversifié, tout en explorant les différences entre milieux urbains et ruraux. De plus, le fait d'avoir mené une étude qualitative peut lui aussi présenter certaines insuffisances : bien que riche en données narratives, l'approche qualitative ne permet pas en effet de quantifier l'impact des facteurs identifiés.

Aussi, parmi les pistes pour les recherches futures, une première serait de mener des études comparatives dans différentes régions de la Côte d'Ivoire, notamment dans les zones rurales, pour évaluer l'impact des contextes culturels et des infrastructures sanitaires identifiées sur la prise en charge des patients psychiatriques. De plus, des recherches longitudinales permettraient de suivre l'évolution des comportements déviants après la prise en charge, offrant des données sur l'efficacité des interventions thérapeutiques et psychosociales. Il serait également pertinent d'approfondir l'influence des croyances spirituelles et traditionnelles, souvent prégnantes dans le contexte ivoirien, sur la perception des troubles mentaux et l'observance des

traitements. Par ailleurs, des études quantitatives à plus grande échelle compléteraient les résultats qualitatifs, permettant une généralisation des conclusions et une meilleure compréhension des dynamiques observées. Les recherches futures pourraient également explorer davantage le rôle des familles dans la réhabilitation des patients, en identifiant les leviers et les obstacles à leur implication. Une approche intersectionnelle, prenant en compte le genre, l'âge, le statut socio-économique ou l'appartenance ethnique, enrichirait la compréhension des variations dans la stigmatisation et les comportements déviants. Enfin, une attention particulière pourrait être portée aux perceptions et besoins des soignants, pour mieux les accompagner dans leur travail. Tester dans une « recherche-action » des stratégies de sensibilisation communautaire et de réduction de la stigmatisation serait également crucial pour améliorer l'inclusion sociale des patients.

Conclusion

Cette étude visait à analyser les déterminants psychosociaux de la dangerosité psychiatrique, en s'appuyant sur l'exploration de huit cas issus de l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville (HPB). Les résultats ont permis de mettre en lumière plusieurs dynamiques cruciales.

Les principales données collectées montrent que les participants, âgés de 26 à 55 ans, souffrent principalement de troubles psychotiques et de troubles de la personnalité. Les comportements déviants observés incluent la violence physique et verbale, les tentatives de suicide, les fugues et les vols familiaux. Ces données, croisées avec les entretiens semi-structurés, ont révélé des facteurs récurrents comme la stigmatisation sociale, l'isolement familial et la précarité économique.

Les analyses thématiques ont mis en évidence que la stigmatisation sociale renforce le rejet des patients, aggravant leur souffrance psychologique et leur marginalisation. L'isolement familial, souvent associé à une absence de soutien émotionnel, pousse les patients à adopter des comportements déviants, interprétés comme des mécanismes de survie face à des environnements hostiles. Enfin, la précarité économique limite l'accès aux soins, favorisant une chronicité des symptômes non traités et l'aggravation des troubles. Ces résultats confirment les hypothèses initiales et s'alignent sur le modèle bio-psycho-social d'Engel, qui illustre l'interaction entre les dimensions biologiques, psychologiques et sociales.

En réponse à l'objectif de l'étude, ces résultats démontrent que la dangerosité psychiatrique ne peut être comprise uniquement comme une menace sécuritaire, mais comme une interaction complexe de facteurs psychosociaux et pathologiques. Cette compréhension élargie permet de mieux appréhender les comportements déviants et de proposer des stratégies adaptées pour améliorer la prise en charge des patients.

En conclusion, cette étude souligne la nécessité de dépasser une approche exclusivement biomédicale pour intégrer des interventions psychosociales ciblées. Réduire la stigmatisation, renforcer le soutien familial et adapter les politiques de santé mentale au contexte local sont des leviers essentiels pour améliorer la réhabilitation sociale des patients souffrant de troubles mentaux graves.

Déclaration pour les participants humains : Cette étude a été approuvée par l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été respectés.

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. Azoulay, M., Raymond, S., Bouchard, J-P., Fau-Vincenti, V., & Gasman, I. (2020). Histoire et fonctions des Unités pour Malades Difficiles (1re partie). Du quartier de sûreté à l'Unité pour Malades Difficiles de Villejuif, plus d'un siècle de prise en charge. *Annales Médico-psychologiques revue psychiatrique*, 178(1), 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.amp.2019.11.002>
2. Bazin, F.D., Parizot, I. et Chauvin, P. (2006). Psychosocial determinants of the renouncing healthcare for financial reasons in five underprivileged urban areas of the Paris region in 2001, *Sciences sociales et santé* 24(3),11-31, <https://doi.org/10.3406/sosan.2006.1687>
3. Bergot, C. (2020). État des lieux de la Santé Mentale en Afrique de l'Ouest. *European Psychiatry, Volume 28* (Issue S2: Hors-série 1 – 5ème Congrès Français de Psychiatrie –Nice, novembre 2013), Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/core/journals/european-psychiatry/article/etat-des-lieux-de-la-sante-mentale-en-afrique-de-louest/00417EB73EA606EDA0FECED963A33528>
4. Besnier, N., Gavaudan, G., Navez, A., Adida, M., Jollant, F., Courtet, P., & Lançon, C. (2009). Approche clinique du suicide au cours de la schizophrénie. Identification des facteurs de risque. *Encéphale*, 35(2), 176-181. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2008.02.009>

5. Biadi-imhof, A. (2006). La santé mentale dans le rapport nord-sud. Présentation : contexte et enjeux. *Revue Tiers Monde*, 2006/3 (n° 187), 485-508. <https://doi.org/10.3917/rtm.187.0485>
6. Carpentier, N. (2001). Le long voyage des familles : la relation entre la psychiatrie et la famille au cours du XXe siècle, *Sciences Sociales et Santé*, Année 2001, (19-1), 79-106, <https://doi.org/10.3406/sosan.2001.1514>
7. Coldefy, M. (2007). *La prise en charge de la santé mentale, recueil d'études statistiques*, La documentation française. <https://www.bnsp.insee.fr/ark:/12148/bc6p06w3jnb/f1.pdf>
8. Coulibaly, S.P., Maïga, F.I., Landouré, G., Dolo, H., Mounkoro, P.P., Dara, A.E., Traoré, J., Traoré, K., Kané, F., Diarra, Z., Yalcouyé, A., Taméga, A., Bocoum, A., Coulibaly, S., Guinto, C.O., & Togora, A. (2021). Facteurs associés aux troubles mentaux dans le service de psychiatrie du centre hospitalier universitaire du point G au Mali. *Mali Med.*, 36(1), 52-57. PMID: 34732974; PMCID: PMC8562494. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8562494/>
9. Coutanceau, R. (2012). Dangerosité criminologique et prévention de la récidive : évaluer la dangerosité sans stigmatiser l'homme. *L'Information psychiatrique*, 88, 641-646. <https://doi.org/10.1684/ipe.2012.0970>
10. Degraft-Johnson, G., & Yorke, E. (2021). Stigmatization of patients with mental health disorders by non-psychiatric health workers at a large teaching hospital in Accra. *East African Medical Journal*, 98(11), online. <https://www.ajol.info/index.php/eamj/article/view/219624>
11. Dequelson, A., Saloppé, X. & Bandinelli, A. (2015). Insight, Stigma et Auto-stigmatisation : l'intime conviction appliquée aux patients schizophrènes hospitalisés au sein d'un hôpital psychiatrique sécurisé, *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique*, Volume 173, (Issue 10), 913-915, <https://doi.org/10.1016/j.amp.2015.07.030>
12. Diagne, P. M. (2016). Soigner les malades mentaux errants dans l'agglomération dakaraise, *Anthropologie & Santé* [En ligne], 13 | 2016, mis en ligne le 29 novembre 2016, consulté le 04 octobre 2024. URL : <http://journals.openedition.org/anthropologiesante/2171> ; <https://doi.org/10.4000/anthropologiesante.2171>
13. Di Vittotio, P. (2014). La psychiatrie et la santé mentale à l'épreuve du DSM. Fantômes de pureté, réalités hybrides, *Déviance et Société*, Vol. 38(1), 103-121. <https://doi.org/10.3917/ds.381.0103>.
14. Engel, G.L. (1978). The biopsychosocial model and the education of health professionals. *Annals of the New York Academy of Sciences*, June 1978, 169-181. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1978.tb22070.x>

15. Engel, G.L. (1980). The clinical application of the biopsychosocial model. *The American Journal of Psychiatry*, 137(5), 535-544. <https://doi.org/10.1176/ajp.137.5.535>
16. Forté, D. (2001). Les déterminants psychosociaux de la consommation et de l'abus d'alcool chez les adolescents de deux commissions scolaires francophones de l'Ile de Montréal (Mémoire de maîtrise, Université de Montréal). https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/bitstream/handle/1866/29054/Forte_Danielle_2001_memoire.pdf?sequence=1
17. Friard, D. (2010). Schizophrénie et dangerosité, les plus dangereux ne sont pas ceux qu'on pense. *Empan*, 2010/1(n° 77), 95-103. <https://doi.org/10.3917/empa.077.0095>
18. Gagnon, E., Pelchat, Y., & Edourad, R. (2008). Parlons d'inclusion sociale. La théorie et la recherche à propos des personnes aux prises avec des handicaps psychosociaux. In *Politiques d'intégration, rapports d'exclusion: Action publique et justice sociale* (pp. 251-266). Presses de l'Université Laval. <https://doi.org/10.1515/9782763705422-017>
19. Gbagbo, M.K. (2009). Offre de soins en santé mentale à l'Hôpital Psychiatrique de Bingerville : avancées et difficultés, *Revue Ivoirienne d'Histoire*, n°14, 82-100. ISSN: 1817-5627.
20. Gbagbo, M.K. (2015). *Quelle place pour les « fous guéris ? »*. L'Harmattan,
21. Gbagbo, M.K. (2024). Entre stigmates et soutiens : parcours thérapeutiques et perceptions de la santé mentale à Abidjan, *Revue Francophone*, 2(2), 147-166. <https://doi.10.5281/zenodo.11116998>
22. Gbagbo, M.K., Traore, M., & Bamba, S. (2017). Réflexions sur les enjeux sociétaux et psychiatriques de la maladie mentale dite dangereuse en Côte d'Ivoire : à propos du cas clinique de David R. *Revue Internationale de Recherches et d'Etudes pluridisciplinaires*, 25, 61-73. ISBN: 978-2-952-7687-4-0.
23. Gbagbo, M.K., & Bazaré, R.N. (2018). Pour une réforme de la prise en charge des états psychiatriques dangereux à Abidjan. *Psychologie clinique*, 45, 212-222. <https://doi.org/10.1051/psyc/201845212>
24. Gravier (2023). La psychiatrie forensique en Suisse : au risque de l'instrumentalisation sécuritaire et positiviste. *Déviance et Société*, Vol. 47(3), 435-475. <https://doi.org/10.3917/ds.473.0435>.
25. Gureje, O., Lasebikan, V.O., Ephraim-Oluwanuga, O., Olley, B.O., & Kola, L. (2005). Community study of knowledge of and attitude to mental illness in Nigeria. *British Journal of Psychiatry*, 186(5), 436-441. <https://doi.org/10.1192/bjp.186.5.436>

26. Kastler, F. (2011). La santé mentale en Afrique : un défi oublié ou une réponse institutionnelle inadaptée ? Dans Kerouédan, D. *Santé internationale. Les enjeux de santé au Sud* (pp. 166-177). Presses de Science-po.
27. Kpassagou, B. et Bansard, N. (2022) . Dynamique psychique des devins-guérisseurs dits « clairvoyants » chez les Nawdeba du Nord-Togo. *L'Autre, Volume 23(2), 126-137.* <https://doi.org/10.3917/lautr.068.0126>
28. Laberge, D. et Morin, D. (1993). Troubles mentaux et intervention pénale; questions entourant les évaluations de la judiciarisation en Amérique du Nord. *Déviance et Société, 1993 - Vol. 17 (- N°3).* 309-348. file:///C:/Users/HP/Downloads/ds_0378-7931_1993_num_17_3_1312.pdf
29. Laforcade, M. (2016). *Rapport relatif à la santé mentale*, Ministère des Affaires sociales et de la Santé. <https://www.vie-publique.fr/files/rapport/pdf/174000689.pdf>
30. LOIDICI.COM (2024). Loi n°2021-893 du 21 décembre 2021 modifiant la loi n°2019-574 du 26 juin 2019 portant Cpde Pénal, URL : <https://loidici.biz/2022/02/25/loi-n-2021-893-du-21-decembre-2021-modifiant-la-loi-n2019-574-du-26-juin-2019-portant-code-penal-2/non-classe/22896/naty/>
31. Memel-Fotê, H, Gadou, D et .M., Yao, Y.L., Boua, A., Silué, C., Coulibaly, D.A., Amalaman, K., Djôme, Y.S. et N'Guessan, A.A. (1998). *Les représentations de la santé et de la maladie chez les Ivoirines*. L'Harmattan.
32. Mercuel, A. (2012). *Souffrance psychique des sans-abri. Vivre ou survivre*. Odile Jacob.
33. Okasha, A. (2002). Mental health in Africa: the role of the WPA. *World Psychiatry, 1(1), 32-35.* PMID: 16946819; PMCID: PMC1489826. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1489826/>
34. Pariseau-Legault, P., Goulet, M-H. et Crocker, A.G. (2019). Une analyse critique des effets de l'autorisation judiciaire de soins sur la dynamique relationnelle entre la personne visée et ses systèmes de soutien. *Aporia 11(1), 41-55,* <https://doi.org/10.18192/aporia.v11i1.4496>
35. Rosenberg, M. (1979). *Conceiving the Self*. Basic Books.
36. Rossinelli, D. (2009). Dangersité et troubles mentaux. *Perspectives Psy, Vol. 48(1), 9-12,* <https://shs.cairn.info/revue-perspectives-psy-2009-1-page-9?lang=fr>.

37. Silcot, F. (2006). La maladie mentale, quel objet pour la sociologie ? *Déviance et Société*, Vol. 30(2), 203-232. <https://doi.org/10.3917/ds.302.0203>
38. Valery, K.-M. (2021). *Réduction de la stigmatisation de la schizophrénie dans les pratiques en santé mentale* [Thèse de doctorat, Université de Bordeaux]. École doctorale Sociétés, Politique, Santé publique (SP2). https://theses.hal.science/tel-03564693v1/file/VALERY_KEVIN-MARC_2021.pdf
39. Zagury, D. (1998). *Modèles de normalité et psychopathologie*. L'Harmattan.

Dynamics of Water Erosion in the Aghien Lagoon Catchment

Ehouman Serge Koffi

Amidou Dao

Dabissi Djibril Noufe

Mamadi Ouedraogo

Nagnon Bernard Yeo

Laboratoire de Géosciences et Environnement,
Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

Luc Seguis

Jean Louis Perrin

IRD, UMR Hydrosociences, Université de Montpellier 2, France

Bamory Kamagate

Lancine Droh Gone

Laboratoire de Géosciences et Environnement,
Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p187](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p187)

Submitted: 20 June 2024

Accepted: 20 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Koffi E.S., Dao A., Noufe D.D., Ouedraogo M., Yeo N.B., Seguis L., Perrin J.L., Kamagate B. & Gone L.D. (2024). *Dynamics of Water Erosion in the Aghien Lagoon Catchment*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 187.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p187>

Abstract

Soil erosion significantly impacts land quality and water resources. This paper focuses on estimating spatiotemporal changes in land-use/land-cover patterns and soil erosion in the Aghien lagoon watershed in Côte d'Ivoire. The study utilized Landsat imagery from 2016 and 2020. Images were classified into categories using supervised classification with the maximum likelihood algorithm. The Universal Soil Loss Equation (USLE) model was applied in a GIS environment to quantify potential soil erosion risk. The areas of bare soil/habitats and crops/fallow increased by 2,981 ha (37.8%) and 2,642 ha (17.58%), respectively, between 2016 and 2020. High soil losses were observed on the slopes of rivers and valleys adjacent to the Aghien lagoon, which are naturally predisposed to erosion due to the steepness, length,

and inclination of the slopes. Average soil loss values were 60.65 t/ha/year in 2016 and 47.64 t/ha/year in 2020. Areas with very low and low soil loss values covered 34,441.52 ha (94.36%) in 2016 and 34,956.76 ha (95.77%) in 2020. Conversely, areas with high and very high soil losses were minimal, accounting for 0.95% and 0.60% of the watershed in 2016 and 2020, respectively. Moderate soil erosion contributed most to soil loss, affecting 1,712.19 ha (4.69%) in 2016 and 1,305.77 ha (3.58%) in 2020.

Keywords: Erosion, lagoon Aghien, Abidjan, GIS

Introduction

Water erosion is a natural phenomenon and one of the primary factors contributing to soil degradation (Bouguerra et al., 2017). The intensification of soil degradation is influenced by several natural and anthropogenic factors that trigger and develop erosion processes. These factors are broadly categorized into two groups: quasi-static factors such as infiltration, erodibility, and morphology, and dynamic factors, including vegetation cover, land use, rainfall intensity, and agricultural practices (Roose & Lelong, 1976; Vrieling, 2005; Boukheir et al., 2006; Toumi et al., 2013).

In addition, climate change, population pressure (Mazouzi et al., 2021), and the expansion of cash crops have increased land exposure to runoff processes, consequently exacerbating soil degradation through erosion (Das et al., 2020). Various human activities, including agricultural practices, forestry, grazing, road construction (Belaout et al., 2021), and urban development, tend to modify and often accelerate erosion phenomena significantly (Wachal et al., 2009). Erosion results from the detachment and transport of soil or rock particles under the kinetic energy of raindrops (Kinnell, 2016; Benchettouh et al., 2021). This process degrades soil fertility, reduces water quality, diminishes reservoir capacity, and causes siltation of hydro-agricultural infrastructures (Kouassi et al., 2020; Khemiri & Jebari 2021). The impacts of soil erosion are far-reaching, including reduced soil productivity, degraded water quality due to eutrophication, siltation, and sedimentation of lakes and river beds, increased flood risks, and more (Onyando et al., 2005; Zhou et al., 2008; Das et al., 2020).

In Côte d'Ivoire, early studies on land erosion were conducted by Rougerie (1958, 1960) in forest regions, analyzing various erosion processes, factors, and anti-erosion methods. Subsequent studies on water erosion include investigations along the coast (Adopo et al., 2014; Abé et al., 2014) and in the Boubo coastal watershed (Coulibaly et al., 2021). Other studies focused on specific regions such as Bonoua (Aké et al., 2012), Adiaké (Eblin et al., 2017), Korhogo (Koukougnon et al., 2021), and Man (Kouadio et al., 2007). Research on watersheds includes the Lake Buyo watershed (Koua et

al., 2019), the Mé River (Kouadio et al., 2018), the Lobo River (Déguy et al., 2018), and the hydro-agricultural dam watershed of Babadou (Kouassi et al., 2020). N'Dri et al. (2017) conducted experiments in the Attécoubé commune within the autonomous district of Abidjan, demonstrating significant modifications to natural environments caused by erosion.

The population increase in the Autonomous District of Abidjan in recent years, driven by socio-political crisis and migration from rural areas and neighboring countries (Nana, 2018), has led to a high demand for housing. This demand has triggered widespread real estate development, often preceded by extensive earthworks that degrade vegetation cover. Once stripped of vegetation, the soil becomes vulnerable to climatic impacts.

This study applies the Universal Soil Loss Equation (USLE) model in conjunction with a Geographic Information System (GIS), an approach that facilitates the estimation of water erosion and its spatial distribution over large areas, including watersheds, countries, or even continents (Khemiri & Jebari, 2021).

The objective of this manuscript is to analyze and spatialize the factors contributing to erosion, creating a thematic map of erosion risks and soil losses in the Aghien lagoon catchment area. Identifying vulnerable areas through the soil loss map will enable decision makers to implement protective measures and ensure efficient management of the Aghien lagoon.

Material and Methods

Study Area

The Aghien lagoon watershed is located in the North-East of Côte d'Ivoire (Diallo et al., 2018), on the outskirts of the autonomous district of Abidjan, between longitudes 375,000 m and 410,000 m West and latitudes 598,000 m and 619,000 m North. It is a peri-urban basin that straddles three (03) communes of the district. The area is urbanized, encompassing the most populated neighborhoods of the commune of Abobo, and has a total surface area of 365 km². It comprises two basins drained by the Djibi and Bété rivers, tributaries of the Aghien lagoon. The Bété basin covers an area of 216 km², while the Djibi basin spans 78 km² (Diallo et al., 2018).

The regional climate is influenced by the seasonal movement of air masses over the south-eastern region. Very dry tropical continental air, known as the Harmattan, flows southward from the Sahara, while humid maritime equatorial air, called the monsoon, originates from the St Helena high-pressure system. The interplay between these two air masses governs the climate of the study area, dividing it into four major seasons that define the hydrological cycle. These include two rainy seasons (May–July and October–November), and two dry periods (July–September and December–April) (Koffi et al., 2019).

The sedimentary basin encompassing much of the Aghien lagoon's catchment area forms a large, flattened crescent along the Atlantic coast, stretching from Sassandra to Ghana. It extends about 45 km inland, with an elevation not exceeding 130 m, and spans a surface area of approximately 8,000 km². The sedimentary basin dates back to the Cretaceous-Cenozoic, Meso-Cenozoic, and Paleoproterozoic eras and primarily consists of clayey sands and coastal sands. It is traversed by the lagoon fault, a major geological feature with a displacement of nearly 3,000 m (Kouassi, 2013; Traoré, 2016).

The eastern edge of the Aghien lagoon is characterized by Quaternary sands and muds. Sands, clays, and ferruginous sandstones from the Continental Terminal (Tertiary) period are the most prevalent.

The slopes within the Aghien catchment area range from 0 and 20°, with an average slope of 4° and a standard deviation of 2.8°. Generally, the slopes are low. The gentlest slopes are located in the alluvial zones of the main tributaries, upstream of the catchment area, and in the urban areas on the plateaus near the Djibi. Steeper slopes are located along the edges of plateau incisions, descending sharply toward the lagoon (Koffi et al., 2019).

The vegetation in the study area is predominantly characterized by evergreen forest. This woody formation includes large trees, some of which are commercially available. However, the forest has undergone significant regression due to human activities, leading to its replacement by a mosaic of classified forests.

The vegetation along the borders of the Aghien lagoon primarily consists of swamp forest dominated by mangroves and bamboos. These vegetation types play a crucial role in stabilizing the lagoon environment by acting as a buffer zone, preventing the discharge of nutrients and sediments into the lagoon, and providing wildlife habitat (N'Dri et al., 2017).

The average monthly temperature in the region ranges between 24.7°C and 27.8°C. Higher temperatures are typically observed from February to April during the long dry season. The onset of the primary rainy season brings increased cloud cover, which leads to a temperature drop, with the lowest temperatures recorded in August (24.77°C).

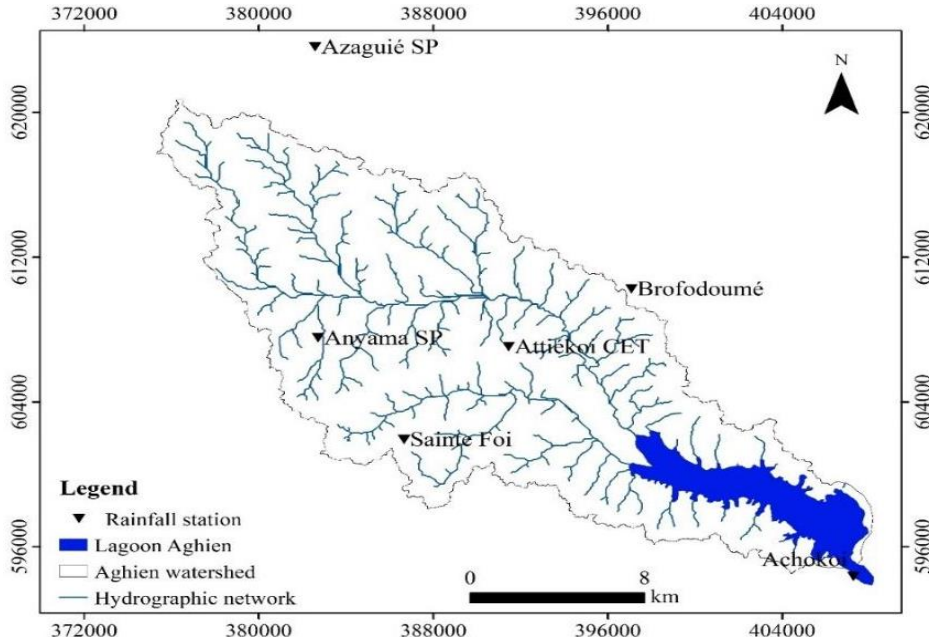


Figure 1. Location of Aghien lagoon watershed

Data Used

The annual rainfall for 2016 and 2020 was calculated using data collected from rainfall stations installed within the Aghien lagoon catchment area since 2015.

The years 2016 and 2020 were specifically chosen based on the availability of satellite imagery.

The distribution of R values was assumed to vary consistently with annual precipitation across the watershed. The highest annual R factor values were observed in areas with greater precipitation.

Figure 2 shows the annual rainfall values recorded at the various stations. In 2016, rainfall exceeded 2400 mm at most stations, including Anyama, Attiékoï CET, Achokoi, Brofodoumé, and Sainte Foi. The exception was the Azaguié station, where rainfall was recorded at approximately 1900 mm. Conversely, in 2020, the rainfall values were slightly above 2000 mm at the Achokoi station in the commune of Bingerville, as well as the Anyama and Sainte Foi stations in the commune of Abobo. Rainfall levels at the Azaguié, Brofodoumé, and Attiékoï CET stations, located on the periphery of the autonomous district of Abidjan remained below 2000 mm. Overall, rainfall levels in 2016 were generally higher than those observed in 2020.

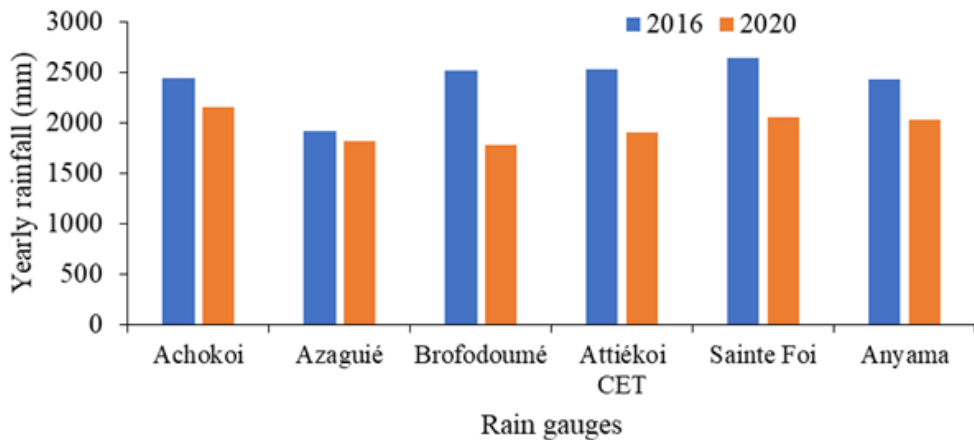


Figure 2. Annual rainfall at rain gauge stations in the Aghien lagoon catchment area

Satellite images from Landsat 8 (OLI) for the years 2016 and 2020 were downloaded from NASA’s Earth Explorer website (<https://earthexplorer.usgs.gov>). The images were acquired at a 30-meter spatial resolution using the WGS 84 coordinate system. Landsat 8 band designations for the Operational Land Imager (OLI) are presented in Table 1, which also records the resolution of the images.

Table 1. The spatial resolution of Landsat 8 (OLI) images

Band Number	Description	Wavelength (µm)	Resolution
Band 1	Coastal / Aerosol	0.433 to 0.453	30
Band 2	Visible blue	0.450 to 0.515	30
Band 3	Visible green	0.525 to 0.600	30
Band 4	Visible red	0.630 to 0.680	30
Band 5	Near-infrared	0.845 to 0.885	30
Band 6	Short wavelength infrared	1.56 to 1.66	30
Band 7	Short wavelength infrared	2.10 to 2.30	30
Band 8	Panchromatic	0.50 to 0.68	30
Band 9	Cirrus	1.36 to 1.39	30
Band 10	Long wavelength infrared	10.3 to 11.3	100
Band 11	Long wavelength infrared	11.5 to 12.5	100

Table 2. Satellite images used

Acquisition data	Sensor	Path/row
05/01/2016		
28/01/2016	Landsat 8 OLI/TIRS	196-56 and 55
07/01/2020		

Land Use Change Rate

The vegetation classes or land cover were mapped using supervised classification of a Landsat 8 OLI multispectral image. Pre-processing steps included correction, combination, and masking. After creating ROI areas, a supervised maximum likelihood classification was performed, assigning pixels to classes based on reflectance probabilities. A confusion matrix validation produced a vegetation cover map with five classes.

The rate of land cover change between two dates was calculated using Diallo et al.'s (2018) formula:

$$T = \frac{V_f - V_i}{V_f}$$

Where T: Rate of change of vegetation cover between two dates;

Vi: The proportion of the land cover class taken at the initial state;

Vf: The proportion of the land cover class taken at the final state.

Generation of the Thematic Maps of RUSLE Model

The Universal Soil Loss Equation (USLE) developed by Wischmeier and Smith (1978), estimates soil erosion in croplands or gently sloping areas (Ganasri & Ramesh, 2016). It integrates five factors: rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), slope length (L), slope steepness (S), cover management (C) and conservation practices (P) (Renard & Freimund, 1994; Panagos et al., 2015a, 2015b; Benchettouh et al., 2021; Piyathilake et al., 2020; Khemiri & Jebari, 2021; Payet et al., 2012).

The equation is:

$$A = R * K * C * LS * P$$

Where: A: average annual soil loss (t/ha/year)

R: rainfall aggressiveness (MJ.mm/ha/hr/year)

K: soil erodibility factor (t/ha/MJ/mm/ ha.h)

LS: topographical factor (L = slope length, S= slope steepness)

C: vegetation and management factor (dimensionless)

P: conservation practice factor (dimensionless).

This empirical model is based on over 10,000 plot-years of sheet and rill erosion data (Roose, 1977).

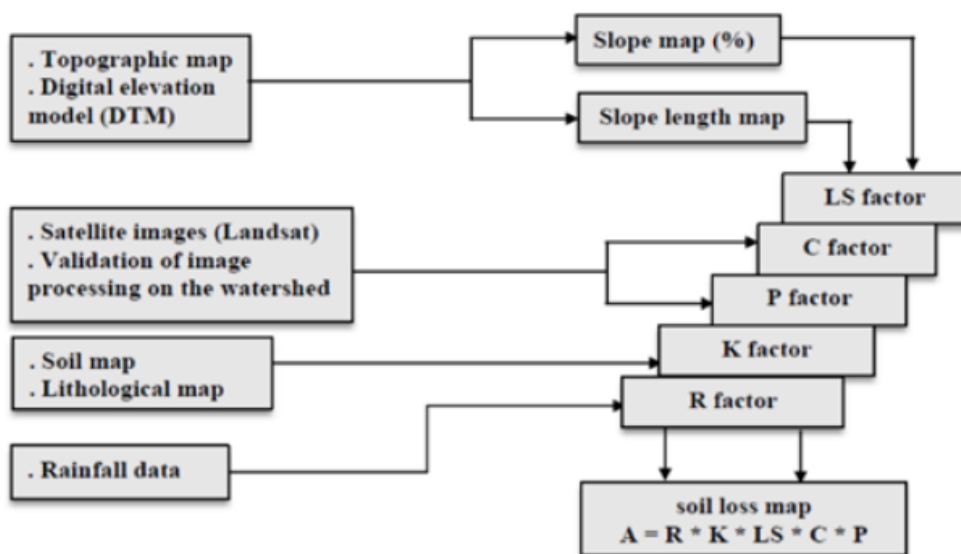


Figure 3. Methodology for estimating soil loss (Meliho et al., 2016)

Support Practice Factor (P)

The P factor is the ratio of soil loss from land with a specific support practice to that from an experimental plot with upslope and downslope tillage (Swarnkar et al., 2018). Anti-erosion practices include contour cultivation, strip or terrace farming, bench reforestation, and ridging (Table 3). P values range from 0 to 1, where 0 indicates strong resistance to human-induced erosion, and 1 reflects the absence of anti-erosion measures (El Garouani et al., 2008). The methodology is illustrated in Figure 4.

Table 3. Correspondence between slopes and the different types of crops recommended by Shin (1999)

Slope (%)	Crops in contour	Crops in band	Terrace with contour crops
0.0 – 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 – 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 – 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 – 26.8	0.90	0.45	0.18
26.8 >	1.00	0.50	0.20

Figure 4. Steps for mapping the P factor under Shin (1999)

Rainfall-runoff Erosivity Factor (R)

The R factor depends on rainfall–runoff characteristics, which are, in turn, influenced by geographic location. Therefore, the rainfall characteristics of the entire watershed (36,500 ha) were considered adequately represented by data collected from six weather stations within the study area. Rainfall data were gathered from these six meteorological stations in the study watershed between 2016 and 2020. Rainfall–runoff erosivity was determined using the method of Roose (1977, 1985), where P represents annual rainfall.

$$R = P * 0.6$$

The altitude map, derived from the 30 m DTM (Figure 5), shows that altitudes in the Aghien catchment area range from 0 m to 137 m. The highest altitudes are found in the commune of Abobo and the northern periphery of the catchment area, which together form the water divide. The lower altitudes are located toward the southern part of the catchment area, where they are more or less homogeneous and situated to the south-east of the Aghien lagoon watershed.

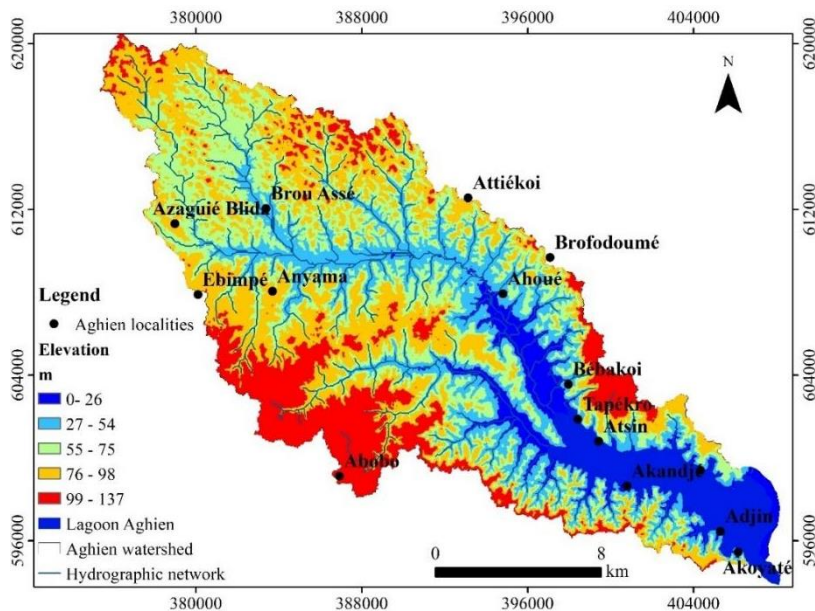


Figure 5. Elevation class map of Aghien lagoon watershed

Soil Erodibility Factor (K)

Erodibility refers to the rate of erosion caused solely by the inherent properties of the soil itself. The K-factor expresses the soil’s susceptibility to erosion due to rainfall (Anache et al., 2015; Songu et al., 2021). The K-factor measures the vulnerability of soil particles to detachment and transport by rainfall and runoff. Texture is the primary factor influencing the K-factor, but soil structure, organic matter content, and permeability also play important roles (Stone & Hilborn, 2000; El Garouani et al., 2008; Markhi, 2015).

Table 4. General sensitivity of soil texture to erosion (Stone & Hilborn, 2000)

Area soil class	Relative sensitivity to water erosion	OM content			Correspondence of the soils in the Aghien watershed
		< 2 %	> 2 %	Average	
Very fine sand	Very high	0.46	0.37	0.43	
Very fine loamy sand		0.44	0.25	0.39	
Silty loam	High	0.41	0.37	0.38	
Very fine sandy loam		0.41	0.33	0.35	
Silt-clay loam		0.35	0.30	0.32	
Clay Loam	Moderate	0.33	0.28	0.30	
Loam		0.34	0.26	0.30	
Silty clay		0.27	0.26	0.26	Ferrallitic sandy-clay soil
Clay		0.24	0.21	0.22	Hydromorphic soil
Sandy clay loam		–	0.20	0.20	
Heavy clay		0.19	0.15	0.17	
Loamy sand		0.05	0.04	0.04	Ferrallitic sandy-clay soil
Fine loamy sand	Slight	0.15	0.09	0.11	Complex ferrallitic soil
Fine sand		0.09	0.06	0.08	
Coarse sandy loam	Very light	–	0.07	0.07	Sandy ferrallitic soil
Sandy loam		0.14	0.12	0.13	
Sand		0.03	0.01	0.02	

Cover-management Factor (C)

Soil that is well protected by vegetation cover significantly reduces the effects of climatic aggressiveness, soil erodibility, and slope gradient, regardless of their importance. Appropriate cover facilitates infiltration, thus reducing runoff and preventing erosion (Meliho et al., 2020).

The C-factor reflects the effect of cropping and management practices on soil erosion rates in agricultural lands and the effects of vegetation canopy and ground cover on reducing soil erosion in forested regions (Renard et al., 1996; Meliho et al., 2020). In recent years, due to the large spatial and temporal variability of vegetation cover, satellite images have been used to extract the C-factor (Karydas et al., 2009; Tian et al., 2009).

The C-factor expresses the weighted ratio of soil losses over a land use situation to those measured in a unit plot (Renard et al., 1996; Batista et al., 2017). Therefore, it reflects not only land use, but also crop type, tillage practices, and other conservation conditions (Panagos et al., 2015a). Values of the C-factor range from 0 to 1.0, with lower values corresponding to densely vegetated landscapes, such as forested areas, and higher values corresponding to bare soil.

For catchment-scale erosion modelling, C-factor values can be assigned to land use classes (Panagos et al., 2015a, 2015b). In this study, land cover maps were produced using Landsat 8 Surface Reflectance images with a 30 m resolution, dated 2016 and 2020. A supervised classification was performed to obtain the cover classes (Trimble, 2010). Finally, C-factor values were assigned to the identified land use classes (Table 6).

Table 5. Land use coefficient C as a function of land use type [38] (Payet et al., 2012)

Type of land use	C-Factor
Bare soil	1
Degraded forest	0.7
Savannah with trees and shrubs	0.3
Degraded Grass Savannah	0.6
Mosaic of culture	0.5
Mangrove	0.28
Habitats	0.2
Wooded area	0.18
Paddy field	0.15
Dense forest	0.001
Water bodies	0

Topographic Factor (LS)

Topography is one of the main factors in soil erosion and hydrological modeling because it defines the effect of gravity on the movement and flow of water and sediments. The length (L) and steepness of the slope (S) affect sediment yield (Meliho et al., 2020).

The topographic factor (LS) depends on both the slope length (L) and slope steepness (S). Erosion increases with the length and inclination of the slopes (Bollinne & Rosseau, 1978; Bollinne & Laurant, 1983). The calculation of the LS-factor for the Aghien lagoon is carried out on a GIS platform. The latter uses the DEM (Digital Elevation Model) to calculate the slope in degrees, orientation, and cumulative length. The combination of the L and S factors gives the LS factor. The LS-factor is a ratio of soil loss under given conditions to soil loss at a location with a "standard" slope of 9% and a slope length of 22.1 m. The steeper and longer the slope, the higher the erosion risk (Wischmeier & Smith, 1978). The formula used was developed by Desmet and Govers (1996). Topography plays a significant role in erosion and landslide. The topographic factor (LS) depicts the effects of topography on erosion, including the length and steepness of the slope that influence the surface runoff speed (Biswas & Pani, 2015).

$$L = ((A + D^2)^{m+1} - A^{(m+1)}) / (X^m D^{(m+2)} * 22.1^m) \tag{1}$$

Where A (m) is the area at the input of a pixel (cell), D is the pixel size, and x is the shape correction factor.

$$m = \frac{F}{F + 1} \tag{2}$$

$$F = \left(\frac{\sin \sin ("slope" * 0.01745)}{0.0896} \right) \tag{3}$$

$$S = 10.8 * \sin\theta + 0.03 \text{ for slope} < 9\% \tag{4}$$

$$S = 16.8 * \sin\theta - 0.05 \text{ for slope} \tag{5}$$

The slopes of the Aghien catchment area range from 0° to 35.5°, with an average of 6.2° and a standard deviation of 4.7°. The slopes are generally low. The very low and low slopes occupy 95.95% of the surface area of the Aghien catchment area and are located in the alluvial zones of the main tributaries, in the upstream part of the catchment area, and in the urban areas on the plateaus of the Djibi River. On the other hand, steep slopes are found at the edges of the plateau incisions facing the lagoon (Koffi et al., 2014) and are also found on the slopes of the Bété and Djibi rivers. Steep and very steep slopes occupy 0.22% of the study area (Table 6 and Figure 6).

Figure 6. Slope map of Aghien lagoon watershed

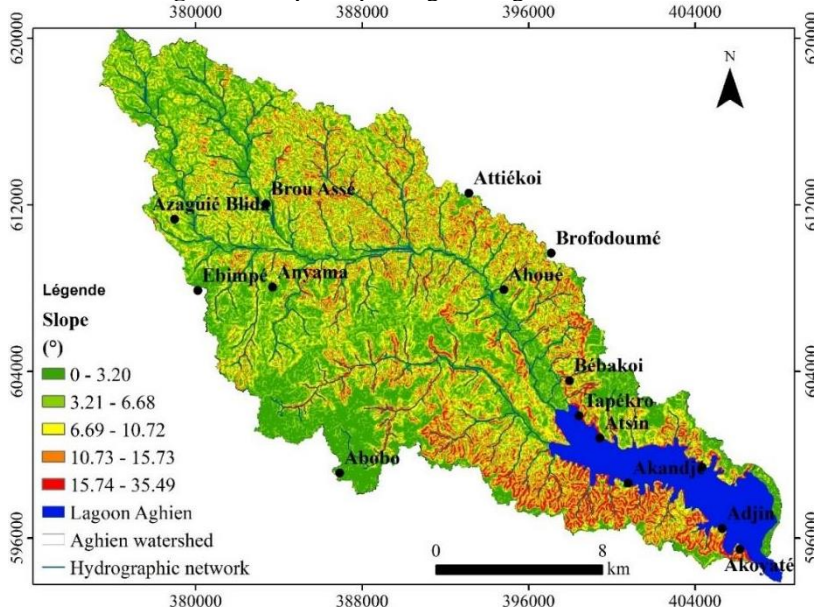


Table 6. Declivity classes

Slope (°)	Area (ha)	Area (%)	
0-3.20	25922.32	71.02	Very low
3.21-6.68	9097.63	24.93	Low
6.69-10.72	1400.49	3.84	Moderate
10.73-15.73	76.31	0.21	High
15.74-35.49	3.25	0.01	Very high

All the factors in the USLE equation proposed by Wischmeier and Smith (1978) were interpolated using ArcGis software.

Results and Discussion

Land Use

The land use map (**Figures 7A** and **7B**) was prepared based on the land use cover map of the study area. The land use was classified into five main classes: water body, forest area, degraded forest, crops/fallow, and bare soil. In 2016, the Aghien lagoon watershed was dominated by degraded forest and crops/fallow land (**Figure 7A**), with respective areas of 16,011 ha and 12,384 ha, accounting for 44.81% and 33.92% of the total watershed area. By 2017, the area of degraded forest had decreased to 11,122 ha (30.4%), representing a reduction of 4,889 ha. This loss was primarily replaced by an increase in crops/fallow land, which expanded to 15,026 ha (41.15%), an increase of 2,642 ha. This regression in degraded forest also contributed to an increase in habitat area, which grew from 4,906 ha in 2016 to 7,887 ha in 2017 across the entire watershed (**Table 8**). Bare soil and habitats were concentrated in the southern part of the watershed, predominantly in the communes of Anyama and Abobo. The few forested areas in the study region were small pockets of classified forest, which are being gradually destroyed in favour of industrial crops and the expansion of the autonomous district of Abidjan. Forested areas decreased from 1,253 ha (3.43%) in 2016 to 540 ha (1.48%) in 2017, a decline of 713 ha. Meanwhile, the surface area of the lagoon water body experienced minimal variation, shrinking slightly from 1,957 ha in 2016 to 1,936 ha in 2017.

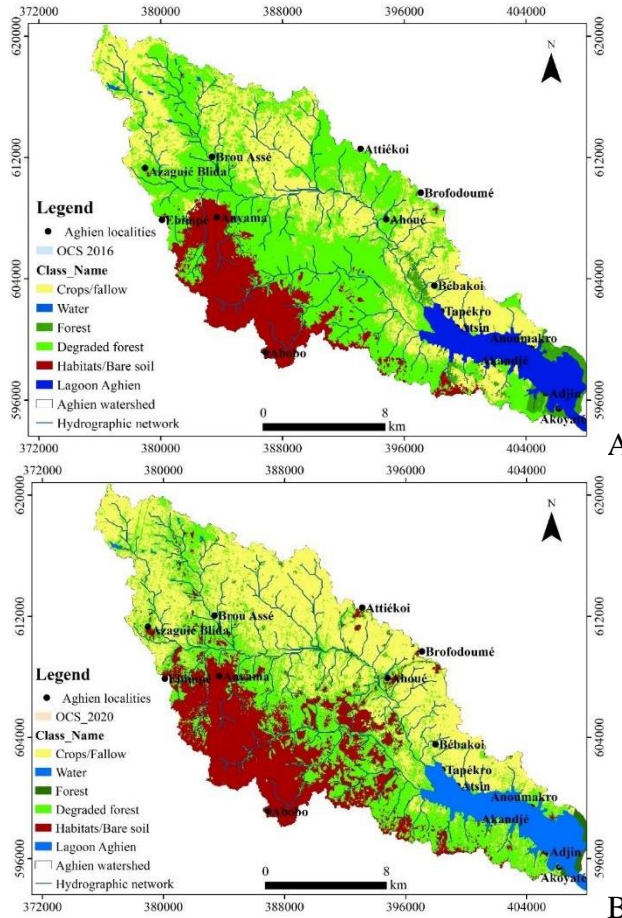


Figure 7. Land use/land cover in Aghien lagoon watershed (A: 2016; B: 2020)

Table 7. Land use class

Class name	2016		2020		2016-2020	
	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)	Area change (ha)	Area (%)
Soil Bare/Habitat	4906	13.44	7887	21.60	2981	37.80
Forest	1253	3.43	540	1.48	-713	-132.04
Water	1957	5.36	1936	5.3	-21	-1.08
Crops/Fallow	12384	33.92	15026	41.15	2642	17.58
Forest Degraded	16011	43.85	11122	30.46	-4889	-43.96

USLE Factor Mapping

Rainfall Erosivity Factor (R)

The average annual rainfall erosivity factor (R) for the six weather stations ranged from 1,145 to 1,583 MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹ year⁻¹ in 2016 and from 1,068 to 1,290 MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹ year⁻¹ in 2020 (Table 4; Figures 8A and 8B).

The average R-factor values were 1,478 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ in 2016 and 1,175 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ in 2020 (**Table 8**).

Thematic maps of the R-factor were classified into five categories: very low, low, moderate, high, and very high. This classification was applied to all thematic maps of the USLE model.

Table 8. Rainfall erosivity (R) values

	2016		2020	
	Rainfall (mm)	R (MJ mm ha ⁻¹ hr ⁻¹ year ⁻¹)	Rainfall (mm)	R (MJ mm ha ⁻¹ hr ⁻¹ year ⁻¹)
Achokoi	2437.30	1462.38	2150.5	1290.3
Azaguié	1909.00	1145.40	1818.2	1090.92
Brofodoumé	2509.80	1505.88	1780	1068
Attiékoi CET	2527.30	1516.38	1907	1144.2
Sainte Foi	2638.50	1583.10	2050	1230
Anyama	2425.70	1455.42	2024.3	1214.58

The spatial distribution for 2016 shows that the lowest erosivity values are confined to the northern part of the catchment area, specifically in the Brou Assé region. In contrast, the highest values are concentrated in the central part of the catchment, while areas with high erosivity are located on either side of these peaks. Moderate erosivity values are bordered by both low and high erosivity zones (**Figure 8**).

For 2020, the spatial distribution reveals a map largely devoid of high and very high erosivity zones (**Table 9; Figure 8B**). The northern part of the catchment, encompassing villages such as Ahoué and Attiékoi, is predominantly covered by very low erosivity. In the southern region, including communes like Abobo and Anyama, low erosivity is observed. Moderate erosivity is confined to the eastern section of the Aghien lagoon watershed.

This spatial distribution underscores the heterogeneous nature of erosivity, which may also reflect the variability in rainfall recorded at the different rainfall stations.

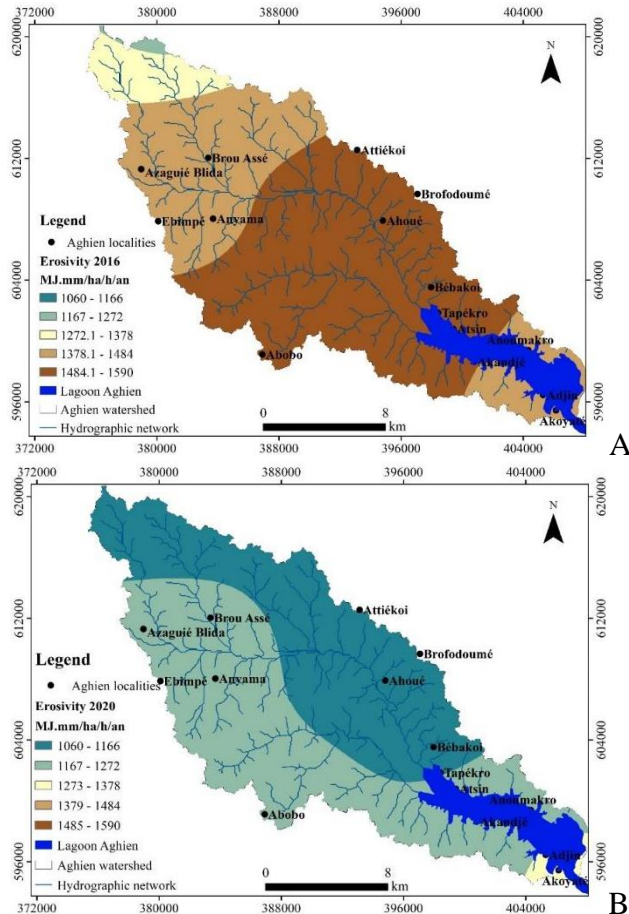


Figure 8. Spatial distribution of the R factor in Aghien lagoon watershed (A: 2016; B: 2020)

Table 9. R-factor distribution in Aghien lagoon watershed

R factor (MJ.mm/ha/hr/year)	2016			2020		
	Area (ha)	Area (%)	Average (MJ.mm/ha/hr/year)	Area (ha)	Area (%)	Average (MJ.mm/ha/hr/year)
1066 – 1166	0.09	0.00		15746.13	43.14	
1167 – 1272	196.72	0.54		19886.37	54.48	
1273 – 1378	2459.70	6.74	1478.1	867.50	2.38	1175.6
1379 – 1484	13280.02	36.38				
1485 – 1590	20563.47	56.34				

Topographic Factor (LS)

The values of the LS factor range from 0 to 15. The very low and low classes (0 - 3.18) dominate the catchment, covering 81.65 % of the area. Moderate LS values (3.19-5.68) account for 15.35% of the Aghien lagoon catchment. High and very high LS values (5.69 - 225) are confined to only 3.05 % of the catchment area. These results correspond to the basin's

topography, which is predominantly flat, with low slopes observed across 85.95% of the area (slopes less than 10°) (Table 10). The high and very LS values are primarily located in the downstream part of the basin, where the relief is elevated, and near the main slopes of the Bété and Djibi rivers. The average LS value for the catchment is 1.84 (Table 10; Figure 9).

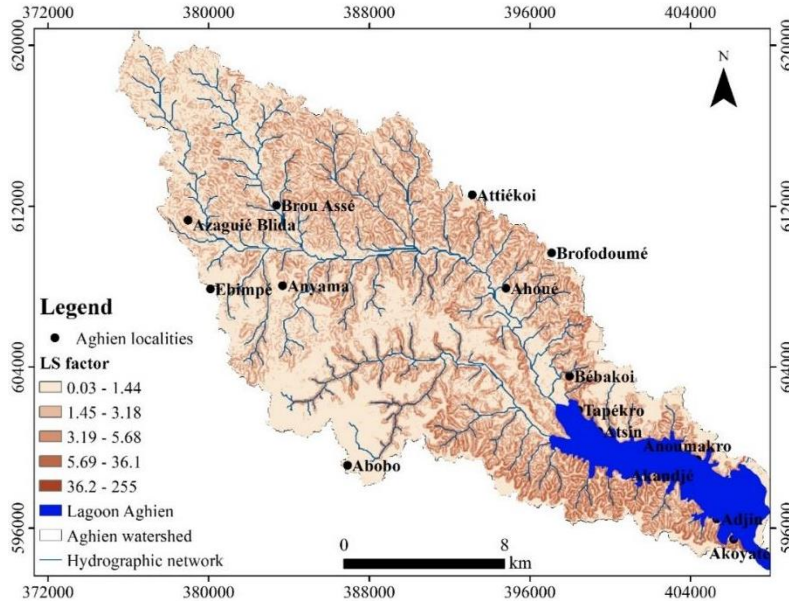


Figure 9. Spatial distribution of the LS Factor in Aghien lagoon watershed

Table 10. Topographic Factor

LS Factor	Area (ha)	Area (%)	Average
0.03-1.44	19891.7092	54.53	
1.45-3.18	9876.65	27.08	
3.19-5.68	5600.41079	15.35	1.84
5.69-36.10	1103.72266	3.03	
36.11-255	6.11952051	0.02	

Soil Erodibility K-factor

The calculated K-factor in the Aghien lagoon catchment area ranges from less than 0 to 0.26 t/ha/MJ/mm, with an average value of 0.13 t/ha/MJ/mm, which is relatively high (Figure 10; Table 11).

The lowest and low k-factor values are primarily found in the northern part and around the basin, covering 30.66% of the area. High to very high values are concentrated in regions with marl-clay soils, accounting for 24.53% of the basin area. The majority of the catchment area is characterized by modest K values, representing 44.81% of the total area.

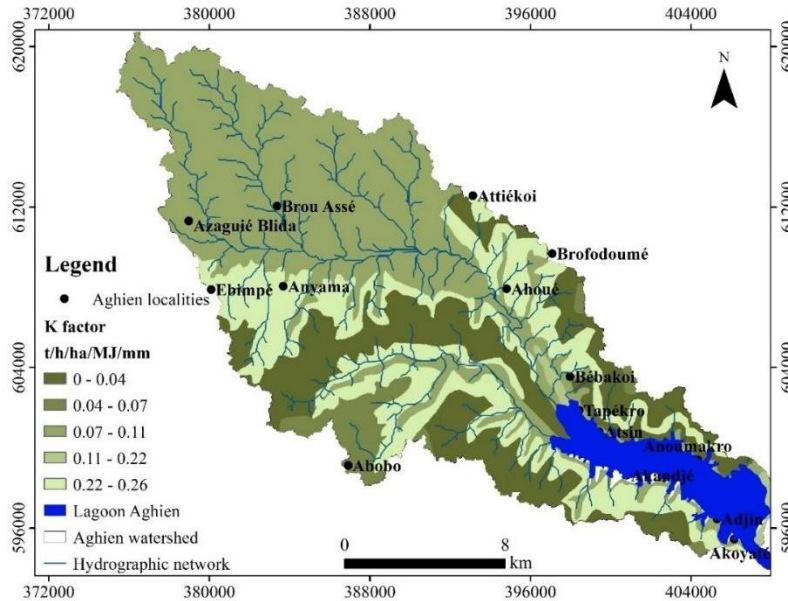


Figure 10. Spatial distribution of the K Factor in Aghien lagoon watershed

Table 11. Soil types and their K values in Aghien lagoon watershed

K factor (t/ha/MJ/mm)	Area (ha)	Area (%)	Average (t/ha/MJ/mm)	Soil type
0-0.04	9799.53	26.85	0.13	Ferrallitic sandy-clay soil
0.05-0.07	1391.58	3.81		Ferrallitic sandy soil
0.08-0.11	16356.36	44.81		Complex ferrallitic soil
0.18-0.22	350.88	0.96		hydromorph soil
0.23-0.26	8601.79	23.57		Ferrallitic sandy-clay soil

Crop Management Factor (C)

The values of the C-factor, scaled to the same level for comparison of the 2016 and 2020 maps, range from 0.02 and 1, with respective averages of 0.61 and 0.63, as shown in **Table 12** and **Figures 11A** and **11B**. The maps indicate that the lowest C-factor values are associated with lower elevations. A significant portion of the catchment area exhibits high and very high C-factor values, ranging from 0.6 to 1, covering 54.16% and 51.95% of the area in 2016 and 2020, respectively. These areas are linked to bare soil, housing expansion, and market gardening activities. The spatial distribution of C-factor highlights the impact of anthropization due to human activities. Land use changes and rainfall variability have led to forest degradation, transforming these regions into cultivated land. The results reveal that 8.78% of the basin in 2016 and 6.73% in 2020 had very low vegetation cover, making these areas highly vulnerable to water erosion. Moderate C-factor values (0.4 - 0.6) account for 34.05% of the catchment area in 2016 and 41.31% in 2020, predominantly occupying the northern regions of the catchment.

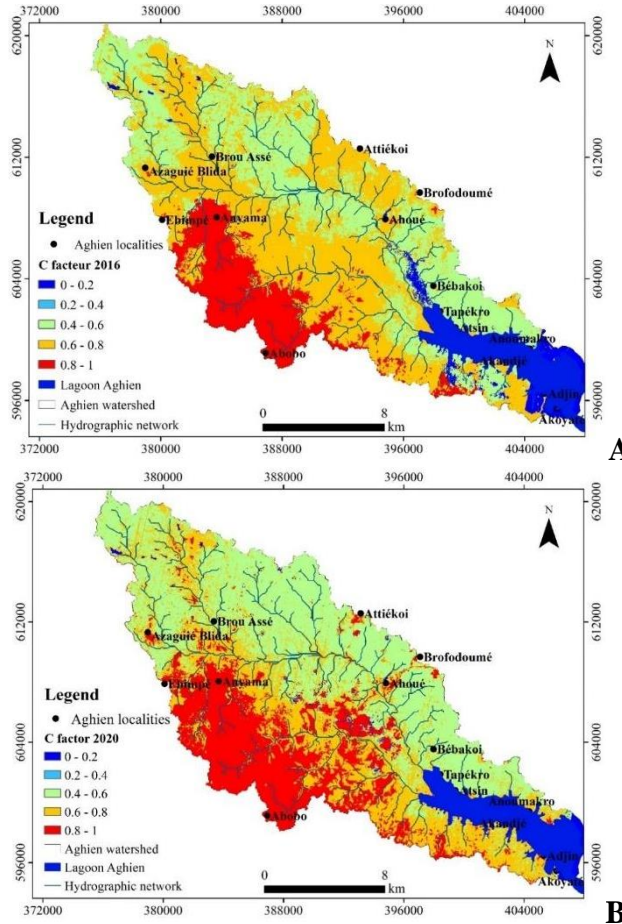


Figure 11. Spatial distribution of the C-factor in Aghien lagoon watershed (A: 2016; B: 2020)

Table 12. C-factor temporal evolution in Aghien lagoon watershed

C-factor	2016			2020		
	Area (ha)	Area (%)	Average	Area (ha)	Area (%)	Average
0 – 0.2	3206.61	8.78		2457.09	6.73	
0.2 – 0.4						
0.4 – 0.6	12431.87	34.05	0.61	15081.79	41.31	0.63
0.6 – 0.8	15980.22	43.77		11022.72	30.19	
0.8 – 1	4888.47	13.39		7945.42	21.76	

Conservation Practice (P) Factor

The value of the (dimensionless) P-factor ranges from 0 to 0.55, with an average of 0.29. This study revealed that 86.96% of the Aghien lagoon catchment area exhibited P-factor values between 0 and 0.3, representing very low to low values. Topographical features significantly influence erosion, as

lower P-factor values indicate more effective conservation practices in reducing soil erosion. High and very high P-factor values occupy only 1.58% of the catchment area, corresponding to the steepest slopes. The P-factor map, developed from the slope map, shows that the P-factor values are associated with topographical features. While the overall catchment area has relatively low P-factor values, higher values are concentrated around the Aghien lagoon (Figure 12; Table 13).

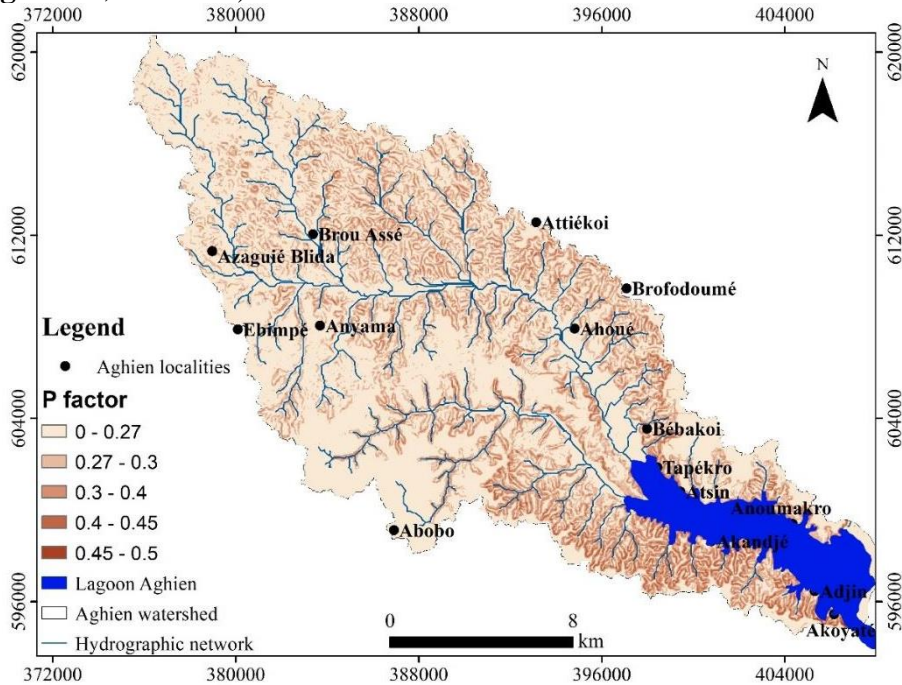


Figure 12. Spatial distribution of the P-Factor in Aghien lagoon watershed

Table 13. Conservation practice factor (P) values in Aghien lagoon watershed

P factor	Area (ha)	Area (%)	Average
0-0.27	24550.27	67.26	
0.28-0.3	7190.10	19.70	
0.31-0.4	4037.17	11.06	0.29
0.41-0.45	711.62	1.95	
0.46-0.5	10.83	0.03	

Soil Loss

The USLE layers derived for the R, K, LS, C, and P factors were integrated using the raster calculator tool in ArcGIS version 10.2 Spatial Analyst to quantify and generate soil erosion risk and severity maps for the Aghien lagoon watershed. The influence of environmental factors on the spatial distribution of soil erosion loss, including terrain units, elevation, slope, and land use/cover, was analyzed and evaluated.

The soil loss map produced was grouped into five categories: very low and low, moderate, and high to very high classes. The soil loss for the year 2016 was set to match the 2020 map for a better comparison. Soil loss varied between 0 and 9,230 t/ha/year, with an average of 60.65 t/ha/year in 2016 and 47.64 t/ha/year in 2020 (**Figures 13A** and **13B**). The very low to low categories were dominant across almost the entire basin area, occupying 94.36% in 2016 and 95.77% in 2020 (**Table 14**). This class is distributed throughout the basin, in both low-lying and high-lying areas, with a slight increase of 1.47% observed from 2016 to 2020. On the other hand, the high and very high classes accounted for 0.95% and 0.65%, respectively in 2016 and 2020, showing a decrease of 46.15%. The moderate class occupied 4.69% of the 2016 basin area and 3.58% of the 2020 basin area. This class is located primarily on the slopes of watercourses and steep slopes along the Aghien lagoon.

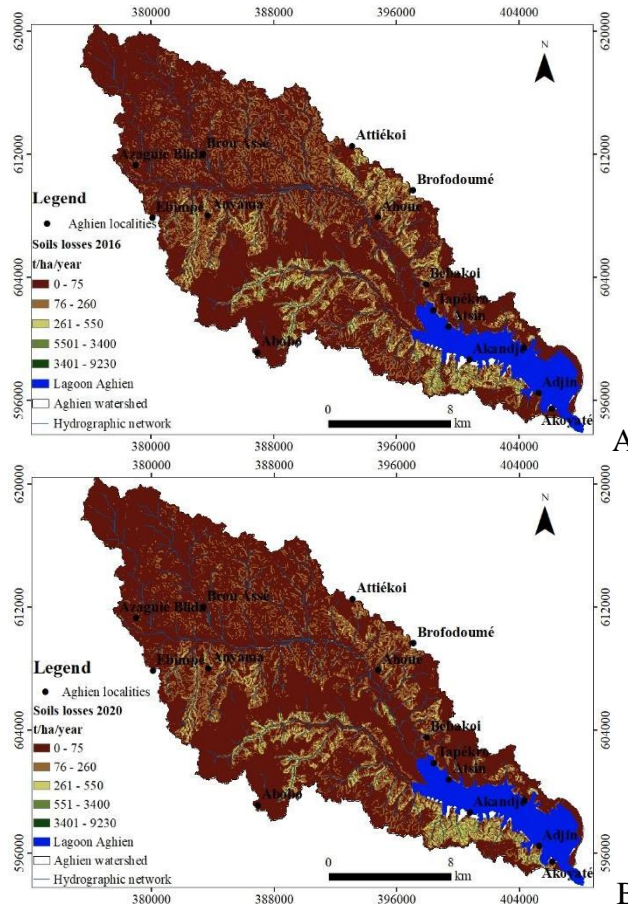


Figure 13. Spatial distribution of soil losses in Aghien lagoon watershed (A: 2016; B: 2020)

Table 14. Soil loss and erosion risk classes of the watershed

Soil loss (t/ha/year)	2016			2020			Erosion class
	Area (ha)	Area (%)	Average (t/ha/year)	Area (ha)	Area (%)	Average (t/ha/year)	
0-75	26095.03	71.49	60.65	28244	77.38	47.64	Very low
76-260	8346.49	22.87		6712.76	18.39		Low
261-550	1712.19	4.69		1305.77	3.58		Moderate
551-3400	345.69	0.95		237.36	0.65		High
3401-9230	0.61	0		0.10	0		Very high

Discussion

Soil loss maps derived from the USLE method (Wischmeier & Smith, 1978), based on the combination of the R, K, LS, C and P factors, were integrated using the raster calculator tool in the Spatial Analyst of ArcGIS version 10.2 to quantify and generate thematic soil erosion risk and severity maps for the Aghien lagoon watershed. The R-factor, representing the aggressiveness of precipitation, was higher in 2016 than in 2020. These high values can be attributed to the high annual precipitation recorded, ranging from 1,909 to 2,638 mm, as measured at various rainfall stations in the Aghien lagoon watershed. This rainfall follows a decreasing gradient from south to north towards the high altitudes (Khanchoula et al., 2020; Meliho et al., 2020). However, vegetation cover plays a crucial role in soil protection (Koua et al., 2019; Kilic, 2021), and soil without vegetation cover can be highly susceptible to rain (Coulibaly et al., 2021). The kinetic energy of raindrops is transformed on impact into mechanical energy capable of moving soil particles, even on very gentle slopes (Eblin et al., 2017). Under the effect of precipitation, particles break off and are carried downstream in areas of low depression, such as the Aghien lagoon (Dao et al., 2021). Increased rainfall and land use changes could increase the rate of soil erosion in the Aghien lagoon watershed (Maurya et al., 2021). In this area, soils are formed on soft materials such as marl and clay, which are not very permeable or impermeable, promoting runoff and soil erosion (Khemiri & Jebari, 2021). Additionally, the LS factor is essential for evaluating erosive potential (Melihio et al., 2020). Steeper slopes, often associated with lithology, increase soil losses with greater slope length and steepness (Almaaitah et al., 2018). In the study area, the steepest slopes are generally located on the banks of streams and adjacent valleys (Tsegaye & Bharti, 2021) within the Aghien lagoon watershed. However, the high and very high soil losses are relatively insignificant, accounting for 0.95% in 2016 and 0.65% in 2020. This drop in soil losses from 2016 to 2020 could be due to the increase in crop and fallow land from 33.92% in 2016 to 41.15% in 2020, marking a 17.56% increase. Most soil loss in the watershed

is attributed to moderate erosion, which accounts for 1,712.19 ha (4.69%) in 2016 and 1,305.77 ha (3.58%) in 2020 (Table 14), showing a decrease in the moderate class in 2020. On the other hand, the very low (71.49% in 2016 and 77.38% in 2020) and low (22.87% in 2016 and 18.29% in 2020) categories are scattered across the watershed. These low values are mainly observed on plateaus, plains, and low slopes, and are linked to the presence of significant vegetation cover, including crops and fallow land. This vegetation cover helps reduce the velocity of rain drops, promoting infiltration in the area (Dawa & Arjune, 2021) and significantly reducing the detachment of soil particles as well as runoff. A slight increase in the very low class was observed in 2020, which may be related to the increase in bare soil and habitats due to the expansion of the Autonomous District of Abidjan, despite lower rainfall in 2020 compared to 2016 (Figure 2). The vegetation cover in 2020 (41.15%) is higher than in 2016 (33.92%) (Table 8). According to Nut et al. (2021), bare soil can contribute to increased soil loss in a watershed. However, when examining the C-factor themes, a contrast is observed. This factor reveals that bare soil increased from 13.39% in 2016 to 21.76% in 2020, with an area of 2,981 ha (37.80%) of bare soil between 2016 and 2020. While bare soil can naturally favor soil loss, these areas are less contributory due to their location on plateaus or low-slope areas. The average soil loss values for the watershed over the study period are 60.65% in 2016 and 47.64% in 2020, with a regression in 2020. However, these average soil losses are higher than those found by Nut et al. (2021) in the Stung Sangkae watershed in Colombia (3.1 and 7.6 t/ha/year in 2002 and 2005, respectively); Sbai et al. (2021) in the Moulouya watershed in eastern Morocco (13.5 t/ha/year); and Tsegaye and Bharti (2021) in the Anjed watershed in northwest Ethiopia (17.3 t/ha/year).

Conclusion

The Universal Soil Loss Equation (USLE), combined with GIS techniques and remotely sensed data, has been successfully applied to determine soil erosion factors, including rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), land cover (c), slope length and inclination (LS), and anti-erosion practices (P). The soil erosion map provides valuable information about sediment production through slope erosion and identifies areas susceptible to erosion. The potential erosion rate (t/ha/yr) obtained at the basin level was grouped into five classes: very low, low, moderate, high and very high risk. The assessment showed average losses of 60.65 t/ha/yr in 2016 and 47.64 t/ha/yr in 2020 for the Aghien lagoon basin. Soil loss varied from 0 to 9230 t/ha/year across the basin. Water erosion is visible in the Aghien lagoon basin, with more pronounced erosion on the slopes and reduced erosion in the plains, plateaus, and low or almost zero slopes. Low soil losses are linked to significant vegetation cover composed of crops and fallow land. The

comparison of specific degradation values reveals strong spatial disparity in the soil erosion rate, primarily due to lithology, vegetation cover, slope and catchment size. Most soil loss in the watershed is due to moderate erosion, occupying 1,712.19 ha (4.69%) in 2016 and 1,305.77 ha (3.58%) in 2020. The evolution of vegetation cover has had both negative and positive impacts on soil loss in the Aghien lagoon watershed. However, bare soil/habitats increased from 33.92% in 2016 to 41.15% in 2020.

Acknowledgements

We would like to express our gratitude to the “Debt Reduction and Development Contract” (C2D) between France and Côte d’Ivoire, which funded the research activities of the “Aghien Lagoon” project through the PReSeD-CI partnership. This partnership fostered excellent collaboration between researchers from the Université Nangui Abrogoua (UNA), particularly those from the “Laboratoire de Géosciences et Environnement” (LGE), and researchers from the French Institute for Research and Development (IRD).

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

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

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

References:

1. Abé, J., N’doufou, G. H. C., Konan, K. E., Yao, K. S., & Bamba, S. B. (2014). Relations entre les points critiques d’érosion et le transit littoral en Côte d’Ivoire. *Africa Geoscience Review*. 21(1-2). 1-14.
2. Adopo, K. L., Akobe, A. C., Etche, M., Monde, S., & Aka, K. (2014). Situation de l’érosion Côtière au Sud-est de la Côte d’Ivoire. entre Abidjan et Assinie. *Revue Ivoirienne de Science et Technologie*. 24. 223-237.
3. Aké, G. É., Kouadio, B. H., Adja, M. G., Ettien, J. B., Effebi K. R., & Biémi, J. (2012). Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle à l’érosion hydrique des sols de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d’Ivoire). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*. (Volume 6). 1-42. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.2285>
4. Almaaitah, R., Azhari, A., & Asri, R. (2018). Spatial Distribution Of Soil Erosion Risk Using Rusle, Rs And Gis Techniques. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(10), 681-697. <http://www.iaeme.com/IJCIET/index.as>

5. Anache, J. A. A., Bacchi, C. G. V., Panachuki, E., & Sobrinho T. A. (2016). Assessment of methods for predicting soil erodibility in soil loss modeling. *Geociências (São Paulo)*, 34(1), 32-40.
6. Batista, P. V. G., Silva, M. L. N., Silva, B. P. C., Curi, N., Bueno, I. T., Júnior, F. W. A., & Quinton, J. (2017). Modelling spatially distributed soil losses and sediment yield in the upper Grande River Basin-Brazil. *Catena*, 157, 139-150. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2017.05.025>
7. Belaout, F., Mekerta, B., Zentar, R., Chabani, A., Abdelkrimi, A., & Kalloum, S. (2021). Modeling of erosion in the Wadi Guir watershed (South-West Algeria) by the application of Geographic Information System (GIS). *International Journal of Forest. Soil and Erosion*. 11(1).
8. Benchettouh, A., Kouri, L., & Jebari, S. (2017). Spatial estimation of soil erosion risk using RUSLE/GIS techniques and practices conservation suggested for reducing soil erosion in Wadi Mina watershed (northwest. Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*. 10(4). 79. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.96190>
9. Biswas, S. S. & Pani, P. (2015). Estimation of soil erosion using RUSLE and GIS techniques: a case study of Barakar River basin, Jharkhand, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1(4), 1-13. DOI 10.1007/s40808-015-0040-3
10. Bollinne, A. & Laurant, A. (1983). La prévision de l'érosion en Europe Atlantique : le cas de la zone limoneuse de Belgique. *Pédologie*, XXXIII, 2, 117-136pp.
11. Bollinne, A. & Rosseau, P. (1978). Erodibilité des sols de moyenne et haute Belgique. Utilisation d'une méthode de calcul du facteur K de l'équation universelle de perte en terre. *Bull. Soc. Géogr. de Liège*, 14,4 : 127-140pp.
12. Bouguerra, H., Bouanani, A., Khanchoul, K., Derdous, O., & Tachi, S. E. (2017). Mapping erosion prone areas in the Bouhamdane watershed (Algeria) using the Revised Universal Soil Loss Equation through GIS. *Journal of water and land development*. 32(1). 13-23pp.
13. Boukheir, R., Cerdo, O., & Abdallah, C. (2006). Regional soil erosion risk mapping in Lebanon. *The Journal of Geomorphology*. Vol. 82. Iss. 3 p. 347–359.
14. Coulibaly, L. K., Guan, Q., Assoma, T. V., Fan, X., & Coulibaly, N. (2021). Coupling linear spectral unmixing and RUSLE2 to model soil erosion in the Boubo coastal watershed, Côte d'Ivoire. *Ecological Indicators*, 130, 108092. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108092>
15. Dao, A., Koffi, E. S., Noufé, D. D., Kamagaté, B., Goné, L. D., Séguis, L., & Perrin, J. L. (2021). Soil loss vulnerability: the case study of

- Aghien lagoon watershed outskirts Abidjan city (Côte d'Ivoire). *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 384, 121-126. <https://doi.org/10.5194/piahs-384-121-2021>
16. Das, B., Bordoloi, R., Thungon, L. T., Paul, A., Pandey, K. P., Mishra, M., & Tripathi O. P. (2020). An integrated approach of GIS, RUSLE and AHP to model soil erosion in West Kameng watershed. Arunachal Pradesh. *J. Earth Syst. Sci.* (2020) 129:94. <https://doi.org/10.1007/s12040-020-1356-6>
 17. Dawa, D. & Arjune, V. (2021). Identifying Potential Erosion-Prone Areas in the Indian Himalayan Region Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 18(1), 15-23. DOI : [10.3233/AJW210003](https://doi.org/10.3233/AJW210003)
 18. Déguy, J. P. A., N'Go, A. Y., Kouassi, H. K., Soro, E. G., & Goula, A. T. B. (2018). Contribution of a Geographical Information System to the Study of Soil Loss Dynamics in the Lobo Catchment (Côte d'Ivoire). *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 6(09). 183. doi: [10.4236/gep.2018.69014](https://doi.org/10.4236/gep.2018.69014).
 19. Desmet, P. J. J. & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*, 51(5), 427-433.
 20. Eblin, S. G., Yao, A. B., Anoh, K. A., & Soro, N. (2017). Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle aux risques d'érosion hydrique des sols de la région d'Adiaké. sud-est Côtier de la côte d'ivoire. *Revue Internationale des Sciences et Technologie*. 30. 197-216.
 21. EL Garouani, A., Chen, H., Lewis, L., Tribak, A., & Abharour, M. (2008). Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG IDRISI au nord-est du Maroc. Télédétection. Editions scientifiques GB. 8 (3), 193-201 pp.
 22. Ganasri, B. P. & Ramesh, H. (2016). Assessment of Soil Erosion by RUSLE Model Using Remote Sensing and GIS – A Case Study of Nethravathi. *Basin Geoscience Frontiers*, 7:953-961. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>
 23. Kayet, N., Pathak, K., Chakrabarty, A., & Sahoo, S. (2018). Evaluation of soil loss estimation using the RUSLE model and SCS-CN method in hillslope mining areas. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(1), 31-42. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.11.002>
 24. Karydas, C. G., Sekuloska, T., & Silleos, G. N. (2009). Quantification and site-specification of the support practice factor when mapping soil erosion risk associated with olive plantations in the Mediterranean island of Crete. *Environmental Monitoring and Assessment*, 149, 19-28. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0179-8>

25. Khanchoula, K., Selmi, K., & Benmarce, K. (2020). Assessment of soil erosion by RUSLE model in the Mellegue watershed, northeast of Algeria. *Environment and Ecosystem Science (EES)*, 4(1), 15-22. <http://doi.org/10.26480/ees.01.2020.15.22>
26. Khemiri, K. & Jebari, S. (2021). Évaluation de l'érosion hydrique dans des bassins versants de la zone semi-aride tunisienne avec les modèles RUSLE et MUSLE couplés à un Système d'information géographique. *Cah. Agric.* 30: 7. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020048>
27. Kilic, O. M. (2021). Effects of land use and land cover changes on soil erosion in semi-arid regions of Turkey; a case study in Almus Lake watershed. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 16(1), 129-138. DOI: [10.26471/cjees/2021/016/161](https://doi.org/10.26471/cjees/2021/016/161)
28. Kinnell, P. I. A. (2016). A review of the design and operation of runoff and soil loss plots. *Catena* 145 (2016) 257-265. [10.1016/j.catena.2016.06.013](https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.013). <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.013>
29. Koffi, E. S., Koffi, K. J. T., Perrin, J-L., Séguis, L., Guilliod, M., Goné, D. L., & Kamagaté, B. (2019). Hydrological and water quality assessment of the Aghien Lagoon hydrosystem (Abidjan. Côte d'Ivoire). *Hydrological Sciences Journal*, 64:15. 1893-1908. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1672875>
30. 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* 2 19. 19–3.
31. Koua, J. J. T., Anoh, A. K., Soro, D. T., Kouamé, J. K., & Jourda, R. J. P. (2019). Evaluation of Agricultural Practices Scenarios for Reducing Erosion in Buyo Lake Catchment (Sassandra; Côte d'Ivoire) by Use of GIS. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 7(7). 154-171. <https://doi.org/10.4236/gep.2019.77011>
32. Kouadio, B. H., Kouamé, K. F., Saley, B. M., & Biémi, J. (2007). Traoré Ibrahima|Insécurité climatique et géorisques en Côte d'Ivoire : étude du risque d'érosion hydrique des sols dans la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). *Sécheresse* vol. 18. n° 1 : 29-37.
33. Kouadio, Z. A. (2018). Spatial Analysis of Erosive Runoff in the Mé Watershed (Côte d'Ivoire). *Journal of Water Science and Environment Technologies*. 3(02). 376-382.
34. Kouassi, K. H., Koua, T. J. J., Zro, B. G. F., & N'Go, Y. A. (2020). Contribution of a Geographical Information System to the study of soil erosion by water in the watershed of the hydro-agricultural dam of

- Babadou (Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 28(2). 458-467.
35. Koukougnon, W. G., Brou, K. M., Silué, Y., & Della André, A. L. L. A. (2021). Korhogo à l'épreuve de l'érosion et ses conséquences (nord-Côte d'Ivoire). *International Journal of Humanities and Cultural Studies (IJHCS)* ISSN 2356-5926. 8(2). 37-50.
36. Markhi, A., Laftouhi, N-E., Soulaïmani, A., & Fnguire, F. (2015). Quantification et évaluation de l'érosion hydrique en utilisant le modèle RUSLE et déposition intégrée dans un SIG. Application dans le bassin versant n'fis dans le haut atlas de Marrakech (Maroc). *European Scientific Journal*, edition vol.11. No.29 ISSN: 1857-7881pp.
37. Maurya, S., Srivastava, P. K., Yaduvanshi, A., Anand, A., Petropoulos, G. P., Zhuo, L., & Mall, R. K. (2021). Soil erosion in future scenario using CMIP5 models and earth observation datasets. *Journal of Hydrology*, 594, 125851. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125851>
38. Mazouzi, K., El-Hmaïdi, A., Bouabid, R., & El-Faleh, E-M. (2021). Quantification de l'érosion hydrique par la méthode RUSLE au niveau du bassin versant de l'Oued Mikkès en amont du barrage Sidi Chahed (région de Meknès. Maroc). *European Scientific Journal*, ESJ. 17(14). 256. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n14p256>
39. Meliho, M., Khattabi, A., & Mhammdi, N. (2020). Spatial assessment of soil erosion risk by integrating remote sensing and GIS techniques: a case of Tensift watershed in Morocco. *Environmental Earth Sciences*, 79(10), 1-19. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-08955-y>
40. Meliho, M., Khattabi, A., Mhammdi, N., & Zhang, H. (2016). Cartographie des risques de l'érosion hydrique par l'Equation Universelle Revisee des Pertes en Sols, la teledetection et les SIG dans le bassin versant de l'ourika (Haut Atlas, Maroc), *Eur. Scient. J.*, 12, 32, <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n32p277>
41. N'Dri, W. K. C., Pistre, S., Jourda, J. P., & Kouamé, K. J. (2021). Application of a Deterministic Distributed Hydrological Model for Estimating Impact of Climate Change on Water Resources in Côte d'Ivoire Using RCP 4.5 and RCP 8.5 Scenarios: Case of the Aghien Lagoon. Dr. Mustafa Turkmen; Dr. Kwong Fai Andrew Lo. *International Research in Environment, Geography and Earth Science* Vol. 9, 9, Book Publisher International (a part of SCIENCEDOMAIN International), pp.129 - 153, 2021, 978-93-91215-91-0. [ff10.9734/bpi/ireges/v9/5512dff. fffal-03254861f](https://doi.org/10.9734/bpi/ireges/v9/5512dff. fffal-03254861f)
42. Nana, P. P. (2018). Du groupe à l'individu : dynamique de la gestion foncière en pays gouin (sud-ouest du Burkina Faso), Belgeo URL

- <http://journals.openedition.org/belgeo/21653> 6080;
<https://doi.org/10.4000/belgeo.26080>
43. N'Dri, B. É., Niamké, K. H., Koudou, A., & N'Go, Y. A. (2017). Cartographie des formes d'érosion hydrique dans la commune urbaine d'attécoubé (Abidjan. Côte d'Ivoire) /mapping of water erosion forms in the urban district of Attecoubé (Abidjan. Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 19(4). 960.
 44. Nut, N., Mihara, M., Jeong, J., Ngo, B., Sigua, G., Prasad, P. V., & Reyes, M. R. (2021). Land use and land cover changes and its impact on soil erosion in Stung Sangkae catchment of Cambodia. *Sustainability*, 13(16), 9276. <https://doi.org/10.3390/su13169276>
 45. Onyando, J. O., Kisoyan, P., & Chemelil, M. C. (2005). Estimation of potential soil erosion for river Perkerra catchment in Kenya; *Water Resour. Manag.* 19(2) 133–143. <https://doi.org/10.1007/s11269-005-2706-5>
 46. Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015a). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land use policy*, 48, 38-50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>
 47. Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., & Alewell, C. (2015b). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental science and policy*, 54, 438-447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
 48. Payet, E., Dumas, P., & Pennober, G. (2012). Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana. *VertigO: la revue électronique en sciences de l'environnement*, 11(3). <https://id.erudit.org/iderudit/1015047ar>
 49. Piyathilake, I. D. U. H., Sumudumali, R. G. I., Udayakumara, E. P. N., Ranaweera, L. V., Jayawardana, J. M. C. K., & Gunatilake, S. K. (2021). Modeling predictive assessment of soil erosion related hazards at the Uva province in Sri Lanka. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(3), 1947-1962. . <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00944-1>
 50. Renard, K. G. & Freimund, J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of hydrology*, 157(1-4), 287-306.
 51. Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1996). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture handbook*, 703, 25-28.
 52. Roose, E. J. & Lelong, F. (1976). Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique Tropicale. *Études sur petites parcelles expérimentales de sol.*

- Revue de géographie physique et de géologie dynamique. Vol. 18. Iss. 4 p. 365–374.
53. Roose, E. J. (1977). Use of the Universal Soil Loss Equation to Predict Erosion in West Africa. In *Soil erosion: Prediction and control*. Soil Conservation Society of America, Special Publication no. 21. Ankeny, Iowa.
54. Rougerie, G. (1958). Modalité du ruissellement sous forêt dense de Côte d'Ivoire. *CR Acad Sci Paris* ; 246 : 290-2.
55. Rougerie, G. (1960). Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière. Mémoire IFAN 58. Dakar : Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN).
56. Sbai, A., Mouadili, O., Hlal, M., Benrbia, K., Zahra Mazari, F., Bouabdallah, M., & Saidi, A. (2021). Water Erosion in the Moulouya Watershed and its Impact on Dams' Siltation (Eastern Morocco). *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 384, 127-131.
57. Songu, G. A., Abu, R. D., Temwa, N. M., Yiye S. T., Wahab, S., & Mohammed, B. G. (2021). Analysis of Soil Erodibility Factor for Hydrologic Processes in Kereke Watershed, North Central Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 25(3), 425-432. <https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v25i3.18>
58. Stone, R. P. & Hilborn, D. (2000). Universal Soil Loss Equation-Factsheet. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/00-001.htm>
59. Swarnkar, S., Malini, A., Tripathi, S., & Sinha, R. (2018). Assessment of uncertainties in soil erosion and sediment yield estimates at ungauged basins: an application to the Garra River basin, India. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2471-2485. <https://doi.org/10.5194/hess-22-2471-2018>
60. Tian, Y. C., Zhou, Y. M., Wu, B. F., & Zhou, W. F. (2009). Risk assessment of water soil erosion in upper basin of Miyun Reservoir, Beijing, China. *Environmental Geology*, 57, 937-942. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1376-z>
61. Toumi, S., Meddi, M., Mahé, G., & Brou, Y-T. (2013). Cartographie de l'érosion dans le bassin versant de l'Oued Mina en Algérie par télédétection et SIG. *Hydrological Sciences Journal*, 158. 01- 17. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.824088>.
62. Traoré, A., Soro, G., Kouadio, E. K., Bamba, B. S., Oga, M. S., Soro, N., & Biémi, J. (2012). Evaluation des paramètres physiques, chimiques et bactériologiques des eaux d'une lagune tropicale en période d'étiage : la lagune Aghien (Côte d'Ivoire). *International*

- Journal of Biological and Chemical Sciences*. 6(6). 7048-7058.
<http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.40>
63. Trimble (2010). eCognition® Developer 8.64.0 Reference Book. (Available at: <http://www.definiens.com/> . Access on may 11, 2015)
 64. Tsegaye, L. & Bharti, R. (2021). Soil erosion and sediment yield assessment using RUSLE and GIS-based approach in Anjeb watershed, Northwest Ethiopia. *SN Applied Sciences*, 3(5), 1-19. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04564-x>
 65. Vrieling, A. (2005). Satellite remote sensing for water erosion assessment. a review. *CATENA*. Vol. 65. Iss. 1 p. 2–18
 66. Wachal, D. J., Banks, K. E., Hudak, P. F., & Harmel, R. D. (2009). Modeling erosion and sediment control practices with RUSLE 2.0 : A management approach for natural gas well sites in Denton County. TX. USA. *Environmental geology*. 56(8). 1615-1627pp. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1259-3>
 67. Wischmeier, V. H. & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses- a guide to conservation planning. United States Department of Agriculture in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station. United States Department of Agriculture. Washington. Agriculture Handbook No. 282.
 68. Zhou, P., Luukkanen, O., Tokola, T., & Nieminen, J. (2008). Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed; *Catena* 75(3) 319–325pp. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.010>

Variabilité et tendances interannuelles du climat à l'échelle de la Côte d'Ivoire sur la période 1961-2016

Jean-Muller Kouao, Assistant

Bertrand Ouessé Tagnon, Assistant

Laboratoire Géosciences et Environnement, Unité de Formation et de Recherche (UFR) Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

Brenger Koffi, Assistant

Amani Michel Kouassi, Professeur Titulaire

Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques, Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi), Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB)

Kouamé Auguste Kouassi, Maître de Conférences

Droh Lanciné Gone, Professeur Titulaire

Laboratoire Géosciences et Environnement, Unité de Formation et de Recherche (UFR) Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p218](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p218)

Submitted: 28 September 2024

Accepted: 30 October 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Kouao J.M., Tagnon B.O., Koffi B., Kouassi A.M., Kouassi K.A. & Goné D.L.(2024). *Variabilité et tendances interannuelles du climat à l'échelle de la Côte d'Ivoire sur la période 1961-2016*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 218.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p218>

Résumé

L'objectif de ce travail est de caractériser la variabilité climatique de la Côte d'Ivoire, sur la période 1961-2016. L'étude s'est appuyée sur une base de données de pluies et de températures mensuelles enregistrées dans douze stations synoptiques réparties sur l'ensemble des régions climatiques de Côte d'Ivoire. Des méthodes statistiques basées sur les régressions linéaires et les tests statistiques de détection de rupture de Pettitt et de Hubert, ont permis d'analyser les tendances du climat et la persistance ou non des déficits pluviométriques à l'intérieur des zones climatiques de la Côte d'Ivoire. Particulièrement, les tests de Pettitt et de Hubert, ont été réalisées à partir de

quatre variables climatiques : températures minimales, températures maximales, températures annuelles et cumuls annuels de pluies. Dans l'ensemble, les résultats ont mis en évidence, d'importants changements dans les évolutions des pluies et des températures, avec respectivement, une tendance générale, à la baisse de 21% et à la hausse de 8%, sur toutes les zones climatiques. La modification de l'évolution climatique en Côte d'Ivoire, marquée par une récession pluviométrique, a été observée à partir de 1970. Dans cette tendance générale, à la baisse de la pluie et à la hausse de la température, il a été cependant noté, à la fin des années 2000 et surtout au cours de la décennie 2010, une reprise de la pluviométrie vers des années plus humides, dans certaines localités telles que Bouaké et Bondoukou, appartenant au climat équatorial de transition atténué (climat Baouléen).

Mots-clés: Variabilité climatique, baisse de pluies, hausse de températures, année de rupture, Côte d'Ivoire

Variability and Interannual Trends in Climate at the Scale of Cote d'Ivoire over the period 1961-2016

Jean-Muller Kouao, Assistant

Bertrand Ouessé Tagnon, Assistant

Geosciences and Environment Laboratory, Department of Sciences and Management of Environment, Nangui Abrogoua University, Abidjan, Côte d'Ivoire

Brenger Koffi, Assistant

Amani Michel Kouassi, Professeur Titulaire

Civil Engineering, Geosciences and Geographic Science Laboratory, Department of Earth Sciences and Mining Resources (STeRMi), Félix Houphouët-Boigny National Polytechnic Institute (INP-HB)

Kouamé Auguste Kouassi, Maître de Conférences

Droh Lanciné Goné, Professeur Titulaire

Geosciences and Environment Laboratory, Department of Sciences and Management of Environment, Nangui Abrogoua University, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

This work aims to characterize the climatic variability of Côte d'Ivoire, over the period 1961-2016. The study was based on a database of monthly rainfall and temperatures recorded in twelve synoptic stations spread across all the climatic zones of Côte d'Ivoire. Statistical methods based on linear regressions and statistical break detection tests of Pettitt and of Hubert

were used to analyze climate trends and the persistence or not of rainfall deficits within the climatic zones of Côte d'Ivoire. In particular, the Pettitt and Hubert tests were carried out using four climatic variables: minimum temperatures, maximum temperatures, annual temperatures, and annual cumulative rainfall. Overall, the results highlighted significant changes in rainfall and temperature trends, with a general trend of a 21 % decrease and an 8 % increase, respectively, in all climatic zones. The change in climate evolution in Côte d'Ivoire, marked by a rainfall recession, was observed from 1970. In this general trend of decreasing rainfall and increasing temperature, it was however noted, at the end of the 2000s and especially during the 2010s, a recovery in rainfall towards more humid years, in certain localities such as Bouaké and Bondoukou, belonging to the attenuated transitional equatorial climate (Baoulean climate).

Keywords: Climate variability, decrease in rainfall, increase in temperatures, break year, Côte d'Ivoire

Introduction

La variabilité et le changement climatique sont devenus une préoccupation majeure, partout à travers le monde, en raison de leurs impacts négatifs et durables, sur l'écologie et les systèmes socio-économiques. En Afrique de l'Ouest, plusieurs études (Ardoin *et al.*, 2003 ; Kouassi *et al.*, 2010 ; Mertz *et al.*, 2012 ; Descroix *et al.*, 2015 ; Kouassi *et al.*, 2017 ; Dibi-Anoh *et al.*, 2023 ; Boateng *et al.*, 2024 ; Créat *et al.*, 2024 ; Mohino *et al.*, 2024), se sont intéressées à la variabilité climatique et à ses impacts. De ces travaux, il ressort que cette région connaît une succession d'épisodes climatiques secs et pluvieux, ponctuée de périodes de sécheresses dont l'intensité et l'extension spatiale sont devenues exceptionnelles depuis 1970 (Kouassi *et al.*, 2017). Entre autres, les conséquences de ces épisodes climatiques sont : pénuries des ressources en eau potable, baisse des rendements agricoles, baisse de la production d'énergie, vagues d'inondation et migration des populations.

La Côte d'Ivoire à l'image des autres pays de l'Afrique de l'Ouest connaît des problèmes de variabilité climatique depuis la fin de la décennie 1960. La caractérisation de la variabilité climatique en Côte d'Ivoire a été menée à partir de plusieurs études et de plusieurs méthodes (indices pluviométriques ou indices de Nicholson, test de Pettitt et/ou de la procédure de segmentation de Hubert, migration spatiale des isohyètes, régressions linéaires, modalités de l'évolution des pluies, etc.) (Kouassi *et al.*, 2022). Il ressort de ces études que, globalement, la Côte d'Ivoire a enregistré des ruptures pluviométriques qui se sont signalées entre 1966 et 2000 et engendrée

des déficits de l'ordre de 21 % avec une hausse de la température comprise entre +1 et +1,6°C, sur la période 1960-2010 (Kouassi *et al.*, 2022).

L'économie de la Côte d'Ivoire est largement tributaire de l'agriculture pluviale. En effet, plus de 60 % de la population active dépend de cette activité qui constitue en moyenne plus de 22 % du PIB depuis 2012 et représente la principale source de revenu et d'emploi (MINADER, 2017). Cependant, cette agriculture est particulièrement vulnérable aux effets de la variabilité climatique. Assurément, les irrégularités annuelles et interannuelles de la pluviosité se traduisant par des saisons de pluies déficitaires (Brou, 2005), ont pour conséquences, les mauvaises récoltes. Aussi, les épisodes récurrents, de pluies abondantes, notées dans plusieurs localités de la Côte d'Ivoire, notamment, depuis les années 2010, concourent-elles également, non seulement, à de mauvaises récoltes, mais aussi, à des inondations. Ces dernières, sont responsables de pertes en vies humaines et de biens matériels. La persistance des impacts de la variabilité climatique, semble traduire la difficulté à cerner ce phénomène, surtout son évolution récente et actuelle. Cela est vrai, d'autant plus que, la plupart des travaux antérieurs portant sur la variabilité du climat, à l'échelle de la Côte d'Ivoire, s'est assez peu étendue au-delà de l'année 2005, voire 2010. C'est pourquoi l'actualisation des résultats antérieurs sur la variabilité climatique est un élément de connaissance nécessaire, tant pour évaluer les contraintes environnementales actuelles, que pour mieux prendre en compte ses impacts dans les processus de développement socio-économique. Une question pertinente est donc soulevée : quelle est l'évolution des précipitations et des températures en Côte d'Ivoire au cours des périodes récentes? Cette question sous-entend en premier lieu, l'analyse temporelle des précipitations et des températures, et en deuxième lieu, l'analyse de la persistance ou non de la sécheresse liée à l'évolution des précipitations et des températures. L'objectif de cette présente étude est de caractériser la variabilité climatique sur l'ensemble des zones climatiques du territoire ivoirien, sur la période de 1961 à 2016. Il apparaît, en effet, essentiel d'analyser la variabilité des conditions climatiques observées dans ce pays de l'Afrique de l'Ouest qui constitue une des zones d'intérêt, afin de proposer des stratégies d'adaptation pour réduire la vulnérabilité des populations, des cultures et des infrastructures, une fois les impacts majeurs des fluctuations climatiques sont appréhendés.

Matériel et méthodes

Présentation de la zone d'étude

La Côte d'Ivoire est un pays côtier de l'Afrique de l'Ouest, qui se situe entre les longitudes 2°30' et 8°30' Ouest et les latitudes 4°30' et 10°30' Nord (Figure 1). Ce pays qui s'étend sur une superficie de 322 462 km², est limité

au Sud, par l'océan atlantique. Les pays limitrophes sont : Libéria et Guinée, à l'Ouest ; Mali et Burkina Faso, au Nord et le Ghana, à l'Est.

Trois grands types de climat se côtoient en Côte d'Ivoire : le climat équatorial, le climat tropical et le climat de montagnes. Le climat équatorial dans le Sud est caractérisé par un fort taux d'humidité qui est de 82 % à Abidjan (Yao *et al.*, 2013), des températures qui tournent autour de 26 °C, et des précipitations abondantes qui atteignent à Abidjan, 1 675 mm et à Tabou, 1962 mm. Ce climat est constitué de deux saisons sèches et deux saisons humides (Kouakou *et al.*, 2017). Le climat tropical concerne principalement la partie nord du pays. Les températures annuelles tournent également autour de 26 °C, avec des amplitudes thermiques quotidiennes relativement importantes que celles du Sud. Le taux d'humidité, inférieur à celui du Sud du pays, est de 63 % à Korhogo (Yao *et al.*, 2013). La zone considérée est caractérisée par la présence intermittente entre les mois de décembre et février d'un vent frais et sec, l'harmattan. On y relève deux saisons : l'une sèche, et l'autre pluvieuse (Kouakou *et al.*, 2017). Les précipitations moyennes annuelles enregistrées sont généralement inférieures à 1300 mm et atteignent 1151 mm à Korhogo. Le climat de montagnes est localisé à l'Ouest du pays avec des hauteurs pluviométriques annuelles importantes qui atteignent 1984 mm à Danané. Ce climat se caractérise par deux saisons, une pluvieuse et une autre sèche (Kouakou *et al.*, 2017). Les températures annuelles tournent autour de 24°C. L'humidité relative est très forte tout au long de l'année, avec une valeur de 98 % à Man (Kouamé, 2011).

Les valeurs moyennes de température et de pluie, présentées dans cette section, concernent la période 1961-2016.

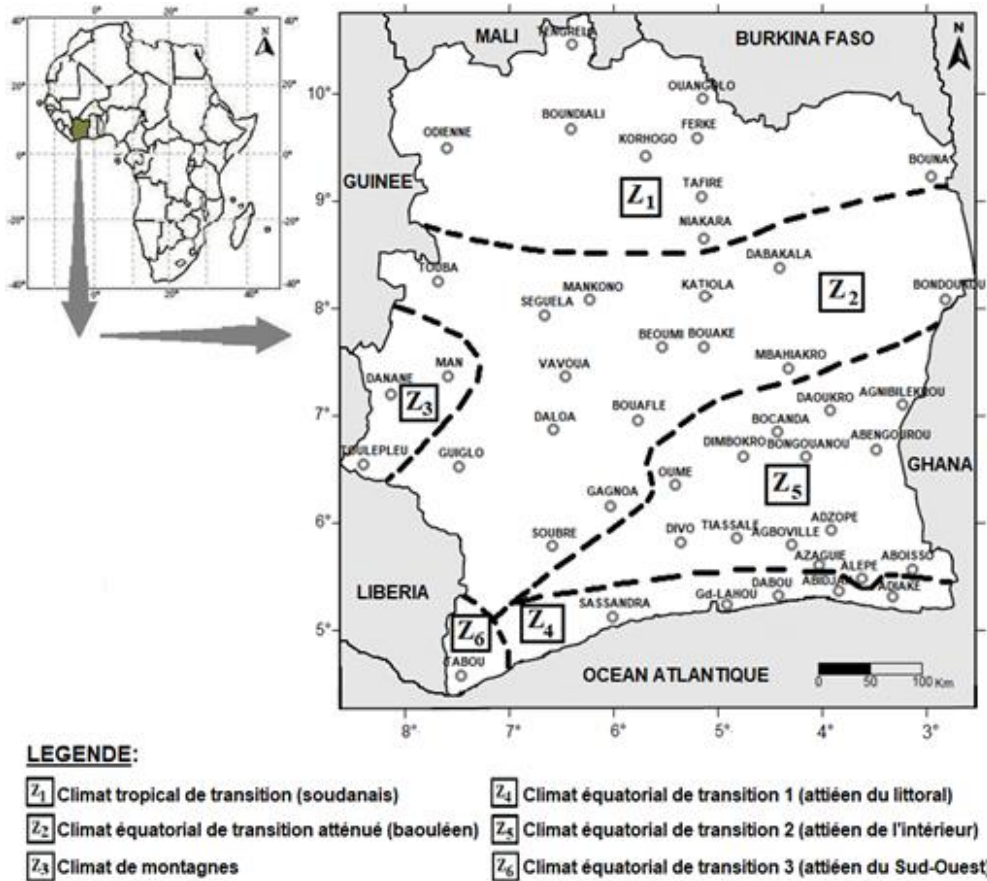


Figure 1 : Présentation de la Côte d'Ivoire et ses différentes régions climatiques (Kouao *et al.*, 2021)

Données de l'étude

Les données utilisées pour réaliser la présente étude sont issues du réseau national de mesures météorologiques de la Côte d'Ivoire. Les données de pluies et de températures mensuelles proviennent de douze stations synoptiques répartis sur tout le pays (Figure 2). Elles couvrent la période 1961-2016 et ont été mises à notre disposition par la Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM). Le choix des stations a été guidé par la disponibilité et la qualité des données chronologiques, et aussi en tenant compte du caractère représentatif de celles-ci, sur l'ensemble des régions climatiques de la Côte d'Ivoire. Des lacunes existent au sein des séries pluviométriques et thermométriques de certains postes. La constitution d'un vecteur régional ainsi que des données de pluie et de température issues de réanalyses (mises à notre disposition également par la SODEXAM) ont permis de reconstituer les données manquantes au sein des différentes séries chronologiques. La fiabilité et l'intérêt à utiliser des données

de réanalyses ont fait l'objet de nombreuses études, en Côte d'Ivoire, qui ont montré que ces données sont très bien corrélées à celles mesurées au sol (Koffi, 2007 ; Konaté, 2018). Un contrôle de la fiabilité des données après comblement a été effectué à partir d'une approche combinant la méthode des résidus (Djerbouai, 2016) et le test statistique de Buishand (Fossou *et al.*, 2014 ; Acharki *et al.*, 2019). Des valeurs aberrantes, identifiées au sein de certaines séries climatiques (Korhogo et Bondoukou pour la pluviométrie, Man pour la température), ont donc été reconstituées, permettant ainsi de disposer globalement, de chroniques de bonne qualité, sur la période 1961 - 2016.

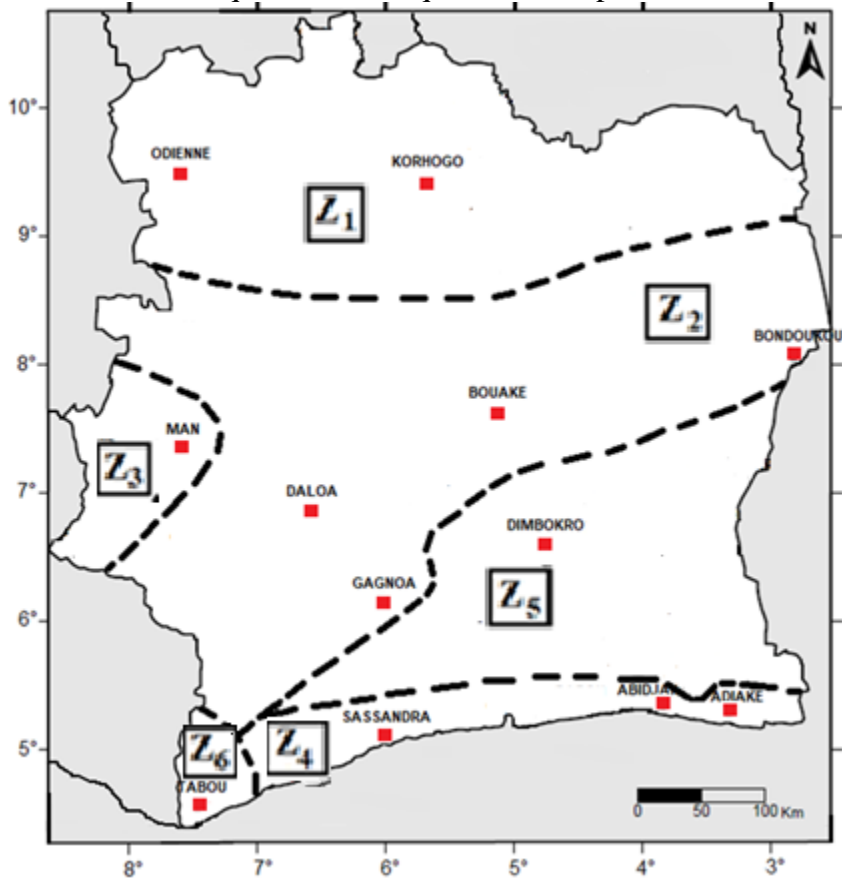


Figure 2 : Localisation des stations synoptiques retenues à l'intérieur de chacune des zones climatiques du territoire ivoirien (modifié de Kouao *et al.*, 2021)

L'étude a été réalisée au niveau des différentes zones climatiques définies, à savoir :

- Zone 1, le climat soudanais (climat tropical de transition), au Nord ;
- Zone 2, le climat baouléen (climat équatorial de transition atténué), au Centre ;
- Zone 3, le climat de Montagnes à l'Ouest ;

- Zone 4, le climat attién du littoral (climat équatorial de transition 1), au Sud ;
- Zone 5, le climat attién de l'intérieur (climat équatorial de transition 2), au Centre-Sud ;
- Zone 6, le climat attién du Sud-Ouest (climat équatorial de transition 3), au Sud-Ouest.

Méthodes utilisées

Cette analyse a été effectuée, sur la période 1961-2016, au niveau de l'ensemble des stations synoptiques retenues.

Analyse des tendances climatiques

L'analyse des tendances climatiques a concerné les valeurs annuelles de précipitations et de températures, au niveau de chaque station, à l'intérieur des zones climatiques.

Dans un premier temps, les apparitions des valeurs minimales et maximales de pluies et de températures annuelles, ont fait l'objet d'analyse. Dans un second temps, l'évolution de ces deux paramètres (pluie et température annuelles) a été abordée par la méthode de régression linéaire. Elle consiste en une représentation graphique d'une droite de régression de type affine qui présente l'évolution linéaire et permet de déceler la tendance (Amoussou, 2010 ; Taibi, 2011 ; Ibrahim, 2012 ; Kouakou *et al.*, 2012 ; Fayé *et al.*, 2015). L'équation de la droite de tendance est sous la forme (Equation 1) :

$$Y = ax + b \quad (\text{Eq.1})$$

où a est le coefficient directeur et représente la pente et b une constante.

Ainsi :

- si $a > 0$, la tendance du paramètre climatique étudié est à la hausse ;
- si $a < 0$, la tendance du paramètre climatique étudié est à la baisse.

Analyse de la stationnarité climatique

Des tests de rupture de stationnarité ont été utilisés pour déceler d'éventuels changements et déterminer la pertinence des tendances observées dans les différentes séries climatiques. Une rupture est un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées (Servat *et al.*, 1998).

Deux approches, à savoir, le test de Pettitt (1979) et la segmentation de Hubert *et al.* (1998), ont été retenues. Plusieurs travaux, dont ceux de Ahoussi *et al.* (2013), Kouassi *et al.* (2017) et Adja *et al.* (2019), ont utilisés ces deux tests de rupture, qui, selon Lubès-Niel *et al.* (1998), sont puissants et

robustes. Ces deux tests statistiques, utilisés de façon complémentaire, ont été appliqués aux minima et maxima annuels de températures ainsi qu'aux pluies annuelles. Ils ont permis par exemple, de tester la capacité des températures extrêmes à déceler des tendances climatiques. L'influence des ruptures révélées dans les séries de pluies et de températures est rendue par le calcul de l'écart de variation qui permet d'apprécier s'il s'agit d'un déficit ou d'un excédent noté (D). Cet écart D est évalué en appliquant la relation (Eq2) suivante :

$$D = \frac{X_j}{X_i} - 1 \quad (\text{Eq.2})$$

où X_j est la moyenne des variations du paramètre climatique après la rupture et X_i la moyenne des variations du paramètre climatique avant la rupture.

Les conditions d'analyse de l'écart de variation s'expriment comme suit :

- si $D > 0$; on a un excédent au niveau de la période après rupture ;
- si $D < 0$; on a un déficit au niveau de la période après rupture.

Lorsque les dates de ruptures, mises en évidence par les deux tests sont identiques, D est calculé à partir de la rupture. Si, au contraire, les dates de ruptures, mises en évidence par les deux tests, sont différentes, alors, le test de Pettitt, qui exprime, contrairement à la segmentation de Hubert, un changement brutal dans la série chronologique, est privilégié.

Résultats et interprétations

Tendances pluvio-thermiques

La figure 3 montre l'apparition des pluies et des températures annuelles minimales et maximales obtenues, sur la période de 1961 à 2016, au niveau des douze stations synoptiques.

Les précipitations annuelles minimales (PAMi) sont arrivées plus fréquemment (50 % des localités) entre 2001 et 2005 et concernent les localités situées au niveau des climats soudanais (zone 1) (Korhogo, Odienné), baouléen (zone 2) (Bouaké, Daloa, Gagnoa) et attiéen de l'intérieur (zone 5) (Dimbokro). Entre 2006 et 2009, 25 % des PAMi sont apparues et concernent les climats baouléen (Bondoukou), de montagnes (zone 3) (Man) et attiéen du littoral (zone 4) (Abidjan). Au niveau du climat attiéen du Sud-Ouest (zone 6) (Tabou) et des autres localités du climat attiéen du littoral (Sassandra, Adiaké), les valeurs minimales sont apparues souvent entre 2012 et 2013.

Les précipitations annuelles maximales (PAMa) sont observées à 92 %, entre 1962 et 1968 (donc avant 1970), sur l'ensemble du territoire ivoirien. Cependant, à la localité d'Odienné, au sein du climat soudanais, la PAMa a été observée en 1976 (donc après 1970).

Les températures annuelles minimales (TAMi) ont été notées à 50 %, en 1976 (après 1970), dans les localités situées au sein des climats soudanais

(Korhogo), attiéen de l'intérieur (Dimbokro), attiéen du Sud-Ouest (Tabou) et attiéen du littoral (Adiaké, Abidjan, Sassandra). En ce qui concerne le climat de montagnes (Man), la TAMi a été observée en 1975 (après 1970). Toutes les localités situées dans le climat baouléen (Bouaké, Bondoukou, Gagnoa, Daloa) ainsi que la localité d'Odienné (climat soudanais) font observer leurs TAMi, entre 1964 et 1967 (avant 1970).

Entre 2010 et 2014, 58 % des températures annuelles maximales (TAMa), ont été observées et concernent les climats soudanais (Korhogo, Odienné), baouléen (Bouaké, Bondoukou, Daloa), de montagnes (Man) et attiéen du littoral (Adiaké). Par contre, 25 % des TAMa ont été notées entre 2002 et 2005, dans les localités de Tabou, au sein du climat attiéen du Sud-Ouest et la majorité des localités du climat attiéen du littoral (Sassandra, Abidjan). Enfin, 17 % sont apparues en 1998, dans certaines localités, du climat baouléen (Gagnoa) et du climat attiéen de l'intérieur (Dimbokro).

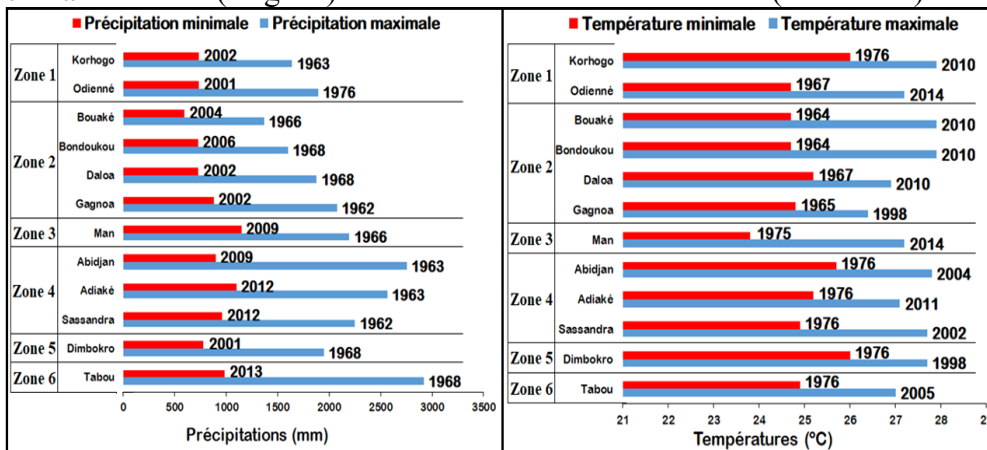


Figure 3 : Apparitions des précipitations et des températures minimales et maximales au sein des zones climatiques, sur la période 1961-2016

Il est constaté, dans l'ensemble et pour chaque paramètre climatique, que les années d'apparition des valeurs annuelles minimales ou maximales ne sont pas uniformes à l'intérieur des zones climatiques. Cela semble traduire un bouleversement climatique qui s'étend à l'ensemble du pays, sur la période de 1961 à 2016. Ce bouleversement dans l'évolution annuelle des pluies et des températures, comme le montre les exemples des figures 4 et 5, met en évidence deux phases par rapport à la moyenne interannuelle, au niveau de chaque paramètre climatique :

- une première phase généralement comprise entre 1961 et le milieu de la décennie 1980, qui apparaît comme une période moins chaude et de fortes pluviométries ;

- une deuxième phase qui se situe entre la fin de la décennie 1980 et 2016 et qui est une période relativement plus chaude et de faibles pluviométries.

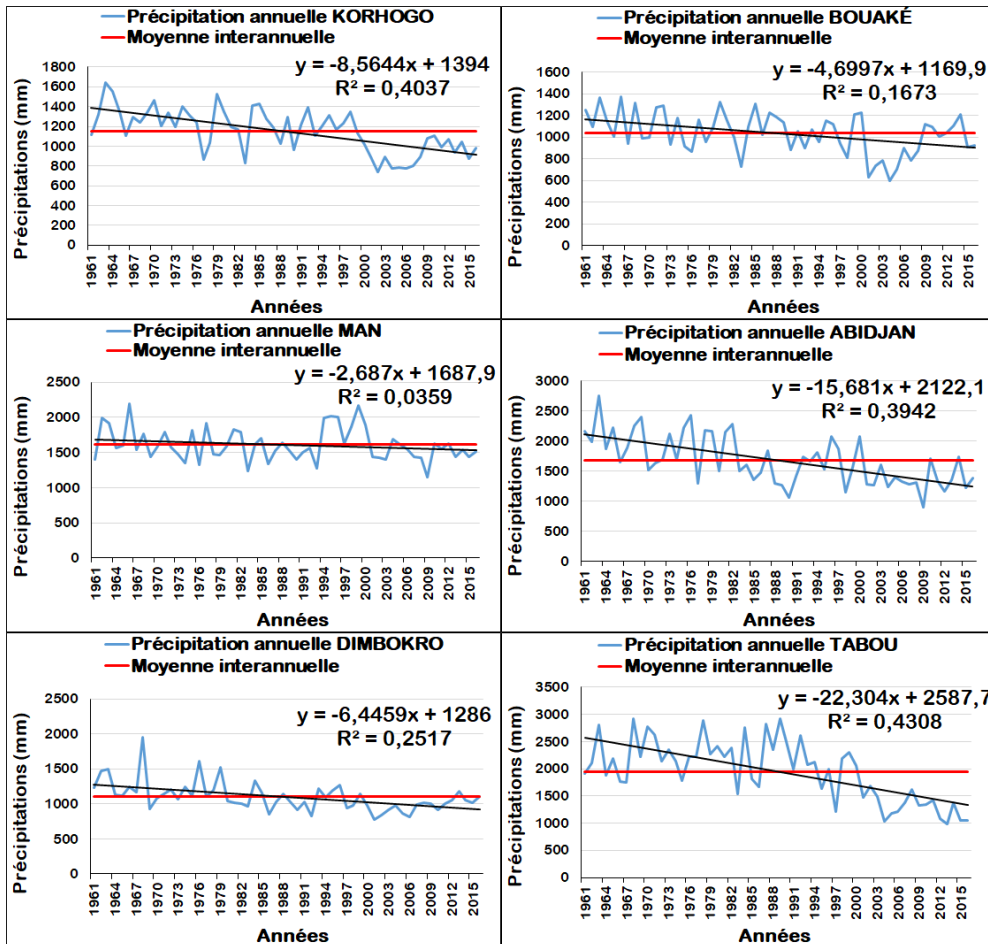


Figure 4 : Tendence à la baisse des précipitations annuelles au niveau des stations de Korhogo (Zone 1), Bouaké (Zone 2), Man (Zone 3), Abidjan (Zone 4), Dimbokro (Zone 5) et Tabou (Zone 6), sur la période 1961-2016

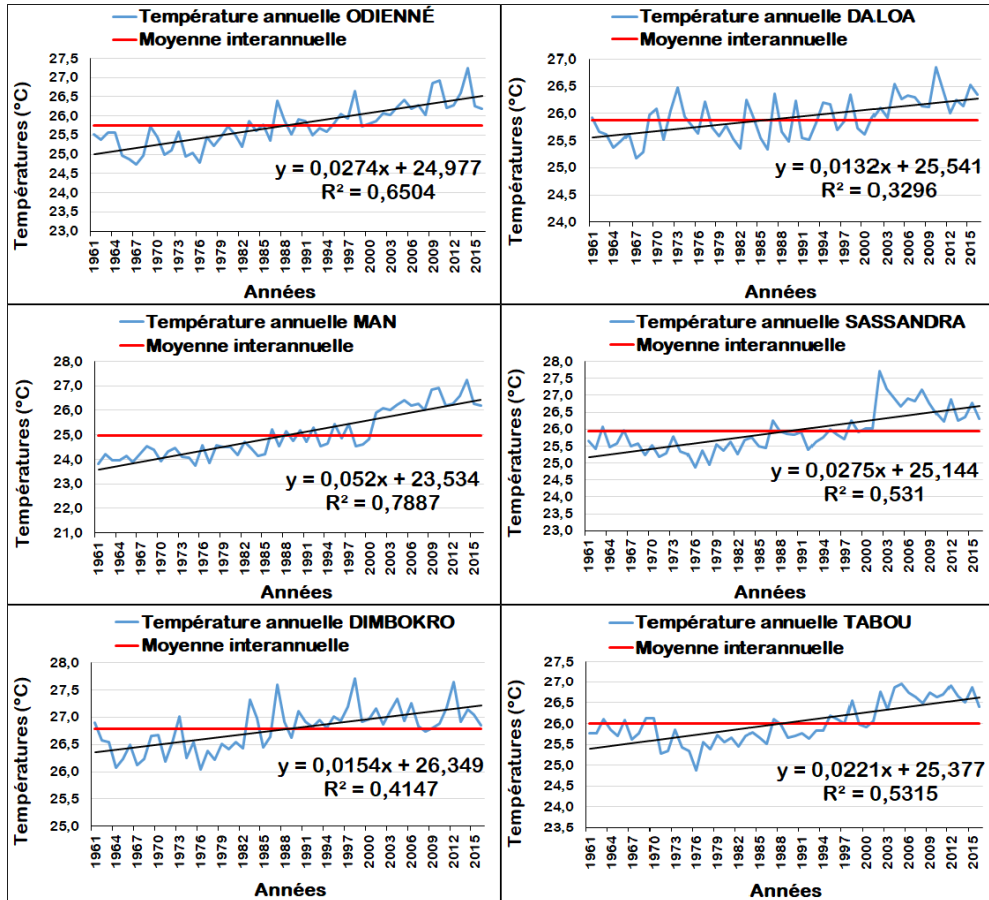


Figure 5 : Tendence à la hausse des températures annuelles au niveau des stations d’Odienné (Zone 1), Daloa (Zone 2), Man (Zone 3), Sassandra (Zone 4), Dimbokro (Zone 5) et Tabou (Zone 6), sur la période 1961-2016

La tendance des pluies et des températures est respectivement à la baisse et à la hausse pour toutes les localités au niveau de l’ensemble des zones climatiques étudiées (Figures 4 et 5). Ces tendances climatiques s’étendent sur quatre décennies (les décennies 70, 80, 90 et 2000). La baisse pluviométrique est accentuée au niveau des climats soudanais (Korhogo, Odienné), attién du Sud-Ouest (Tabou) et attién du littoral (Abidjan, Adiaké, Sassandra) avec des R² qui se situent entre 0,3 (Sassandra, climat attién du littoral) et 0,58 (Odienné, climat soudanais). La régression pluviométrique est relativement moins importante au niveau des climats baouléen (Bouaké, Bondoukou, Daloa, Gagnoa), de montagnes (Man) et attién de l’intérieur (Dimbokro) avec des R² qui fluctuent entre 0,03 (Man, climat de montagnes) et 0,29 (Daloa, climat baouléen). La régression constatée du cumul annuel des précipitations sur la période 1961-2016 est comprise entre -223 mm/décennie (Tabou, climat attién du Sud-Ouest) et -26 mm/décennie (Man, climat de montagnes), avec

une moyenne de -103 mm/décennie. Au niveau des températures, la progression de celles-ci est cependant prononcée sur l'ensemble des zones climatiques du territoire ivoirien avec des R^2 qui oscillent entre 0,32 (Daloa, climat baouléen) et 0,84 (Bouaké, climat baouléen), pour des hausses comprises entre +0,1°C/décennie (Daloa, climat baouléen ; Dimbokro, climat attiéen de l'intérieur) et +0,5°C/décennie (Bouaké, climat baouléen ; Man, climat de montagnes) avec une moyenne de 0,2°C/décennie sur la période 1961-2016.

Stationnarité des données climatiques

La pertinence des tendances observées, au niveau de l'ensemble des régions climatiques, sur la période 1961-2016 est marquée par des ruptures de stationnarité dans l'évolution des paramètres climatiques étudiés.

Les résultats des tests statistiques de Pettitt et de Hubert appliqués aux séries de températures extrêmes [température minimale (T_{min}) et température maximale (T_{max})] et aux cumuls pluviométriques annuels (Pan) de la période 1961-2016, sont présentés dans le tableau I. Les hypothèses du test de Pettitt sont rejetées aux seuils de probabilité (ou seuils de confiance) de 90 à 99 % et confirment la présence de ruptures significatives au sein des différentes séries des variables analysées.

Sur l'ensemble des régions climatiques, les deux tests permettent de déceler une période de rupture, globalement à la baisse, de la pluviométrie et à la hausse, de la thermométrie, située généralement entre 1970 et 2000 (Tableau I). Les premières ruptures ont été observées autour de l'année 1970, les secondes autour de l'année 1980 et les dernières autour de l'année 2000. Ces ruptures sont comprises majoritairement entre 1970 et 1989 au niveau des séries de T_{min} et T_{max} , et entre 1982 et 2000, pour ce qui concerne les séries de Pan. Cependant, des ruptures ont été détectées au sein des séries pluviométriques vers la fin de la décennie 2000 [2007 à Bondoukou et 2008 à Bouaké, climat baouléen (zone 2)] et au début de la décennie 2010 (2013 à Bondoukou, climat baouléen).

Tableau 1 : Déficits et excédents pluvio-thermiques observés dans les zones climatiques par rapport aux années de rupture des séries chronologiques, sur la période 1961-2016

STATIONS	T _{min}			T _{max}			P _{an}			
	T P	T H	D (%)	T P	T H	D (%)	T P	T H	D (%)	
Zone 1	Korhogo	1997*	-	+9,1	1982*	-	+8,3	1998***	1999	-25,7
	Odienné	1987*	-	-6,6	1982*	1983 1988	+11,2	1982***	1982 1993 2000	-29,8
Zone 2	Bouaké	1972*	-	+10,3	1976*	-	+16,8	1989**	2000 2008	-14
	Bondoukou	1996**	1989	+9,6	1989***	-	+21,2	2007*	2013	+27,6
	Daloa	1997*	1997	+3,8	1972*	-	+18,2	1989***	1979 2000	-19,8
Zone 3	Gagnoa	1983*	-	-4,9	1980*	-	+16,9	1995***	1964 1995	-15,5
	Man	1977*	-	+26,6	1973*	1997	+16,5	2000*	-	-8,1
Zone 4	Abidjan	1970*	1968	+24,3	1979**	1975	+20,7	1998***	1999	-22,8
	Adiaké	1987*	-	+25	1975*	-	+15,5	1984***	1970 1985	-28,4
Zone 5	Sassandra	1997*	1997	+4,1	1976*	-	+9,4	1979***	1964 1979	-25
	Dimbokro	1976*	-	+10,9	1976*	-	+17,1	1979***	1968	-15,6
Zone 6	Tabou	1970*	-	-10,2	1997*	-	-29,2	1994***	1994 2002	-36,2

-T P = Année de rupture selon le Test de Pettitt -T H = Année de rupture selon le Test de Hubert -D = Ecart de variation

-Les signes *, ** et *** signifient que la rupture est significative à 90, 95 et 99 %, respectivement, selon le résultat du test de Pettitt

Il est constaté une baisse générale des précipitations sur l'ensemble des zones climatiques de la Côte d'Ivoire, marquée par la rupture historique du début des années 1970 suivie des ruptures autour des années 1980 et 2000. Seule la station de Bondoukou (climat baouléen) présente un excédent pluviométrique (+27,61 %) (Tableau I). L'ensemble des stations affichent un excédent de températures minimales et maximales en dehors de celles des climats soudanais (zone 1) (Odienné : - 6,65 % au niveau des T_{min}), baouléen (Gagnoa : - 4,96 % au niveau des T_{min}) et attiéen du Sud-Ouest (zone 6) (Tabou : - 10,17 % et -29,18 % respectivement au niveau des T_{min} et des T_{max}) qui montrent un déficit de température (Tableau I). On note en moyenne, sur la période de 1961 à 2016, une baisse pluviométrique et une hausse thermométrique respectivement de 27,8 % et 5,5 %, au niveau du climat soudanais, de 5,4 % et 11,5 %, au niveau du climat baouléen et de 25,4 % et 16,5 %, au niveau du climat attiéen de l'intérieur (zone 5). Concernant les climats de montagnes (zone 3) et attiéen de l'intérieur (zone 5), la baisse pluviométrique et la hausse thermométrique est respectivement de 8,1 % et

21,5 % et de 15,6 % et 14 %. Pour le climat attiéen du Sud-Ouest, il est constaté plutôt une baisse au niveau des deux paramètres climatiques qui est de 36,2 % pour la pluviométrie et 19,7 % pour la température. Dans l'ensemble, les zones climatiques affichent un déficit pluviométrique moyen et un excédent thermométrique moyen respectivement de 21,2 % et 8,9 %.

Ces résultats montrent ainsi que la sécheresse amorcée depuis la fin des années 1960 continue de frapper l'ensemble des zones climatiques du territoire ivoirien.

Les précipitations annuelles ont évolué à la hausse globalement sur la période 2009-2016 au niveau de certaines localités du climat baouléen (Bouaké et Bondoukou). L'application du test de Hubert permet de déceler une période de rupture située entre 2000 et 2013 au niveau de ces localités (Tableau I). Les ruptures concernent l'année 2013 et les années 2000 et 2008 respectivement pour les localités de Bondoukou et de Bouaké qui enregistrent une reprise de la pluviométrie. Les périodes 2009-2016 et 2014-2016 correspondent à des périodes humides respectivement à Bouaké et à Bondoukou. Ces résultats montrent un retour de la pluviométrie, à la fin de la décennie 2000 et vers le milieu de la décennie 2010, qui semble avoir affecté seulement certaines localités situées au niveau du climat baouléen. Cette hausse pluviométrique est plus prononcée à Bouaké (39,8 %) qu'à Bondoukou (25,3%) où les pluies ont relativement tardé à se réinstaller. La reprise des pluies semble n'avoir pas été dans les mêmes proportions partout dans le climat baouléen.

En revanche, le test de Hubert décèle des points de rupture à Daloa (climat baouléen), en 2000, et à Odienné (climat soudanais), en 1993 et 2000 (Tableau I). Cela traduit des baisses respectives de 15,8 % et 35,7 % des pluies annuelles sur la période 2001-2016, dans ces localités. L'application de la méthode de segmentation de Hubert sur la série pluviométrique de Tabou (climat attiéen du Sud-Ouest) a détecté un point de rupture en 2002 (Tableau I), traduisant également une baisse pluviométrique de 31,1 % sur la période 2003-2016. Ces résultats traduisent un maintien de la sécheresse dans certaines localités au niveau des climats soudanais, baouléen et attiéen du Sud-Ouest.

Des ruptures synchrones ou quasi-synchrones entre les températures extrêmes (Tmin et Tmax) et les pluviométries (Pan) ont été décelées par les deux tests de détection de rupture, au niveau des stations de Korhogo et Odienné (climat soudanais), Adiaké et Sassandra (climat attiéen du littoral), Daloa (climat baouléen), Dimbokro (climat attiéen de l'intérieur) et Tabou (climat attiéen du Sud-Ouest) (soit 58% des stations) (Tableau I).

On considère que deux ruptures sont dites synchrones si elles se situent dans un intervalle de plus ou moins trois années. Les cas les plus marquants concernent les ruptures repérées par le test de Pettitt à la station de Dimbokro,

pour ce qui est des températures (Tmin, Tmax) et de la précipitation, à la station de Korhogo pour ce qui est de la température minimale et de la précipitation, et enfin les ruptures détectées par les deux tests à la station d'Odienné pour ce qui est de la température maximale et de la précipitation. Les résultats obtenus renseignent que les ruptures détectées par les tests statistiques au niveau des séries de températures extrêmes concordent globalement avec celles des pluies annuelles. Les températures extrêmes sont, de ce fait, capables de mettre en évidence, des tendances climatiques.

Discussion

Les évolutions pluies et températures ont connu d'importants changements entre 1961 et 2016, sur l'ensemble du territoire ivoirien. Ces changements, qui s'étendent sur quatre décennies (les décennies 70, 80, 90 et 2000), se traduisent par une chute de la pluviométrie et une hausse de la température. La baisse pluviométrique est accentuée au niveau des régions soudanaise, attiéen du littoral et attiéen du Sud-Ouest alors que l'augmentation de la température semble être amplifiée sur l'ensemble des régions climatiques. La chute des pluies et la hausse des températures sont en moyenne, respectivement de 103 mm/décennie et de 0,2°C/décennie sur l'ensemble des zones climatiques. Le bouleversement opéré est marqué par trois ruptures qui se situent autour des années 1970, 1980 et 2000. Ce changement s'est donc traduit par une baisse générale des précipitations et une élévation des températures extrêmes à partir de l'année 1970 sur l'ensemble des zones climatiques. L'amenuisement des précipitations a été accentué autour de l'année 1980. Ainsi, sur l'ensemble du pays, la modification interannuelle de la pluviométrie, sur la période partant de 1961 à 2016, s'organise grossièrement entre une période humide (1961-1970), marquée par une abondance pluviométrique et des années exceptionnellement humides et une période sèche (1971-2016), accentuée par des épisodes de sécheresses continues et sévères. Les résultats obtenus au cours de ce travail sont en accord avec les conclusions des travaux antérieurs réalisés sur les chroniques hydroclimatiques en Afrique de l'Ouest en général (Descroix *et al.*, 2015 ; Kaboré *et al.*, 2017) et sur le territoire ivoirien, en particulier (Goula *et al.*, 2006 ; Ahoussi *et al.*, 2013 ; Fossou *et al.*, 2014 ; Kouassi *et al.*, 2017 ; Soro *et al.*, 2017) qui ont montré une baisse significative de la pluviométrie, depuis la fin et le début des décennies 1960 et 1970, respectivement. Les déficits pluviométriques et les excédents de températures qui en ont résulté, en référence aux ruptures identifiées, tournent respectivement autour de 21 % et 8 % sur l'ensemble des zones climatiques. Ils sont, pour la pluviométrie, pratiquement de même ordre de grandeur que ceux obtenus en Afrique de l'Ouest qui sont en moyenne de 20 % (Ahoussi *et al.*, 2013 ; Kaboré *et al.*, 2017). En effet, les conclusions des travaux de Kouakou *et al.* (2012) réalisés

sur l'ensemble de la Côte d'Ivoire, pour des chroniques de pluie s'étendant globalement, entre 1920 et 2000, montrent un taux de baisse pluviométrique variant de 12 à 31 %. Ces auteurs montrent également que, l'augmentation de la température avoisine + 1° C sur la période 1960-2000, à l'échelle de la Côte d'Ivoire. Les travaux de Yao *et al.* (2013), effectués dans les quatre régions agroclimatiques de la Côte d'Ivoire, ont également révélé une baisse pluviométrique comprise entre 7,7 et 28,9 % globalement, sur la période 1940-2010 et une augmentation de la température de + 1,6° C, en moyenne, entre 1961 et 2010. Cette chute de la pluviométrie peut en effet s'expliquer par une dérégulation dans la migration saisonnière du Front Intertropical (FIT) vers le Nord (Fossou *et al.*, 2014). Ce déplacement du FIT dépend du contraste thermique entre les océans et le continent. Bigot *et al.* (2005) à travers leurs travaux montrent qu'une part importante de la baisse généralisée des précipitations ivoiriennes après 1970, est due à un réchauffement anormal des Températures de Surface de l'Océan (TSO) de l'Atlantique sud-ouest. La chute de la pluviométrie pourrait aussi s'expliquer par les activités humaines qui, vraisemblablement, sont une contribution dans l'accentuation de ce phénomène. Selon Brou (2005), la diminution de la pluviométrie dans le Sud de la Côte d'Ivoire, coïncide avec la déforestation et la mise en culture de cette zone. Cette dégradation et disparition de la forêt entraînent des modifications ou des perturbations dans le cycles hydrologique (Balliet, 2018). Cette étude a déterminé un regain de la pluviométrie dans certaines localités au sein du climat baouléen, depuis la fin des années 2000. Cela a été observé particulièrement, à Bouaké, durant la période 2009-2016 et à Bondoukou, sur la période 2014-2016. Cependant, les cumuls pluviométriques constatés, restent toujours inférieurs à ceux observés lors de la période humide de 1961 à 1970. La reprise des pluies est plus prononcée à Bouaké qu'à Bondoukou. Ces résultats sont en accord avec la plupart des travaux réalisés par des auteurs tels que Descroix *et al.* (2013), Bodian (2014) et Kaboré *et al.* (2017), en Afrique de l'Ouest et par N'da *et al.* (2016) et Kouassi *et al.* (2017), en Côte d'Ivoire. Ces auteurs ont également noté un retour de périodes humides, amorcées au cours des décennies 1990 et 2000. L'amélioration de la pluviométrie est due à une augmentation des événements pluvieux quotidiens de forte intensité (Ly *et al.*, 2013 ; Descroix *et al.*, 2013 ; Hangnon *et al.*, 2015 ; Bamba *et al.*, 2015 ; Kaboré *et al.*, 2017). Malgré ce regain de conditions humides, dans certaines localités, il est noté une persistance de périodes sèches dans d'autres, comme les baisses de 15,8 % et 35,7 % respectivement à Daloa (climat baouléen) et à Odienné (climat soudanais), sur la période 2001-2016 et la baisse de 31,1 % à Tabou (climat attiéen du Sud-Ouest), sur la période 2003-2016, révélant la forte variabilité spatiale de la pluviométrie annuelle sur l'ensemble du pays. Kaboré *et al.* (2017) et Kouassi *et al.* (2017) évoquent également et respectivement, une persistance de la sécheresse, au Centre-Nord

du Burkina Faso et dans le bassin versant du Bandama, en Côte d'Ivoire, globalement entre 2000 et 2015.

Conclusion

Cette étude a eu pour objectif de caractériser la variabilité climatique de la Côte d'Ivoire entre 1961 et 2016. Sur l'ensemble des zones climatiques, les régimes de pluies et de températures ont connu d'importants changements dans leurs évolutions avec une tendance générale respectivement à la baisse et à la hausse entre 1961 et 2016. Le pays a connu un changement dans son régime climatique à partir de l'année 1970. Les déficits pluviométriques et les excédents de température, qui en ont résulté, tournent respectivement autour de 21 % et 8 % sur l'ensemble des zones. L'étude a permis de constater que la baisse pluviométrique est accentuée au niveau des climats soudanais, attiéen du littoral et attiéen du Sud-Ouest alors que la croissance de la température semble être amplifiée sur l'ensemble des zones climatiques. La fin des années 2000 et surtout la décennie 2010 marque une reprise de la pluviométrie vers des années plus humides dans certaines localités, au niveau du climat baouléen (Bouaké et Bondoukou). Malgré cette tendance à l'augmentation de la pluviométrie, dans certaines localités, il est noté une persistance des déficits pluviométriques dans d'autres, telles que Daloa (climat baouléen) et Odienné (climat soudanais) depuis l'année 2001 et Tabou (climat attiéen du Sud-Ouest) depuis l'année 2003.

Remerciements

Les auteurs de cet article adressent leur sincère remerciement aux instructeurs dont les critiques et les suggestions ont énormément amélioré le présent article. Aussi, expriment-ils également leur reconnaissance à la Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM), pour la mise à disposition des données de pluie et de température utilisées dans cette étude.

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

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

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

References:

1. Acharki, S., Amharref, M., Rachid, E., H., & Bernoussi, A. (2019). Évaluation par approche statistique de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau : application au périmètre du Gharb (Maroc). *Revue des Sciences de l'Eau*, 32 (3), 291-315.
2. Adja, M.G., Djemin, E.J., N'dri, O.F.A., Tohouri, P., Kouamé, K.J., & Jourda, J.P. (2019). Apport de l'Analyse Hydrologique et de la Modélisation de la Relation Pluie-Débit dans le Suivi Quantitatif des Ressources en Eau dans un Contexte de Variabilité Climatique : Cas du Sous-Bassin Versant du Kouto (Nord de la Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 154 (2), 192-212.
3. Ahoussi, K. E., Koffi, Y. B., Kouassi, A. M., Soro, G., Soro, N., & Biémi, J. (2013). Étude de la variabilité hydroclimatique et de ses conséquences sur les ressources en eau du Sud forestier et agricole de la Côte d'Ivoire : cas de la région d'Abidjan-Agboville. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 1 (6), 30-50.
4. Amoussou, E. (2010). Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassinversant du complexe fluvial lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest) These de Doctorat, Université de Bourgogne, 313 p.
5. Ardoin, S., Lubès-Niel, H., Servat, E., Dezetter, A., & Boyer J-F. (2003). Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest : caractérisation de la situation de la décennie 1990. Hydrology and Mediterranean and semiarid regions. Proceedings of an international symposium held at Montpellier, *IAHS Publ.*, 278, 223-228.
6. Balliet, R. (2018). Impacts du changement climatique et de la pression anthropique sur l'environnement naturel et humain dans la région du gôh (centre-ouest de la côte d'ivoire) : analyse de mesures d'adaptation endogène. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 201 p.
7. Bamba A., Dieppois, B., Konaré, A., Péllarin, T., Balogun, A., Dessay, N., Kamagaté, B., Savané, I., & Diedhiou, A. (2015). Changes in vegetation and rainfall over West Africa during the last three decades (1981-2010). *Atmospheric and climate Sciences*, 5, 367-379.
8. Bigot, S., Brou, Y. T., Oszwaid, J., & Diedhiou, A. (2005). Facteurs de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales. *Sécheresse*, 16 (1), 5-13.
9. Boateng, D., Aryee, J. N. A., Baidu, M., Arthur, F., & Mutz, S. G. (2024). West African Monsoon dynamics and its control on the stable oxygen isotopic composition of precipitation in the Late Cenozoic.

- Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 129 (10).
<https://doi.org/10.1029/2024JD040748>
10. Bodian, A. (2014). Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Revue Physio-Géo*, 8 (1), 297-312.
 11. Brou, Y.T. (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire, Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des sciences et technologies de Lille, France, 226p.
 12. Créat, J., Harrison, S.P., Braconnot, P., d'Agostino, R., Jungclaus, J., Lohmann, G., Shi, X., & Marti, O. (2024). Orbitally forced and internal changes in West African rainfall interannual-to-decadal variability for the last 6000 years. *Clim Dyn.* 62, 2301-2316.
<https://doi.org/10.1007/s00382-023-07023-y>
 13. Descroix, L., Diongue, N. A., Dacosta, H., Panthou, G., Quantin, G., & Diedhiou, A. (2013). Evolution des pluies de cumul élevé et recrudescence des crues depuis 1951 dans le bassin du Niger Moyen (Sahel). *Climatologie*, 10, 37-49.
 14. Descroix, L., Diongue, N. A., Panthou, G., Bodian, A., Sané, Y., Dacosta, H., Malam, A. M., Vandervaere, J.-P., & Quantin, G. (2015). Evolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest à travers deux régions : La SénéGambie et le bassin du Niger Moyen. *Climatologie*, 12, 25-43.
 15. Dibi-Anoh, P.A., Koné, M., Gerdener, H., Kusche, J., & N'Da, C.K. (2023). Hydrometeorological Extreme Events in West Africa: Droughts. *Surv. Geophys*, 44, 173–195.
<https://doi.org/10.1007/s10712-022-09748-7>
 16. Djerbouai, S. (2016). Méthodes de l'intelligence artificielle pour la prévision des sécheresses. Thèse de Doctorat, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Algérie, 141p.
 17. Faye, C., Sow, A.A., & Ndong, J.B. (2015). Étude des sécheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sécheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. *Physio-Géo.*, 9, 17-35.
 18. Fossou, R. M. N., Lasm, T., Soro, N., Soro, T., Soro, G., DE Lasme, O., Z., Baka, D., Onétie, O.Z., & Orou R. (2014). Variabilité climatique et son impact sur les ressources en eaux souterraines : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro au Centre-Est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest), *Larhyss Journal*, N°21, 87-110.
 19. Goula B.T.A., Savané I., Konan B., Fadika V., & Kouadio G.B. (2006). Etude comparative de l'impact de la variabilité climatique sur

- les ressources en eau des bassins du N'zo et du N'zi en Côte d'Ivoire. *Vertigo*, 7 (1), 1-12.
20. Hangnon, H., De Longueville, F., & Ozer, P. (2015). Précipitations 'Extrêmes' et inondations à Ouagadougou : Quand le développement urbain est mal maîtrisé. XXVIII^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, 497-502.
 21. Hubert, P., Servat, E., Paturel, J.E., Kouamé, B., Bendjoudi, H., Carbonnel, J. P., & Lubès-Niel, H. (1998). La procédure de segmentation, dix ans après. *IAHS*, n°252, pp.267-273.
 22. Ibrahim, B. (2012). Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI), 245p.
 23. Kaboré, P. N., Ouedraogo A., Sanon M., Yaka, P., & Somé, L. (2017). Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du centre-nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015. *Climatologie*, 14, 82-95.
 24. Koffi, Y. B. (2007). Modélisation pluie-débit en région tropicale humide : application des réseaux de neurones sur quatre stations hydrométriques du Bandama Blanc (Bada, Marabadiassa, Tortiya et Bou) situées au Nord de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 219p.
 25. Konaté, L. (2018). Contribution des indices climatiques et des modèles de pluies à la surveillance et prévention des inondations pluviales en milieu urbain : cas du district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Côte d'Ivoire, 199p.
 26. Kouakou, K. E., Kouadio, Z. A., Kouassi, F. W., Goula, B. T. A., & Savané, I. (2014). Modélisation de la température et de la pluviométrie dans un contexte de changement climatique : cas de l'Afrique de l'Ouest. *Revue Afrique Science*, 10 (1), 145-160.
 27. Kouakou, K. E., Moussa, H., Kouassi, A. M., Goula, B. T. A., & Savané, I. (2017). Redefinition of homogeneous climatic zones in Cote d'Ivoire in a context of climate change. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8 (11), 453-462.
 28. Kouakou, K.E., Goula, B.T.A., & Kouassi, A.M. (2012). Analyze of climate variability and change impacts on hydro-climate parameters: case study of Côte d'Ivoire. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, N°3, 1-8.
 29. Kouamé, K.F. (2011). Influence de la variabilité climatique et de la dégradation environnementale sur le fonctionnement de l'hydrosystème du N'zo dans la région guinéenne et semi-montagnaise de la Côte d'Ivoire. Contribution de la télédétection, des

- systèmes d'Informations Géographiques et du modèle hydrologique HYDROTEL. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Cocody, Côte d'Ivoire, 379 p.
30. Kouao, J.-M., Kouassi, A. M., Koudou, A., & Gbola, A. C. F. (2021). Apport des indices climatiques à la redéfinition de la régionalisation climatique de la Côte d'Ivoire dans un contexte de climat changeant. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol.34, N°1, 102-114.
 31. Kouassi, A., Assamoi, P., Bigot, S., Diawara, A, Schayes, G., Yoroba, F., & Kouassi, B. (2010). Étude du climat Ouest-Africain à l'aide du modèle atmosphérique régional M.A.R., *Climatologie*, 7, 39-55.
 32. Kouassi, A. M., Kouao, J.-M., & Kouakou, K. E. (2022). Caractérisation intra-annuelle de la variabilité climatique en Côte d'Ivoire. *Bulletin de l'association de géographes français*, 99 (2), 289-306.
 33. Kouassi, A.M., Assoko, A.V.S., Djé, K.B., Kouakou, K.E., Kouamé, K.F., & Biémi, J. (2017). Analysis of the persistence of drought in West Africa: Characterization of the recent climate variability in Ivory Coast. *Environmental and Water Sciences, Public Health & Territorial Intelligence*, 1 (2), 47-59.
 34. Lubès-Niel, H., Masson, J.M., Paturel, J.E., & Servat, E. (1998). Variabilité climatique et statistique. Etude par simulation de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chronique. *Revue des sciences de l'eau*, N° 3, 383-408.
 35. Ly M., Traoré, S. B., Alhassane, A., & Sarr B. (2013). Evolution of some observed climate extremes in the west African Sahel. *Weather and Climate Extremes*, 1, 19-25.
 36. Mertz, O., D'haen, S., Maiga, A., Moussa, I.B., Barbier, B., Diouf, A., Diallo, D., Dapola Da, D.E., & Dabi, D. (2012). Climate Variability and Environmental Stress in the Sudan-Sahel Zone of West Africa, *Ambio*, 41 (4), 380-392.
 37. MINADER (2017). Synthèse des volumes du Recensement des Exploitants et Exploitations Agricoles (REEA) 2015/2016. Rapport provisoire, Vol.1, 52p.
 38. Mohino, E., Monerie, P.-A., Mignot, J., Diakhaté, M., Donat, M., Roberts, C. D., & Doblas-Reyes, F. (2024). Impact of Atlantic multidecadal variability on rainfall intensity distribution and timing of the West African monsoon. *Earth Syst. Dynam.*, (15), 15-40. <https://doi.org/10.5194/esd-15-15-2024>
 39. N'da, K.C., Dibi-Kangah, P., Djibril, D.N., Djé, K.B., & Zueli, K.B. (2016). Changements climatiques : quelques aspects de la variabilité climatique dans le bassin versant du Bandama en Côte d'Ivoire. *Revue*

des Sciences Sociales-Programme d'Appuis Stratégique à la Recherche Scientifique (RSS-PASRES), 86-104.

40. Servat, E., Paturel, J. E., Kouamé, B., Travaglio, M., Ouégraogo, M., Boyer J. F., Lubès-Niel, H., Fritsch J. M., Masson, J.M., & Marieu, B. (1998). Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et centrale. *IAHS Publication*, N°252, 323-337.
41. Soro, G., Ahoussi K.E., Traoré, A., & Soro, N. (2017). Impacts de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le « V » Baoulé (centre de la Côte d'Ivoire) au cours de la période 1966-2000 sur les ressources en eau. *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement*, 2 (3), 7-10.
42. Taibi, S. (2011). Analyse du régime climatique au Nord de l'Algérie. Mémoire de MAGISTER EN Agronomie, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie El Harrach Alger, 149 p.
43. Yao, N. R., Oulé, A. F., & N'goran, K. D. (2013). Etude de vulnérabilité du secteur agricole face aux changements climatiques en Côte d'Ivoire. Rapport final, 92 p.

Influence des facteurs abiotiques sur la biodiversité des macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Mgbaba dans le département de la Lékié (région du Centre Cameroun)

Mbassi Mvogo Alfred

Ngangoué Deutchoua Arthur

Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement,
Facultés des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun

Yogback Gertrude Estelle

Institut National de Cartographie, Ministère de la Recherche Scientifique et
de l'Innovation, direction de la recherche, laboratoire des risques naturels,
Yaounde, Cameroon

Ajeagah Gideon Aghaindum

Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement,
Facultés des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p241](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p241)

Submitted: 16 October 2024

Accepted: 18 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Mbassi Mvogo A., Ngangoué D.A., Yogback G.E. & Ajeagah G.A. (2024). *Influence des facteurs abiotiques sur la biodiversité des macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Mgbaba dans le département de la Lékié (région du Centre Cameroun)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 241. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p241>

Résumé

Une étude a été menée afin de déterminer l'influence de certains paramètres abiotiques sur la biodiversité des macroinvertébrés benthiques du Mgbaba, cours d'eau situé dans le département de la Lékié. Cette étude s'est faite sur 3 stations d'échantillonnage notées Mgbaba 1 (MG 1), Mgbaba 2 (MG 2) et Mgbaba 3 (MG 3) situées respectivement sur le crénon, le rithron et le potamon, suivant une fréquence saisonnière d'échantillonnage, au cours de la période allant de juillet 2022 à mai 2023. Les analyses physicochimiques et biologiques ont été réalisées au Laboratoire d'hydrobiologie et Environnement de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I, suivant les méthodes classiques. Les paramètres physicochimiques ont été mesurés à la fois sur le terrain et au laboratoire suivant les recommandations de APHA (1998) et Rodier *et al.* (2009). Pour les mesures effectuées au

laboratoire, les échantillons d'eau ont été prélevés sur le terrain et transportés en enceinte réfrigérée au laboratoire. Concernant l'échantillonnage des macroinvertébrés, il a été fait suivant l'approche multi-habitat en utilisant un troubleau de forme carrée de 30 cm de côté, muni d'un filet conique de 400 μm d'ouverture de maille et de 50 cm de profondeur selon les directives de Moisan *et al.* (2008). Les organismes retenus par les mailles du troubleau ont été collectés à l'aide de pinces fines, puis introduits délicatement dans des piluliers contenant une solution de formol 10%. Au laboratoire, les organismes ont été rincés à l'eau courante puis identifiés jusqu'au plus petit rang taxonomique possible grâce aux clés et ouvrages appropriés. Les analyses physicochimiques ont révélé que les eaux du cours d'eau Mgbaba sont neutres ($\text{pH} = 7,08 \pm 0,07$), assez colorées (Couleur = $94,20 \pm 23,18\text{Pt-Co}$) avec une température moyenne ($T = 23,29 \pm 0,39^\circ\text{C}$). Elles sont également moyennement oxygénées ($\text{O}_2 = 78,6 \pm 3,55\%$), peu chargées en matières en suspension (MES = 18,75 mg/L), en Nitrates ($\text{NO}_3^- = 1,1 \pm 0,36\text{ mg/L}$), en Ammonium ($\text{NH}_4^+ = 0,47 \pm 0,01\text{ mg/L}$) et en Orthophosphates ($\text{PO}_4^- = 0,6 \pm 0,15\text{ mg/L}$) avec une IPO de $3,05 \pm 0,35$. Concernant la biologie, 1152 individus ont été récoltés appartenant à 2 embranchements, 3 classes, 10 ordres, 36 familles et 62 genres. La station Mgbaba 2 (MG 2) prédomine avec 423 individus (soit 36,71% d'abondance relative) suivie de la station Mgbaba 3 avec 417 individus (soit 36,19% d'abondance relative) et enfin la station Mgbaba 1 avec 312 individus (soit 27,08% d'abondance relative). Les familles telles celles des Thiaridae, des Gomphidae, des Macromiidae et des Coenagrionidae sont positivement et significativement corrélées à l'oxygène dissous tandis que celles des Bythinidae et des Belostomidae le sont avec l'ammonium. D'une manière générale, les variables physicochimiques et biologiques révèlent que les eaux du cours d'eau Mgbaba sont dans la gamme de bonne qualité écologique. En effet, la faible activité anthropique dans le bassin versant aurait entraîné la diversification d'habitats et la disponibilité des ressources avec une augmentation des abondances et de la diversité des macroinvertébrés benthiques.

Mots-clés: Biodiversité, Macroinvertébrés benthiques, physicochimiques, qualité écologique, influence, facteur abiotiques, cours d'eau

Influence of abiotic factors on the biodiversity of benthic macroinvertebrates in the Mgbaba stream in the Lékié department (Central Cameroon region)

Mbassi Mvogo Alfred

Ngangoué Deutchoua Arthur

Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement,
Facultés des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun

Yogback Gertrude Estelle

Institut National de Cartographie, Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation, direction de la recherche, laboratoire des risques naturels, Yaounde, Cameroon

Ajeagah Gideon Aghaindum

Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement,
Facultés des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun

Abstract

A study was carried out to determine the influence of certain abiotic parameters on the biodiversity of benthic macroinvertebrates in the Mgbaba River in the Lékié department. This study was carried out at 3 sampling stations, Mgbaba 1 (MG 1), Mgbaba 2 (MG 2), and Mgbaba 3 (MG 3), located respectively on the crénon, Rhithron, and Potamon rivers, following a seasonal sampling frequency, over the period from July 2022 to May 2023. Physicochemical and biological analyses were carried out at the Hydrobiology and Environment Laboratory, Faculty of Science, University of Yaoundé I, using conventional methods. Physicochemical parameters were measured both in the field and in the laboratory, following the recommendations of APHA (1998) and Rodier *et al.* (2009). For laboratory measurements, water samples were taken in the field and transported to the laboratory in a refrigerated chamber. Macroinvertebrate sampling was carried out according to the multi-habitat approach, using a 30 cm square streamer fitted with a 400 µm conical mesh and 50 cm deep, following the guidelines of Moisan *et al.* (2008). Organisms trapped in the net were collected using fine forceps, and then gently placed in pillboxes containing a 10% formalin solution. In the laboratory, organisms were rinsed with running water and then identified down to the lowest possible taxonomic rank using appropriate keys and literature. Physicochemical analyses revealed that the waters of the Mgbaba stream are neutral (pH = 7.08 ± 0.07), fairly colored (Color = 94.20 ± 23.18Pt-Co) with an average temperature (T = 23.29 ± 0, 39°C). They were also

moderately oxygenated ($O_2 = 78.6 \pm 3.55\%$), low in suspended solids ($SS = 18.75 \text{ mg/L}$), Nitrates ($NO_3^- = 1.1 \pm 0.36 \text{ mg/L}$), Ammonium ($NH_4^+ = 0.47 \pm 0.01 \text{ mg/L}$) and Orthophosphates ($PO_4^- = 0.6 \pm 0.15 \text{ mg/L}$), with an IPO of 3.05 ± 0.35 . In terms of biology, 1,152 individuals were collected, belonging to 2 phyla, 3 classes, 10 orders, 36 families, and 62 genera. The Mgbaba 2 (MG 2) station predominates with 423 individuals (36.71% relative abundance), followed by the Mgbaba 3 station with 417 individuals (36.19% relative abundance), and finally the Mgbaba 1 station with 312 individuals (27.08% relative abundance). Families such as Thiaridae, Gomphidae, Macromiidae, and Coenagrionidae were positively and significantly correlated with dissolved oxygen, while Bythinidae and Belostomidae were positively and significantly correlated with ammonium. Generally speaking, the physicochemical and biological variables reveal that the waters of the Mgbaba stream are of good ecological quality. In fact, the low level of anthropogenic activity in the watershed has led to habitat diversification and resource availability, with an increase in the abundance and diversity of benthic macroinvertebrates.

Keywords: Biodiversity, benthic macroinvertebrates, physicochemical, ecological quality, influence, abiotic factors, watercourses

Introduction

Selon Tampo *et al.* (2015), l'eau en tant que milieu de vie et matière est une ressource naturelle indispensable à la vie dans tout écosystème. Elle joue un rôle très important dans le développement socio-économique aussi bien au niveau local, régional que national. A cet effet, Abdelghani *et al.* (2020) affirment que les ressources en eau constituent une préoccupation majeure dans les pays à climats arides ou semi-arides comme elles sont absolument essentielles pour le développement des activités humaines, économiques et sociales. L'eau a la particularité d'être abondante mais paradoxalement, sa disponibilité n'est pas toujours conforme à sa qualité. Selon Sawadogo (2018), la préservation de la qualité de l'eau est un enjeu majeur pour la gestion durable de l'environnement mais également pour celle de la biodiversité. Bien qu'ils ne représentent qu'une petite fraction des compartiments aquatiques de la planète ; El-Amine (2015) affirme que les écosystèmes d'eau douce contiennent une diversité considérable et importante pour les études de conservation. A ce propos, Biram (2019) révèle que de nos jours, la préservation et la gestion des hydrosystèmes apparaissent être une préoccupation majeure et un défi certain pour le maintien de la vie sur terre et craint que l'eau douce ne devienne comme le pétrole, une denrée pécuniaire rare, source de conflits pouvant engendrer des guerres. La dégradation des ressources en eau sous l'effet des rejets bruts pollués, peuvent non seulement

détériorer gravement l'environnement mais aussi entrainer des risques de pénurie, à cet effet, Babou (2018) souligne qu'il est nécessaire de traiter ces eaux usées avant leur évacuation dans les milieux récepteurs.

En Afrique en général et au Cameroun en particulier, quelques études ont été menées sur la biodiversité des macroinvertébrés benthiques dans les milieux lotiques et lenticques. Il s'agit des travaux de Foto *et al.* (2012) et de Ajeagah *et al.* (2018) dans les cours d'eau urbains de Yaoundé ; de Mbassi (2020) dans le cours d'eau périurbain de la région du Centre Cameroun ; de Mboyé (2019) dans les cours d'eau forestiers du bassin de la Mabounié ; de Tchakonté (2016) dans les cours d'eau urbains et forestiers de la région du Littoral ; de Yockback *et al.* (2018) dans les cours d'eau périurbains de la région de l'Est ; de Kengne (2018) dans quelques cours d'eau urbains et périurbains de la région de l'Ouest ; de Gwos *et al.* (2022) dans les cours d'eau forestiers de la région de l'Est et ceux de Messoé *et al.* (2023) dans les cours d'eau forestiers de la région du Sud. Toutefois, la communauté des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau forestiers du département de la Lékié reste peu connue d'où l'intérêt de cette étude qui a pour objectif de contribuer à la connaissance de la faune macrobenthique qui peuplent le cours d'eau Mbagba dans la Lékié-Ouest. Il s'agit d'évaluer les variations spatiales et saisonnières de la qualité des eaux à partir des variables physicochimiques ; ensuite d'identifier et inventorier les différents taxa de macroinvertébrés benthiques qui colonisent ce plan d'eau et enfin de montrer s'il existe des corrélations entre les variables physicochimiques et biologiques. Ce travail réalisé pour la première fois sur le cours d'eau Mgbaba avait pour but de déterminer l'influence des facteurs abiotiques sur la biodiversité des macroinvertébrés benthiques.

Matériels et méthodes

Cadre géographique d'étude

D'après les études de Messi (2015), La Commune de Monatéle se localise dans le département de la Lékié, région du Centre au Cameroun. Elle se situe entre le 4°10' 4°15" de latitude Nord et le 11°45'11°65"de longitude Est. Elle se limite au Nord par l'arrondissement d'Ebebda, au Nord-est par celui de Sa'a, à l'Est par Obala, au Sud-ouest par Evodoula et le département du Nyong-Ekellé, à l'Ouest par le fleuve Sanaga. L'arrondissement d'Elig-mfomo quant à lui est situé entre 4°05'00" de latitude Nord et 11°11'00" de longitude Est avec une altitude de 594 mètres par rapport au niveau de la mer. Le département de la Lékié est une zone avec des précipitations importantes. Sur l'année, la température moyenne est environ de 23.5°C et les précipitations sont en moyenne de 831.7mm. Les sols de la Lékié varient selon les localités. Les travaux de Mbarga (2011) montrent que dans certains cas, ils sont ferrallitiques c'est-à-dire rouges (Okola-Elig-Mfomo-Obala), dans d'autres, ils

sont ferrugineux, donc riches en fer et en argile (Sa'a-Ebebda) et enfin, ils sont sablonneux par endroits à (Monatéle-Betchenga-Lobo).

Stations d'échantillonnage

Compte tenu de l'objectif principal de l'étude à savoir la contribution à la connaissance de la faune macrobenthique qui peuplent le cours d'eau Mbagba dans la Lékié-Ouest et les facteurs abiotiques qui influencent ce macrobenthos, 3 stations ont été retenues. La station Mgbaba 1 (MG1) dans l'arrondissement d'Elig-mfomo et les stations Mgbaba 2 (MG2) et Mgbaba 3 (MG3) situées respectivement dans l'arrondissement de Monatéle. Ces stations ont été choisies en fonction de l'accessibilité et du niveau d'anthropisation. La station Mgbabala pour coordonnées géographiques 04°16'205" de latitude Nord et 11°16'637" de longitude Est avec une altitude d'environ 415 mètres. Elle est située au crénon du cours d'eau Mgbaba à environ 3821mètres de la source. La station Mgbaba 2 de coordonnées géographiques 04°15'440"de latitude Nord et 11°15' 833"de longitude Est avec une attitude moyenne de 409 mètres. Elle est située au rhithron du cours d'eau à 6260 mètres environ de la station Mgbaba1. La station Mgbaba 3 est située au Potamon du cours d'eau 100 mètres environ de l'embouchure et de coordonnées géographiques 04°16'203"de latitude Nord et 11°16' 646"de longitude Est avec une altitude moyenne de 361 mètres. La figure 1 ci-dessous montre où sont situées les différentes stations d'échantillonnage étudiées.

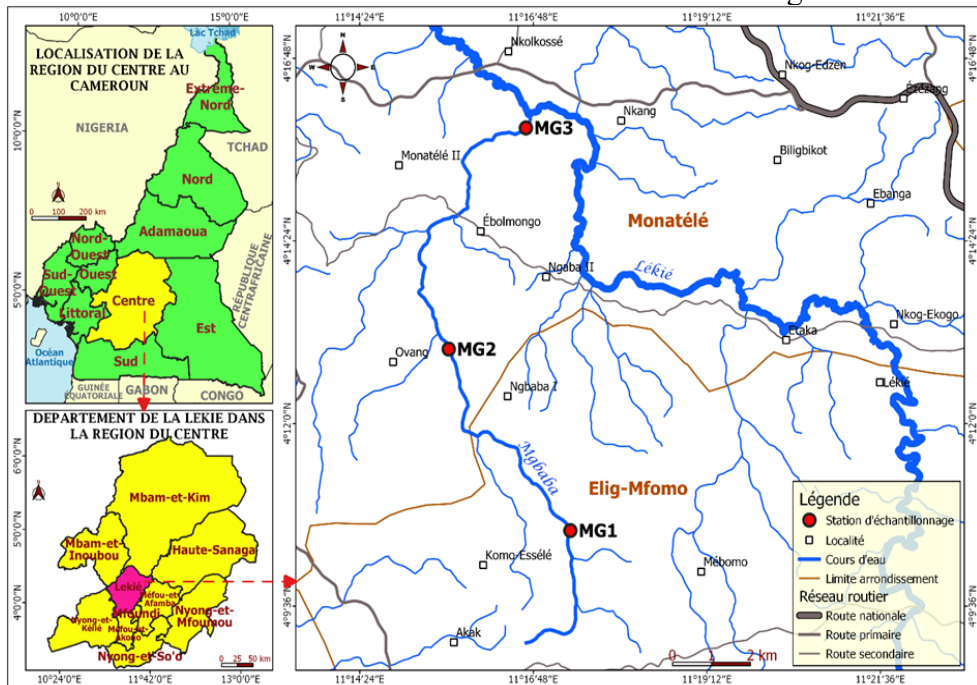


Figure 1 : Carte géographique et localisation des différentes stations d'échantillonnage de la zone d'étude

Mesures des paramètres physicochimiques

Les mesures des physicochimiques ce sont déroulées à la fois sur le terrain et au laboratoire suivant les recommandations de APHA (1998) et celles de Rodier *et al.* (2009). La température, la teneur en oxygène dissous et la conductivité électrique ont été mesurées in situ respectivement au moyen d'un thermomètre et d'un multimètre de marque HANNA HI 98130.

Au laboratoire les ions orthophosphates, les formes d'azote ont été mesurés au spectrophotomètre de marque WAHTECH et l'oxydabilité par volumétrie à partir des échantillons d'eau prélevés sur le terrain à l'aide des flacons en polyéthylène à double bouchage de 1000 mL. Selon les directives de Leclercq (2001), la charge organique des eaux a été appréciée grâce à la mesure de l'indice de pollution organique (IPO).

Echantillonnage des macroinvertébrés benthiques

Les macroinvertébrés benthiques ont été prélevés à l'aide d'un troubleau de dimension 30 cm x 30 cm muni d'un filet conique de 400 µm d'ouverture de maille et 0,5 m de profondeur. Pour chaque station d'étude, une vingtaine de traits d'époussette ont été effectués aux différents microhabitats et les organismes ainsi récoltés triés et fixés au formol 10%. Au laboratoire, les spécimens ont été lavés à l'eau courante puis conservés dans de l'alcool 70° avant d'être identifiés et dénombrés. La totalité des Macroinvertébrés benthiques ont été déterminés à la loupe binoculaire de marque Wild M5 jusqu'au rang du genre ou de l'espèce à l'aide des clés d'identification d'après les recommandations de Levêque *et al.* (2005) et celles de Tarchat *et al.* (2006).

Analyses statistiques

Une analyse des variances (ANOVA à un facteur et Welch) a été réalisée afin de mettre en évidence les variations des paramètres physicochimiques entre les différentes stations d'échantillonnage. De plus, le test de corrélations de Pearson (r) a été utilisé pour établir une relation entre variables physicochimiques et le macrobenthos. Les logiciels Microsoft Excel 2007, Past et SPSS version 20.0 ont été utilisés pour le traitement des données. La richesse spécifique (S), l'abondance (N), les indices de diversité de Shannon et Weaver (H') et d'Equitabilité de Pielou ont été déterminés selon les directives de Barbourt *et al.* (1999).

Résultats

Variables physicochimiques

Matière en Suspension, température, turbidité et couleur

Au cours de cette étude, nous avons obtenu une valeur minimale des Matières en Suspension (MES) de 5 mg/L à la station MG3 durant la petite

saison sèche (PSS) et 51 mg/L à la station MG2 pendant la grande saison sèche (GSS) avec une moyenne de $18,75 \pm 2,73$ mg/L (figure 2A). Cette valeur est conforme à celle du SEQ (2023). Les différences significatives ont été notées sur plan spatio-temporel ($p < 0,01$). L'augmentation des MES dans cette station pendant la grande saison sèche serait due à l'exploitation du sable par les riverains. La température de l'eau a varié entre 21°C à la station MG3 en grande saison sèche (GSS) et 24,9°C à la station MG2 pendant la petite saison sèche (PSS) avec une moyenne de $23,29^\circ\text{C} \pm 0,39^\circ\text{C}$ (figure 2B). Cette valeur est conforme à celle préconisée par le SEQ (2023) et qui se situe entre 24 et 25,5°C. Sur le plan spatio-temporel le test d'Anova un facteur ne montre pas une différence significative ($p > 0,05$). Concernant la turbidité de l'eau, elle a varié entre 6 FTU à la station MGB1 durant la grande saison sèche (GSS) et une valeur maximale de 40 FTU à la station MG2 pendant la grande saison sèche (GSS) avec une moyenne de $19,04 \pm 3,30$ FTU (figure 2C). Cette valeur est conforme à celle à la directive du SEQ (2023) et qui se situe entre 15 et 35 FTU. La couleur de l'eau est plus prononcée pendant la grande saison sèche (258 Pt-Co), cette valeur a été obtenue à la station MG3 et la plus faible (25 Pt-Co) a été obtenue pendant la grande saison de pluie à la station MG1 avec une valeur moyenne oscillant autour de $94,20 \pm 23,18$ Pt-Co (Figure 2D). Sur le plan spatio-temporel, le test d'Anova révèle que ces différents paramètres ne varient pas significativement ($p > 0,05$).

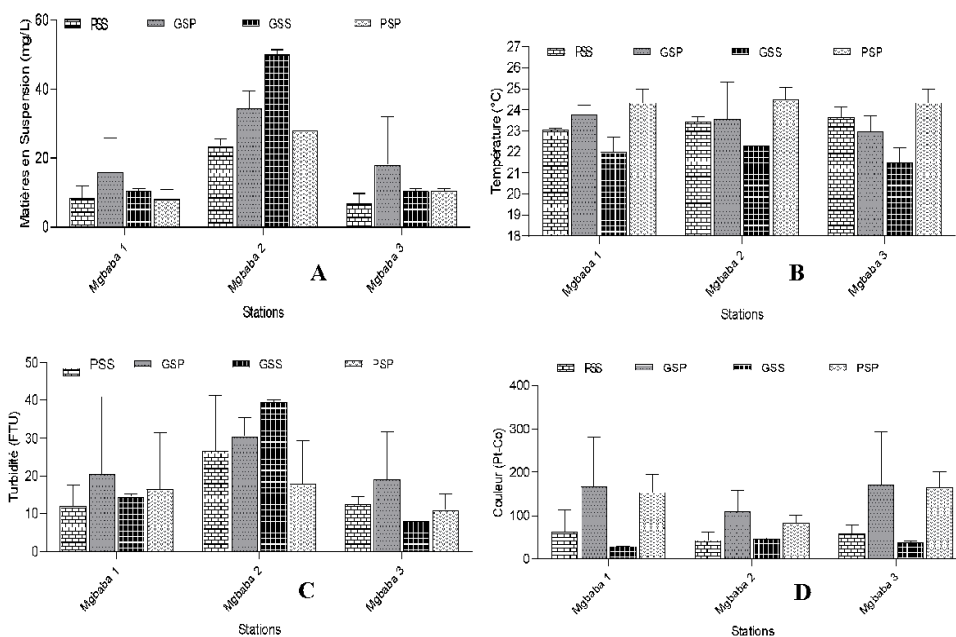


Figure 2 : Variation spatiale et saisonnière des Matière en Suspension (A), de la température (B) de la turbidité (C) et de la couleur (D). PSS = petite saison sèche ; GSP = grande saison de pluie ; GSS = grande saison sèche ; PSP : petite saison de pluie.

Potentiel d'hydrogène (pH), conductivité électrique, oxygène dissous et dioxyde de carbone

La valeur minimale du pH est de 6,53 UC et elle a été obtenue à la station MG1 durant la petite saison de pluie (PSP) ; la valeur maximale est de 7,31 UC et elle a été observée à la station MG2 pendant la petite saison sèche (PSS) avec une moyenne de $7,08 \pm 0,07$ UC (Figure 3A). Cette valeur est conforme à la directive de l'OMS (2006) et qui se situe entre 6,5 et 9,5 UC ; le test d'Anova ne montre pas de différence significative entre les stations et saisons ($p > 0,05$). S'agissant de la minéralisation des eaux, la valeur minimale est de $46 \mu\text{S}/\text{cm}$ et a été obtenue pendant la petite saison de pluie (PSP) à la station MG3 et la valeur maximale est de $102,6 \mu\text{S}/\text{cm}$ et a été aussi obtenue à la station MG3 pendant la petite saison sèche (PSS) pour une moyenne de $36,11 \pm 2,04 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Figure 3B). D'après le test de Welch, ces variations entraînent des différences significatives entre les stations et les saisons ($p < 0,05$). Les eaux du cours Mgbaba ont été bien oxygénées au cours de l'étude car les teneurs vont de 57,2 % à la station MG1 (PSP) à 96,4 % à la station MG2 (PSP) avec une moyenne de $78,6 \pm 3,55$ % (Figure 3C). Cette valeur est conforme à celle préconisée par le SEQ (2023) et qui se situe entre 90 et 70 % de taux de saturation en oxygène dissous ; le test de Welch montre des différences significatives entre les stations et les saisons ($p < 0,05$). Les teneurs du CO_2 dissous ont fluctué entre 5,28 mg/L (MG3) et 38,72 mg/L (MG1 et MG3) ces valeurs ont été obtenues respectivement pendant la petite saison sèche (PSS) et la grande saison de pluies (GSP) avec une moyenne de $20,81 \pm 3,9$ mg/L (Figure 3D). Sur le plan spatio-temporel, Il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$).

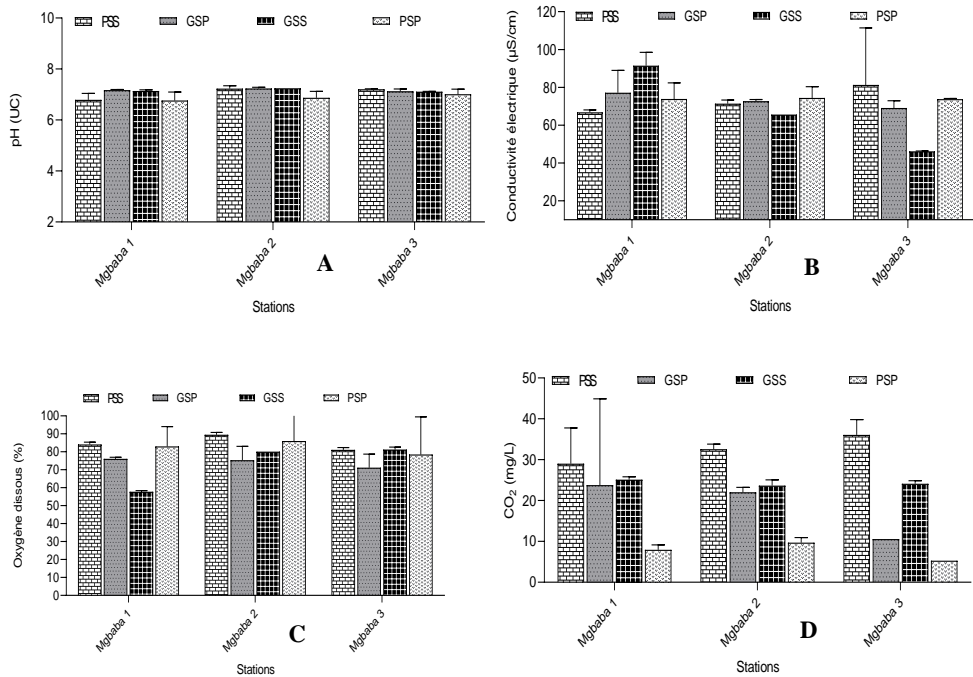


Figure 3 : Variation spatiale et saisonnière du pH (A), de la conductivité électrique (B), de l’oxygène dissous(C) et du dioxyde de carbone (D)

Nitrites, nitrates, ammonium et orthophosphates

Les teneurs en nitrites (NO_2^-) sont comprises entre 0,11 mg/L (MG1) et 1,35 mg/L (MG3). Ces valeurs ont été obtenues respectivement pendant la petite saison sèche (PSS) et la petite saison de pluie (PSP) avec une moyenne de $0,47 \pm 0,10$ mg/L. Cette valeur moyenne est supérieure à celle de l’OMS (2006) qui se situe entre de 0,2 et 0,3 mg/L (Figure 4A). La teneur maximale des nitrates (NO_3^-) est de 3,1 mg/L et a été obtenue à la station MG3 pendant la grande saison sèche (GSS) et la plus faible teneur est de 0,3 mg/L, valeur obtenue à la station MG1 pendant la grande saison de pluie (GSP) pour une moyenne oscillant autour de $1,1 \pm 0,36$ mg/L. Cette valeur moyenne est inférieure à celle préconisée par l’OMS (2006) qui est de 50 à 3 mg/L à l’exposition à court terme (Figure 4B). Cette valeur moyenne est supérieure à celle de l’OMS (2006) qui est inférieure à 0,2 mg/L. S’agissant des nitrites, le test de Welch a révélé des différences significatives sur le plan spatio-temporel ($p < 0,05$). Les teneurs en azote ammoniacal ont fluctué entre 0,11 mg/L à la station MG1 (PSS) à 1,35 mg/L à la station MG3 (PSP) avec une valeur moyenne de $0,47 \pm 0,10$ mg/L (Figure 4C) et cette valeur est élevée par rapport

à celle préconisée par l’OMS (2006) qui est inférieure 0,2 mg/L. Le test d’Anova ne montre pas de différence significative sur le plan spatio-temporel ($p > 0,05$). Les teneurs en orthophosphates enregistrées ont oscillé entre 0,11 mg/L à la station MG3 (PSS) et 1,76 mg/L à la station MG2 (GSS) avec une moyenne de $0,60 \pm 0,15$ mg/L. Cette valeur moyenne est supérieure à celle du SEQ (2023) qui se situe entre 0,1et 0,5 mg/L (Figure 4D). D’après le test de Welch, des différences significatives ont été relevées entre les stations et les saisons ($p < 0,05$). La valeur minimale de l’oxydabilité est de 0,78 mg/L et a été observée à la station MG3 pendant la petite saison sèche (PSS) et la valeur maximale est de 41,47 mg/L et a été obtenue à la station MG1 pendant la grande saison de pluie (GSP) pour une moyenne oscillant autour de $13,69 \pm 3,14$ mg/L (Figure 4E). Le test d’Anova ne montre pas de différence significative entre les stations et entre les saisons ($p > 0,05$).

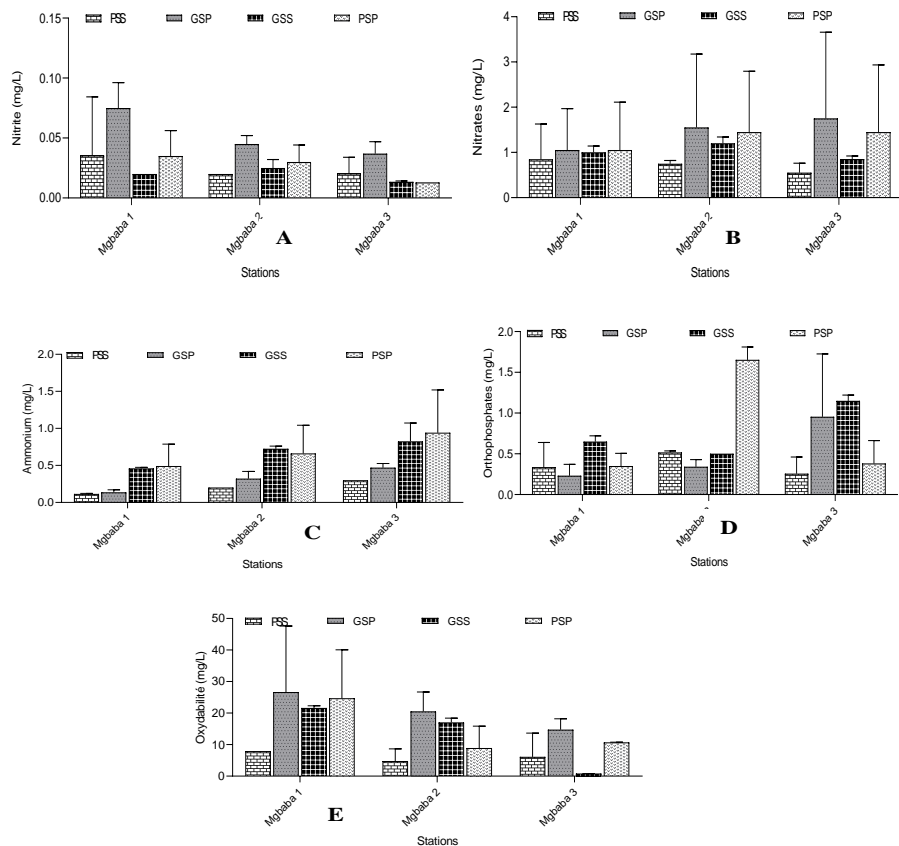


Figure 4 : Variation spatiale et saisonnière des nitrites (A), des nitrates (B), de l’ammonium (C), des orthophosphates (D) et de l’oxydabilité (E)

Indice de Pollution Organique (IPO) des stations étudiées

L'Indice de Pollution Organique (IPO) révèle des valeurs allant entre 2,33 à la station MG3 (GSS) à 3,66 à la station MG3 (PSS) avec une moyenne de $3,05 \pm 0,35$. Ces valeurs montrent une pollution forte à modérée dans les stations et cet indice a varié sur toutes les stations et pendant toutes les saisons (figure 5).

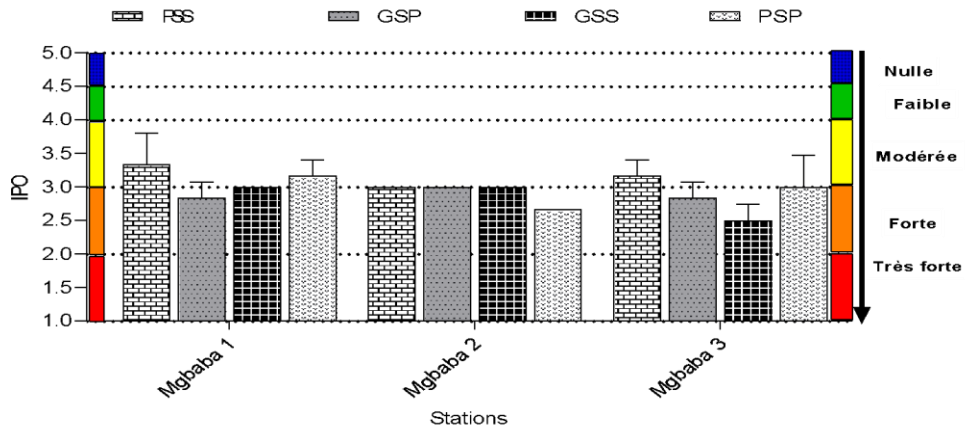


Figure 5 : Indice de pollution organique (IPO) des stations étudiées.

PSS = petite saison sèche ; GSP = grande saison de pluie ; GSS : grande saison sèche ; PSP : petite saison de pluie ; Couleur : rouge = très forte pollution, orange = forte pollution, = pollution modérée, vert = faible pollution, bleu = pas de pollution

Variables biologiques

Variations de la richesse taxonomique et de l'abondance des macroinvertébrés benthiques pendant l'étude.

Au total, 1152 individus ont été récoltés et répartis en 2 embranchements : les Arthropodes et les Mollusques. Ces organismes appartiennent à 3 classes, 10 ordres et 36 familles. La richesse taxonomique a varié pendant l'étude. Concernant la richesse spécifique, elle a varié dans toutes les stations d'échantillonnage et la valeur minimale est de 25 et a été obtenue à la station MG1. Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux 1 et 2 ci-dessous.

Table 1 : Liste des taxa de la macrofaune benthique récoltés pendant l'étude et total des abondances

Embranchement	Classes	Ordre	Familles	Genres ou espèces	MG1	MG2	MG3	Total
Mollusca	Gasteropoda	Basommatophora	<i>Lymnaeidae</i>	<i>Radix auricularia</i>	1	0	0	1
			<i>Planorbidae</i>	<i>Planorbarius corneus</i>	0	0	2	2
		Littorinimorpha	<i>Bithyniidae</i>	<i>Bithynia tentaculata</i>	12	25	2	39
				<i>Bithynia phialensis</i>	0	0	4	4
			<i>Pilidae</i>	<i>Lanistes</i> sp.	4	9	1	14
			<i>Thiaridae</i>	<i>Potadoma freethi</i>	3	33	18	54
		Mesogastropoda		<i>Melania tuberculata</i>	21	15	0	36
Arthropoda	Malacostraca	Décapoda	<i>Atyidae</i>	<i>Caridina africana</i>	65	78	128	271
			<i>Potamidae</i>	<i>Potamonautes</i> sp.	1	4	3	8
				<i>Sudanonautes africanus</i>	4	1	2	7
	Hexapoda	Odonata	<i>Libellulidae</i>	<i>Orthetrum cancellatum</i>	3	2	9	14
				<i>Brachythemis leucosticta</i>	19	6	16	41
				<i>Aeshna cyanea</i>	0	1	0	1
				<i>Trithemis annulata</i>	1	1	3	5
				<i>Libellula</i> sp.	1	0	0	1
			<i>Gomphidae</i>	<i>Crenigomphus abyssinicus</i>	2	3	0	5
				<i>Lestinogomphus africanus</i>	0	5	4	9
				<i>Gomphus vulgatissimus</i>	2	1	1	4
				<i>Phyllogomphus</i> sp.	2	1	0	3
				<i>Ophiogomphus</i> sp.	0	1	0	1
			<i>Calopterygidae</i>	<i>Phaon</i> sp.	3	3	22	28
				<i>Calopteryx</i> sp.	2	8	4	14
			<i>Macromiidae</i>	<i>Macromia splendens</i>	0	2	1	3
				<i>Phyllomacromia</i> sp.	0	0	4	4
			<i>Lestidae</i>	<i>Chalcolestes</i> sp.	0	0	1	1
				<i>Lestes</i> sp.	9	5	4	18
			<i>Platycnemididae</i>	<i>Allocnemis</i> sp.	2	0	0	2
<i>Arabicnemis</i> sp.	2	3		0	5			
<i>Calicnemis</i> sp.	11	20		14	45			

			<i>Leptocnemis</i> sp.	0	1	0	1	
		<i>Coenagrionidae</i>	<i>Coenagrion puella</i>	16	24	23	63	
		<i>Corduliidae</i>	<i>Epiptera</i> sp.	0	2	0	2	
	Ephemeroptera	<i>Hydropsychidae</i>	<i>Diplectrona felix</i>	2	0	4	6	
			<i>Hydropsyche</i> sp.	0	1	0	1	
		<i>Caenidae</i>	<i>Caenis</i> sp.	2	0	0	2	
		<i>Heptageniidae</i>	<i>Afronurus</i> sp.	0	0	2	2	
		<i>Oligoneuriidae</i>	<i>Elassoneuria</i> sp.	0	2	8	10	
		<i>Siphonuridae</i>	<i>Siphonurus</i> sp.	2	3	31	36	
		<i>Leptophlebiidae</i>	<i>Adenophlebia auriculata</i>	15	2	10	27	
		<i>Baetidae</i>	<i>Baetis</i> sp.	0	0	29	29	
	Dictyoptera	<i>Blaberidae</i>	<i>Africalolampira</i> sp.	3	7	11	21	
	Plecoptera	<i>Perlidae</i>	<i>Dinocras</i> sp.	0	0	2	2	
	Coleoptera	<i>Limoniidae</i>	<i>Limoniini</i> sp.	0	4	0	4	
			<i>Hexatoma</i> sp.	0	0	1	1	
		<i>Chironomidae</i>	<i>Chironomus</i> sp.	0	1	0	1	
		<i>Hydrophilidae</i>	<i>Hydrochara</i> sp.	1	0	0	1	
			<i>Amphiops</i> sp.	7	0	1	8	
			<i>Hydrophilus</i> sp.	1	41	2	44	
		<i>Gyrinidae</i>	<i>Dineutus</i> sp.	0	4	0	4	
			<i>Orectogyrus</i> sp.	25	20	13	58	
			<i>Aulonogyrus</i> sp.	4	4	2	10	
		<i>Dytiscidae</i>	<i>Hydaticus</i> sp.	0	2	0	2	
		<i>Hygrobiidae</i>	<i>Hygrobia</i> sp.	0	2	0	2	
		Hemiptera	<i>Belostomatidae</i>	<i>Abedus</i> sp.	10	19	10	39
				<i>Belostoma</i> sp.	13	9	13	35
	<i>Nepidae</i>		<i>Ranatra linearis</i>	29	35	3	67	
			<i>Nepa</i> sp.	4	6	0	10	
	<i>Hydrometridae</i>		<i>Hydrometra</i> sp.	1	4	0	5	
	<i>Pléidae</i>		<i>Plea leachi</i>	1	0	0	1	
	<i>Naucoridae</i>		<i>Ilyocoris cimicoides</i>	5	2	7	14	
	<i>Velliidae</i>		<i>Velia</i> sp.	0	0	2	2	
		<i>Microvelia</i> sp.	1	1	0	2		
			Total	312	423	417	1152	

Table 2 : variations spatio-temporelles des indices de diversités de Simpson, de Shanonn-Weaver et d'Equitabilité de Pielou

Stations	MGBABA 1	MGBABA 2	MGBABA 3
Total des abondances (N)	312	423	417
Richesses spécifique (S)	25	29	28
Simpson_1-D	0,9075	0,9123	0,8736
Indice de diversité de Shannon et Weaver (H')	2,692	2,74	2,634
Indice d'Equitabilité de Piélou (J)	0,8363	0,8136	0,7906

Répartition de quelques familles des macroinvertébrés benthiques collectés pendant l'étude

Au cours de cette d'étude, la famille des Atyidae a été la plus représentée avec 271 organismes pour une abondance relative de 23,52 %, celle des Thiaridae avec 179 individus soit 7,81 % d'abondance relative et suivi de celles des Nepidae, des Belostomatitae et des Gyrinidae avec pour une abondance relative de 6,68 %, 6,42 % et 6,25 % respectivement. Les autres familles ne figurant pas sur ce diagramme représentent 13,89 % (Figure 6).

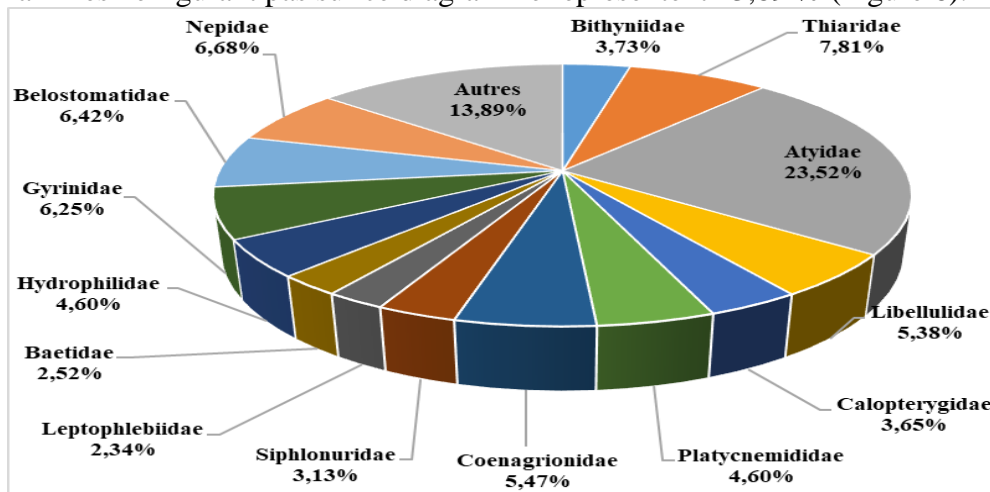


Figure 6 : Répartition de quelques familles des macroinvertébrés benthiques collectés

La Corrélation de Pearson nous a permis de mettre en évidence une relation avec certaines familles de macroinvertébrés benthiques et les variables physicochimiques (Tableau 3). L'abondance relative des familles des Thiaridae, Gomphidae, Macromiidae, Coenagrionidae sont positivement et significativement corrélées avec l'oxygène dissous. A propos, nous pouvons affirmer que l'oxygène dissous une variable qui favorise la croissance et l'abondance de ces familles. Les Bithyniidae sont positivement et significativement corrélées avec les nitrates et les nitrites ; la famille des Bithyniidae et des Belostomatidae sont positivement et significativement corrélées avec les l'ammonium. D'après ce qui précède, nous pouvons dire que les nitrates et les nitrites favorisent la bonne évolution de ces macroinvertébrés benthiques.

Tableau 3 : Valeurs de coefficients de corrélation de Pearson (r) entre les paramètres physicochimiques et les familles des macroinvertébrés benthiques

	TEM	OD	pH	CE	TDS	TU	COU	MES	NO2	NO3	NH4	PO4	CO2	OXY	ALC	IPO
Planorbidae	0,20	0,21	-0,08	0,37	0,37	-0,20	0,09	-0,33	-0,32	-,42*	0,18	0	-0,06	-0,30	0,362	-0,15
Bithyniidae	0,01	-0,35	-0,09	-0,17	-0,15	0,201	-0,048	0,17	,44*	-0,08	,40*	0,14	-0,23	-0,10	-,47*	0,00
Pilidae	0,38	0,19	0,13	0,04	0,04	-0,06	-0,03	0,07	-0,34	0,39	-0,29	-0,07	-0,07	-0,06	,49*	-0,12
Thiaridae	-0,02	,44*	0,10	-0,06	-0,08	-0,15	-0,34	-0,04	-,54**	-0,08	-0,23	0,04	0,26	-0,00	0,28	0,19
Atyidae	-0,17	-0,22	0,23	-0,17	-0,19	-0,15	-0,33	-0,13	-0,20	-0,30	,432*	0,13	-0,00	-0,11	-0,326	-0,02
Libellulidae	0,06	0,10	-0,20	0,15	0,15	-,46*	-0,38	-,46*	-0,23	-,47*	0,09	0,09	-0,02	-0,21	-0,04	0,30
Gomphidae	-0,04	,48*	0,10	0,16	0,14	-0,10	-0,30	-0,08	-0,39	-0,34	-0,12	0,08	0,21	0,01	0,23	0,27
Calopterygidae	0,16	0,38	-0,00	0,28	0,25	-0,39	-0,31	-0,36	-,64**	-,45*	0,07	0,31	0,00	-0,27	0,26	-0,19
Macromiidae	0,20	,47*	0,06	0,27	0,27	-0,1	-0,07	-0,23	-0,36	-0,35	0,13	0,03	0,08	-0,33	,445*	-0,07
Lestidae	-0,34	-0,29	0,23	-0,09	-0,13	-0,04	-0,30	0,01	-0,02	-0,06	0,27	0,37	0,11	0,10	-,46*	-0,20
Platycnemididae	-0,26	-0,26	0,25	-0,1	-0,1	-0,2	-,43*	-0,07	-0,38	0,03	0,04	0,22	-0,06	0,21	-0,24	-0,10
Coenagrionidae	-0,28	,47*	-0,06	0,14	0,15	-0,16	-,59**	-0,19	-,41*	-,59**	0,24	0,40	0,22	-0,23	0,01	-0,14
Caenidae	0,01	0,32	-,41*	0,06	0,06	-,41*	-0,13	-,43*	-,48*	-0,30	-0,33	0,04	-0,20	0,12	0,13	0,31
Oligoneuriidae	0,306	,45*	-0,04	,42*	,42*	-0,10	-0,07	-0,13	-0,34	-,41*	0,18	0,20	-0,06	-0,33	0,40	-0,23
Siphonuridae	-,40*	-0,15	0,17	-0,17	-0,21	0,00	-0,36	0,13	0,07	-0,12	0,30	0,26	0,19	0,05	-,52**	-0,11
Leptophlebiidae	-0,10	0,03	0,01	0,04	0,03	-0,32	-0,21	-0,31	-0,19	-,58**	0,21	-0,05	-0,06	-0,09	-0,14	0,26
Baetidae	0,30	0,03	0,06	0,19	0,19	-0,22	0,18	-0,34	-0,10	-,41*	0,16	-0,33	-0,07	-0,30	0,26	0,24
Gyrinidae	0,03	0,042	-0,28	-,44*	-,43*	0,21	0,11	0,30	,53**	0,07	0,30	0,08	-0,15	-0,37	-0,27	-0,13
Belostomatidae	0,13	-0,03	0,18	-0,03	-0,05	0,01	-0,37	0,064	-0,02	-0,33	,45*	0,22	-0,21	-0,09	-0,32	0,163
Nepidae	0,00	-0,3	0,23	0,29	0,28	0,35	-0,21	0,373	0,0	0,31	-0,12	0,20	0,11	-,46*	-0,19	-0,26
Naucoridae	-0,28	0,179	-0,07	0,01	0,03	-,49*	-0,40	-,43*	-,46*	-,42*	0,02	0,07	0,15	-0,09	0,01	0,08

TEM = Température ; OD = Oxygène dessous ; pH = potentiel d'Hydrogène ; CE = Conductivité électrique ; TDS = Solides totaux dessous ; TU = Turbidité ;
COU = Couleur ; MES = Matière en Suspension ; NO2 = Nitrates ; NO3 =Nitrites ; NH4 = Ammonium ; PO4 =Phosphates ; CO2 = Dioxyde de Carbone ; OXY
= Oxydabilité ALC = Alcalinité ; IPO = Indice de pollution Organique.

** Corrélation significative à 0.01, *Corrélation significative à 0.05

Discussion

Caractéristiques physicochimiques

Pour cette étude, l'analyse des paramètres physicochimiques a montré qu'il existe des différences significatives sur le plan spatio-temporel. Pendant les quatre saisons d'échantillonnage, les paramètres abiotiques ont peu fluctué en raison de la stabilité du milieu et des conditions environnementales. La température moyenne de l'eau a oscillé autour de $23,29^{\circ}\text{C} \pm 0,39^{\circ}\text{C}$ et est supérieure à celle obtenue par Nyamsi (2018) et qui est de $21,98 \pm 1,08^{\circ}\text{C}$. Les variations de température observées dans ce cours d'eau seraient liées à celle ambiante ; à cet effet, Buhungu *et al.* (2018) affirment que l'ensoleillement, la période d'échantillonnage et l'environnement conditionnent la température des eaux de surface. S'agissant des Matières en Suspension (MES), la valeur moyenne est de $18,75 \pm 2,73 \text{ mg/L}$. Cette valeur est similaire à celle obtenue par Mbassi (2020) dans le cours d'eau Lékié et qui est de $18,3 \pm 8,94 \text{ mg/L}$, à ce propos Mbouombouo (2021) affirme que la présence d'un couvert végétal abondant autour des stations limite les phénomènes d'érosion des sols et de ruissellement des eaux apportant les matières allogènes dans le plan d'eau. Le pH moyen des eaux est de $7,08 \pm 0,07 \text{ UC}$; cette valeur est proche de la neutralité et est similaire à celle obtenue par Yogback *et al.* (2017) et qui est de $7,28 \pm 0,8$. La neutralité de ces eaux serait due à la nature du sol. A propos, Zébazé (2000) montre que le pH de l'eau dépend de la nature des terres traversées.

La minéralisation moyenne des eaux est de $56,22 \pm 4,31 \mu\text{S/cm}$ et elle est supérieure à celle obtenue par Tchakonté (2016) et qui est de $13,16 \pm 5,19 \mu\text{S/cm}$ mais elle est inférieure à celle obtenue par Mbouombouo (2021) au Nord-Ouest Cameroun et qui est de $61,94 \pm 41,20 \mu\text{S/cm}$. A propos, Foto *et al.* (2006) affirment que l'augmentation de la minéralisation résulte de l'enrichissement des cours d'eau par la matière organique d'origine anthropique. Le taux d'oxygène dissous moyen des eaux est de $75,3 \pm 3,45 \%$. Cette valeur s'approcherait de celle obtenue par Yogback *et al.* (2017) et qui est de $82,54 \pm 8,22\%$ et elle est inférieure à $65,57 \pm 3,56 \%$, valeur enregistrée par Mbouombouo (2021) au Nord-Ouest Cameroun.

Le taux moyen d'oxygène obtenu montre que les eaux du cours Mgbaba sont bien oxygénées selon les directives du SEQ (2023). Les faibles taux d'oxygène observés à la station MG1 seraient dus aux activités anthropiques. A propos, Onana (2016) soulignent que les fortes charges en matières organiques biodégradables dans une rivière augmentent la consommation d'oxygène par les microorganismes décomposeurs. Par contre, les valeurs maximales obtenues pendant la saison des pluies ont déjà été observées par Tchakonté (2016) et confirment que cette saison favorise une circulation rapide des eaux ainsi que leur réoxygénation. La teneur moyenne en dioxyde de carbone est de $17,9 \pm 3,9 \text{ mg/L}$; cette valeur est supérieure aux 10 mg/L

recommandés par APHA (1980). Les valeurs élevées de CO₂ dans certaines stations peuvent se justifier par la respiration des organismes aérobies qui diminuent l'oxygène dissous en augmentant le CO₂ selon les directives du MEC (2003). A contrario, les faibles valeurs du CO₂ obtenues dans certaines stations s'expliqueraient par leur consommation grâce aux végétaux photosynthétiques. La teneur moyenne des nitrates est de $1,61 \pm 0,36$ mg/L et cette valeur est supérieure à celle obtenue par Nyamsi (2018) et qui est de $0,79 \pm 0,59$ mg/L. Les valeurs élevées des nitrates dans certaines stations pendant la petite saison des pluies (PSS) seraient dues aux matières azotées utilisées en agriculture dans les bassins versants selon Mogue (2021) et ces nitrates sont acheminés dans les cours d'eau par ruissellement après les pluies. La teneur moyenne de l'azote ammoniacal est de $0,48 \pm 0,14$ mg/L et cette valeur est élevée par rapport à celle préconisée par l'OMS (2006). Les valeurs élevées de l'azote ammoniacal proviendraient de la décomposition de la matière organique d'origine allochtone ainsi que des activités agricoles menées dans le bassin versant.

La teneur moyenne en ions orthophosphates est de $0,69 \pm 0,14$ mg/L et cette valeur est supérieure à celle obtenue par Nyamsi (2018) et qui est de $0,18 \pm 0,38$ mg/L. A cet effet, Rodier (2009) stipule que les teneurs en ions orthophosphates qui sont supérieures à 0,5 mg/L constituent un indice de pollution. Nyamsi (2018) et Sommer (1989) affirment respectivement que les pics des teneurs en ions orthophosphates observés en saison sèche résulteraient de la minéralisation de la litière transportée pendant les pluies ainsi que des apports en fertilisants phosphorés dans le bassin versant. L'oxydabilité moyenne des eaux est de $14,08 \pm 3,2$ mg/L et cette valeur est supérieure à celle obtenue par Nyamsi (2018) et qui est de $4,60 \pm 4,56$ mg/L. La valeur élevée de l'oxydabilité témoigne l'intensification de l'anthropisation dans ce bassin versant. A propos, Mbouombouo (2021) souligne que les valeurs élevées de l'oxydabilité pendant la saison des pluies proviendraient d'une synergie de pollution excessive par des matières organiques et inorganiques d'origine anthropique dans l'eau. L'IPO moyen est de $3,05 \pm 0,35$ et montre une pollution modérée qui serait liée non seulement aux valeurs relativement élevées des ions orthophosphates mais aux apports diffus et permanents des eaux usées agricoles selon Mogue (2021).

Caractéristiques biologiques

La richesse taxonomique des macroinvertébrés enregistrée dans les différentes stations du cours d'eau Mgbaba est relativement inférieure (36 familles) à celle obtenue par Ngameni *et al.* (2017) dans un cours d'eau dans la Menoua en zone périurbaine de Dschang, Ouest Cameroun et qui est de 40 familles. Cette richesse taxonomique est égale à celle obtenue dans l'Ebozoa (36 familles) au bassin versant de la Mefou par Foto *et al.* (2023) et elle est

supérieure à celles obtenues à Kinshasa, dans les cours d'eau Gombe (16 familles) et Mangengenge (24 familles) par Kamb *et al.* (2015). Toutefois, cette richesse taxonomique demeure inférieure à celle obtenue par Mboye *et al.* (2018) dans le bassin versant de la Mabounié au Gabon (90 familles).

La répartition des taxons sur l'ensemble du cours d'eau Mgbaba montre la prédominance de la famille des Atyidae avec une abondance relative de 23,52 %, de celle des Thiaridae avec une abondance relative de 7,81 % et suivi des familles des Nepidae, des Belostomatitae et des Gyrinidae avec pour abondance relative respective de 6,68 %, 6,42 % et 6,25 %. Ces résultats sont contraires à ceux des travaux de Kamb *et al.* (2015) et Gwos *et al.* (2022). La quasi-totalité des peuplements des macroinvertébrés benthiques récoltés dans le cours d'eau Mgbaba appartient à l'embranchement des arthropodes et à la classe des insectes. Cette structure faunique est semblable à celle dressée par Tchakonté (2016), Onana *et al.* (2016) et de Ngameni *et al.* (2017). L'ordre des Odonates est dominant avec 10 familles et 22 taxons. Ce résultat est semblable à ceux de Ngameni *et al.* (2017) où les Odonates ont été notés parmi les ordres les plus diversifiés. La faible représentativité des mollusques et des Annélides qui sont des taxons polluo-résistants résulterait de l'impact négligeable des activités agricoles sur la qualité des eaux ce qui corrobore avec les résultats des analyses physicochimiques. A cet effet, Foto *et al.* (2011) affirment que les Mollusques et les Annélides sont plus présents dans les milieux fortement anthropisés.

Un total de 1152 individus a été récolté dans le cours d'eau Mgbaba à la Lékié-Ouest. Ce résultat est largement inférieur à celui obtenu par Ngameni *et al.* (2017) dans deux ruisseaux de la région agricole périurbaine de Dschang à l'Ouest Cameroun et qui est de 1833 individus. Ceci s'expliquerait par la forte homogénéisation des sites en zone agricole due à des aménagements anthropiques et au nombre de cours d'eau échantillonné. De plus, les travaux de Hawkins *et al.* (2014) ont montré que certaines perturbations environnementales augmentaient l'hétérogénéité biologique et la diversité. A cet effet, Ben Moussa *et al.* (2014) affirment que la richesse spécifique est d'autant plus élevée que le biotope est hétérogène. Selon Onana *et al.* (2016), les indices de diversités, la richesse taxonomique, l'abondance totale et relative des insectes augmentent dans les stations qui reçoivent des effluents domestiques

Conclusion

La présente étude a permis de déterminer la macrofaune benthique du cours d'eau Mgbaba du bassin versant de la Lékié-Ouest dans la région du Centre Cameroun et d'évaluer sa qualité écologique. Les paramètres physicochimiques ont montré que les eaux sont proches de la neutralité bien oxygénées et renfermant de faibles teneurs en matières azotées et phosphorées.

La faible présence des indicateurs de pollution couplée à l'influence mineure des activités anthropiques traduit le bon état de santé écologique des eaux de ce milieu lotique. L'analyse faunistique a permis d'inventorier 1152 individus de macroinvertébrés benthiques appartenant à 3 classes, 10 ordres et 36 familles donc l'ordre le plus dominant est celui des odonates avec 10 familles. Le test Spearman (r) a permis de déterminer qu'il existe des corrélations entre paramètres physicochimiques et biologiques d'une part et d'autre part, l'analyse structurelle de la faune benthique aux différentes stations et saisons révèle un peuplement riche, diversifié et équilibré en saison de pluies qu'en saison sèche malgré que l'Indice de Pollution Organique (IPO) révèle une moyenne de $3,05 \pm 0,35$ et cette valeur montre une pollution forte à modérée dans les différentes stations d'échantillonnage. Vu la bonne qualité écologique et son importance, ce cours d'eau du bassin versant de la Lékié-Ouest constitue un point important pour toute action de Biomonitoring des milieux lotiques de cette localité. Fort de ce constat, il est impératif pour les pouvoirs publics, en collaboration avec les chercheurs, de prendre des mesures idoines pour protéger et restaurer des hydrosystèmes de ce département. Par conséquent, il y a nécessité de mettre sur pied un schéma directeur d'aménagement, de restauration, de gestion intégrée des ressources en eau et de protection de cet hydrosystème qui est un affluent du cours d'eau Lékié. L'application rigoureuse des textes relatifs à la protection de l'environnement et au principe « pollueur-payeur » et les populations des zones périurbaines devraient également changer de mentalités pour adopter un comportement éco-citoyen en utilisant des moyens appropriés pour l'évacuation des ordures et des eaux usées domestiques et en évitant d'occuper ou de dégrader les zones humides.

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. Talhaoui A., El-Hmaidi A., Jaddi H., Ousmana H. et Manssouri I. (2020). Calcul de l'indice de qualité de l'eau (IQE) pour l'évaluation de la qualité Physico-Chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (NE, Maroc). *European Scientific Journal*, 16(2) :1857 – 7881.
2. Ajeegah G., Mbainissem, M., Njiawouo, P. et Ngakomo R. (2018). Caractérisation physicochimique et biologique des eaux en zone

- périurbaine en Afrique équatoriale : cas de Ngoumou au Centre du Cameroun. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 23 (1) : 33 – 43.
3. American Public Health Association (APHA) (1998). Standard method for examination of water and wastewater. American Public Health Association, 20th édition, Washington, DC, 1150 p.
 4. Babou L. (2018). Suivi des paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux brutes et traitées de la STEP Est de Tizi-Ouzou. Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 89p.
 5. Barbourt M., Gerritsen J., Snyder B. et Stribling J. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers : periphyton, bentic macroinvertebrates and fish, 2e ed., U.S. Environmental protection Agency, Office of water, Washington, D.C., EPA 841-B-99-002.10 p.
 6. Ben M., Chahlaoui A., Rour E. et Chahboune M. (2014). Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc. J. Mater. Environ, pp. 183-198.
 7. Biram A. (2019). Thèse de Doctorat soutenue sous le thème Étude bioécologique des dictyoptères aquatiques dans le bassin versant de la Mefou Université de Yaoundé 1, 162 p.
 8. Buhungu S., Montchowui E., Barankanira E., Sibomana C, Ntakimazi G. et Bonou C. (2018). Caractérisation spatio-temporelle de la qualité de l'eau de la rivière Kinyankonge, affluent du Lac Tanganyika, Burundi. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(1) : 576-595.
 9. El-Amine M. (2015). Diversité et structure du zooplancton : importance pour la conservation de la biodiversité aquatique en zone urbaine. Thèse de Doctorat/Ph.D en Sciences Biologiques, Université de Montréal, 218p.
 10. Foto M. (2012). Recherche écologique sur le réseau hydrographique du Mfoundi (Yaoundé) : Essai de biotypologie. Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, 179p.
 11. Foto M., Zébazé T., Nyamsi T., Ajeagah G. et Njiné T. (2011). Evolution spatiale de la diversité des peuplements de macroinvertébrés benthiques dans un cours d'eau anthropisé en milieu tropical (Cameroun). *European journal of Scientific Research*, 55 (2) : 291-300.
 12. Foto M., Nyame M., Gwos N., Nwaha M., Tchouta U., Temgoua Z. et Biram A. (2023). Qualité écologique de quelques cours d'eau du Bassin Hydrographique de la Mefou par les Macroinvertébrés

- benthiques. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 17 : 76-88.
13. Hawkins C., Mykrä H., Oksanen J. et Vander Laan J. (2014). Environmental disturbance can increase beta diversity of stream macroinvertebrate assemblages. *Global Ecology and Biogeography* : 483-494.
 14. Gwos N. Foto S., Nyame D., Tchouapi Y., Biram A. et Disso E. (2022). Biodiversité et état sanitaire de l'eau de quatre rivières de la région de l'Est Cameroun. *GSC Sciences biologiques et pharmaceutiques*, 18(03), 226–241.
 15. Kamb T., Ndey I., Ntumbula M. et Kiamfu P. (2015). Influence du substrat sur la répartition des macroinvertébrés benthiques dans un système lotique : cas des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge. *International Journal of Biology and Chemical. Sciences*. 9(2) : 970-985.
 16. Leclercq C. (2001). Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau. Station scientifique des Hautes-Fagnes, Belgique, 44 p.
 17. Levêque C. et Balian E. (2005). Conservation of freshwater biodiversity : does the real world meet scientific dream. *Hydrobiologia*, 542 : 25-26.
 18. Mbarga D. (2011). La gestion durable de la filière cacao dans la région du centre du Cameroun : le cas du bassin de production de la Lékié. Mémoire de Master, Institut des Relations Internationales du Cameroun-IRIC/Yaoundé.
 19. Mbassi M. (2020). Qualité physicochimique et distribution des macroinvertébrés benthiques du cours d'eau Lékié, région du Centre Cameroun. Mémoire de Master, Université de Yaoundé I, 52p.
 20. Mbouombouo M. (2021). Caractérisation des formes matures de dissémination des Protozoaires et Helminthes intestinaux dans le réseau hydrographique de la Mezam (Région du Nord-Ouest, Cameroun) et influence des variables abiotiques. Thèse de Doctorat/Ph.D, Université de Yaoundé I, Cameroun, 215p.
 21. Mboye B. (2019). Diversité des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau du bassin de la Mabounié (Gabon) : essai de biotypologie. Thèse de doctorat, Université de Yaoundé I, 176p.
 22. Messi B. (2015). Gestion des déchets ménagers solides dans la ville de Monatéle. Mémoire de Master d'ingénieur en sciences environnementales, Université de Maroua, 85p.
 23. Messoé W., Acha Y., Acha et Ajeagah G. (2023). Spatial evolution of the diversity of macroinvertebrate-Odonate larva population dynamics in relation to the environmental variables of the Niète

- hydrosystem (South Cameroon). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 11(3) : 49-57.
24. Ministère de l'Environnement du Canada (MEC). (2003). Avis concernant l'aération ou la circulation artificielle de l'eau des lacs comme mesures de restauration de la qualité de l'eau. MINADER. Plan de Gestion des Pesticides. Projet d'Investissement et de Développement des Marchés Agricoles (PIDMA), 12.
 25. Mboye B., Foto M., Mbega, J. et Biram A. (2018). Influence of the Granulometric parameters on the Diversity and Distribution of Benthic Macroinvertebrates in the Mabounié Watershed (Central West Gabon). *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 5(7) : 252-270.
 26. Mogue K. (2021). Etude comparée des communautés zooplanctoniques et des niveaux trophiques de quelques étangs à Bertoua (Est-Cameroun). Thèse de Doctorat/Ph.D, Université de Yaoundé I, Cameroun, 219p.
 27. Moisan J. et Pelletier L. (2008). Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours-d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction de suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 168 p
 28. Ngameni T., Patricia B., Mpoame M. et Kenko N. (2017). Bioévaluation de La qualité des eaux du Cours d'eau Menoua en zone périurbaine de Dschang, Ouest Cameroun. *European Scientific Journal* .13 (17) : 368-389.
 29. Nyamsi T. (2018). Macroinvertébrés Benthiques du réseau hydrographique de la Méfou : habitat, diversité et dynamique des peuplements, évaluation de l'intégrité biologique des cours d'eau. Thèse de Doctorat/Ph. D, Université de Yaoundé I, Cameroun 251p.
 30. Onana F., Zebaze T., Koji E., Nyamsi T. et Tchakonte S. (2016). Influence of municipal and industrial pollution on the diversity and the structure of benthic macro invertebrates community of an urban river in Douala, Cameroon. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* : 120-133.
 31. Rodier J., Merlet N. et Lugube B. (2009) Rodier J., Merlet N. et Lugube B., 2009.L'analyse de l'eau. 9e édition, DUNOD, Paris, 1526 p. L'analyse de l'eau. 9e édition, DUNOD, Paris, 1526 p.
 32. Sawadogo B. (2018). Structuration des macroinvertébrés dans un continuum site protégé-site anthropisé et leur application dans la bioindication de la qualité biologique de l'eau : Cas de la rivière Kou en période d'étiage. Mémoire de Master, Université Nazi Boni, 80p.

33. Système d'Evacuation de la Qualité des Eaux Souterraines (SEQ-2023).
34. Tampo L., Gnazou M., Akpataku, V., Bawa L. et Djaneyé-Boundjou G. (2015). Application des méthodes statistiques à l'étude hydrochimique des eaux d'un hydrosystème tropical : Cas du bassin versant de la rivière Zio (Togo). *European Scientific Journal*, 11(14) : 204-225.
35. Tachet H., Richoux P., Bournaud M. et Usseglio-Polatera P. (2006). Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie et écologie. CNRS édition, Paris, 588p.
36. Tchakonté S. (2016). Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau urbains et périurbains de Douala (Cameroun). Thèse de Doctorat Ph.D. Université de Yaoundé I, 233 p.
37. Yogback, G., Ajeegah G., Djieto L., Cheruiyo S., Enah D., Mbououmbou M. et Kowenje C. (2018). Biodiversity of Freshwater Shrimp of the Genus *Macrobrachium* (Decapoda Palaemonidae) in the Nyong Basin of Cameroon. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* 3(6) : 1-15.
38. Yogback G., Ajeegah G., Foto M., Tchakonté S. et Djieto L. (2017). Facteurs environnementaux et répartition spatiale des crustacés dans un cours d'eau peu anthropisé à Makak (Région du Centre Cameroun). *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 181-196.
39. Zébazé T. (2000). Biodiversité et dynamique des populations zooplanctoniques (ciliés, rotifères, cladocères et copépodes) du Lac Municipal de Yaoundé (Cameroun). Thèse de doctorat de troisième cycle, Université de Yaoundé I, 175 + Annexes.

Cartographie des fractures productives en eau souterraine dans le bassin versant de la Bénoué : apport de la géomatique

Nana Oumarou Baba, Ing

Doctorant, Chercheur, Unité de Formation Doctorale
(Mécanique, Hydraulique et Génie Civil), Ecole Nationale Supérieure
Polytechnique de l'Université de Maroua

Ewodo Mboudou Guillaume, MC

Enseignant, Chercheur au Département d'Hydraulique et Maîtrise des Eaux,
Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Maroua,
Université de Maroua, Cameroun

Diguim Kepnamou Amadou, PhD

Enseignant, Chercheur au Département de sciences de la terre,
Faculté de Sciences. Université de Garoua, Cameroun

Messi Gabriel, Ing

Doctorant, Chercheur, Unité de Formation Doctorale (Mécanique,
Hydraulique et Génie Civil), Ecole Nationale Supérieure
Polytechnique de l'Université de Maroua, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p265](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p265)

Submitted: 01 September 2024

Accepted: 15 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Nana O.B., Ewodo M.G., Diguim K.A. & Messi G. (2024). *Cartographie des fractures productives en eau souterraine dans le bassin versant de la Bénoué : apport de la géomatique*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 265.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p265>

Résumé

L'objectif de ce travail est de produire la carte de fracturation de la zone étudiée et identifier les failles porteuses de minéralisation d'eau à travers l'usage couplé de télédétection et des SIG. Pour ce faire, l'image Landsat OLI et SRTM sont utilisées pour visualiser, modéliser le bassin versant et ressortir les structures linéamentaires à travers la combinaison de la méthode automatique et l'extraction manuelle par filtrages directionnels. A l'issue des différentes opérations ayant conduit à la validation de la carte de fracturation, il ressort que le bassin versant amont Bénoué est une zone fortement fracturée avec une densité de fracturation comprise entre 3,03 km/Km² et 8,63 km/Km².

Une campagne d'identification et de collecte des fiches des ouvrages hydrauliques a permis de recenser et géolocaliser 63 puits et 40 forages. Les opérations de traitement ont été effectuées sur les données des ouvrages et 12 forages ont retenus l'attention dans cette étude. A cela s'ajoute les opérations effectuées sur des images pour une meilleure connaissance des aquifères du bassin. Les fiches techniques des ouvrages sont exploitées pour déterminer les principaux paramètres hydrauliques essentiels et ont servi dans l'identification des failles productives en eau. Le calcul de débits d'exploitation et la transmissivité des ouvrages, superposés sur les fractures ou les zones de densité de fracturation élevée ont permis d'identifier, de cartographier et de classer les structures par ordre d'importance. Les résultats de ces calculs a permis de constater que les transmissivités du bassin oscillent entre 0,017 et 0,178 m²/h. Elles illustrent à souhait que les aquifères du socle soudano sahélien du Cameroun ont une forte fonction conductrice.

Mots-clés: Cartographie, SRTM, Linéament, hydrogéologie, hydraulique, SIG

Mapping Productive Fractures in Groundwater in the Benue Watershed: Contribution of Geomatics

Nana Oumarou Baba, Ing

Doctorant, Chercheur, Unité de Formation Doctorale
(Mécanique, Hydraulique et Génie Civil), Ecole Nationale Supérieure
Polytechnique de l'Université de Maroua

Ewodo Mboudou Guillaume, MC

Enseignant, Chercheur au Département d'Hydraulique et Maîtrise des Eaux,
Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Maroua,
Université de Maroua, Cameroun

Diguim Kepnamou Amadou, PhD

Enseignant, Chercheur au Département de sciences de la terre,
Faculté de Sciences. Université de Garoua, Cameroun

Messi Gabriel, Ing

Doctorant, Chercheur, Unité de Formation Doctorale (Mécanique,
Hydraulique et Génie Civil), Ecole Nationale Supérieure
Polytechnique de l'Université de Maroua, Cameroun

Abstract

This work aims to produce a fracturing map of the study area and identify faults carrying water mineralization through the coupled use of remote

sensing and GIS. To achieve this, Landsat OLI and SRTM imagery were used to visualize and model the watershed and highlight lineamentary structures, through a combination of automatic methods and manual extraction using directional filtering. At the end of the various operations leading to the validation of the fracturing map, it emerged that the upstream Bénoué watershed is a highly fractured zone, with a fracture density ranging from 3.03 km/Km² to 8.63 km/Km². A campaign to identify and collect data on hydraulic structures identified and geolocated 63 wells and 40 boreholes. Processing operations were carried out on the data from the structures, and 12 boreholes received special attention in this study. In addition, image processing was carried out to gain a better understanding of the basin's aquifers. Borehole data sheets were used to determine the main hydraulic parameters and to identify water-bearing faults. Calculations of operating flow rates and transmissivity of structures, superimposed on fractures or zones of high fracture density, enabled the structures to be identified, mapped, and ranked in order of importance. The results of these calculations show that transmissivities in the basin range from 0.017 to 0.178 m²/h. They illustrate that the aquifers of the Sudano-Sahelian basement of Cameroon have a strong conductive function.

Keywords: Mapping, SRTM, Lineament, hydrogeology, hydraulics, GIS

Introduction

Parmi les types de réservoirs souterrain, les aquifères de socle constituent une problématique pendante à cause de leurs faibles productivités en eau. Le caractère hétérogène des aquifères rendent souvent leurs explorations complexes (Lachassagne *et al.*, 2008). Ils sont le plus souvent isolés les uns des autres et s'associent à des couloirs de fracturation qui découlent de la tectonique régionale (Gandolfi *et al.*, 2010). Cette association leur confère une productivité variée parfois influencée par l'épaisseur d'altération et le réseau de fissure (Dewandel *et al.*, 2006 ; Lachassagne *et al.*, 2011). Au Cameroun, le débit d'exploitation des ouvrages dans la zone de socle soudano sahélien de l'Extrême Nord varie entre 0,04 m³/h et 4 m³/h (Ewodo *et al.*, 2017). Dans la zone de socle soudano sahélien de transition jusqu'ici faiblement explorée, le taux élevé des ouvrages négatifs se présente avec acuité. Une des solutions pour améliorer la connaissance hydrogéologique du milieu est l'établissement de la corrélation entre la fracturation et les ouvrages positifs. Les travaux de Yao *et al.*, 2012 ont montré qu'il est nécessaire de commencer l'exploration hydrogéologique par les études structurales. L'avancé technologique a permis à Akokponhoué *et al.*, 2019 de hisser la méthode de télédétection comme meilleure approche d'étude structurale régionale. Elle constitue un outil indispensable et un moyen rapide

d'observation à grande échelle dans la prospection hydrogéologique (Jofack Sokeng., 2016) et la cartographie de réseau de fracture en milieu de socle (Youan Ta *et al.*, 2014 ; Jofack Sokeng., 2016 ; Galanos *et al.*, 2006 ; Jourda *et al.*, 2006). Toutefois, la fiabilité des résultats obtenus par télédétections et leurs validations constituent quelques problèmes (Lasm., 2000 ; Jourda., 2005 ; Youan Ta., 2008). Néanmoins, les observations de terrain viennent appuyer les rendus obtenus par télédétection en confirmant ou infirmant afin de faciliter leur validation. Elle permet de mieux localiser les discontinuités géologiques et les zones à fort intérêt hydrogéologique. L'utilisation combinée de télédétection et SIG peut remédier au manque de données et permettre l'identification des fractures porteuses d'eau souterraine. (Alle *et al.*, 2018 ; Soro *et al.*, 2017 ; Akokponhoué *et al.*, 2019). Le présent travail, vise la cartographie des failles favorable à la circulation de l'eau à travers l'usage de SIG et télédétection.

Présentation du secteur d'étude

Le secteur d'étude situé au SE de la Commune de Mbé (figure.1), est un bassin versant. Il couvre une superficie de 903,69 km² et un périmètre de 163,77 km. Ce secteur d'étude est localisé entre les longitudes 13,406°E et 13,835°E et les latitudes 7,567°N et 7,875°N. Son collecteur principal est le cours d'eau Bénoué à écoulement permanent : d'où l'appellation bassin versant amont Bénoué. Il se caractérise par un réseau hydrographique de type dendritique avec une forte dominance d'écoulement spasmodique. Le climat est de type tropical sec. Il est caractérisé par des irrégularités spatio-temporelles et des hauteurs annuelles de pluies variant entre 600 mm et 1000 mm. Sa température moyenne annuelle se situe autour de 25°C en avril (mois le plus chaud) et de 19°C en décembre (mois le plus froid) (Suchel., 1972). Sur le plan géomorphologique, le relief du bassin est une pénéplaine localisée dans la partie nord de l'escarpement de Ngaoundéré. La monotonie d'ensemble est rompue par endroit par la présence des buttes, des collines rocheuses rongées par l'érosion. Les pentes sont comprises entre 0 et 10 %. Les altitudes des sommets varient entre 1150 m et 1400 m. les altitudes moyennes sont comprises entre 750 m et 1100 m marqué par des petits dômes de relief. Les vallées de la région drainées en période de crue sont localisées dans les zones de basse altitudes (450 m à 700 m).

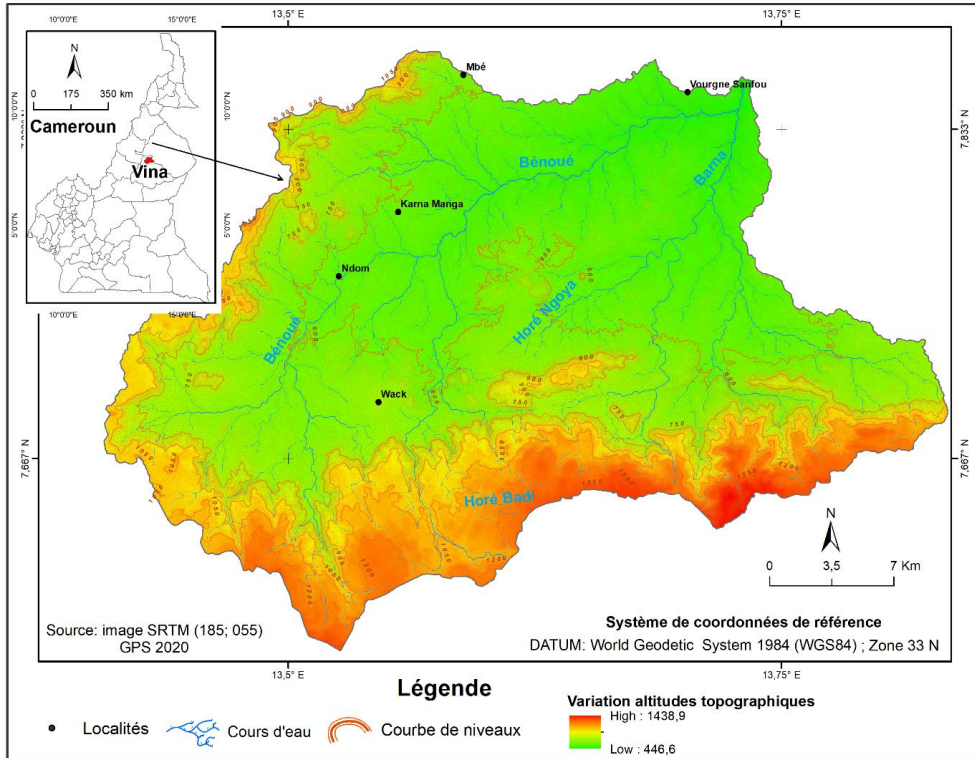


Figure 1 : Localisation du bassin versant

Sur le plan géologique et structural, ce bassin est situé au nord de l'escarpement de Ngaoundéré (Tchakounté *et al.*, 2017). Il est constitué d'un socle cristallin fortement influencé par les mouvements tectoniques (Toteu *et al.*, 2006 ; Dumont, 1987). Les travaux de cartographie géologique de Lassere (1957), de Dumont (1987) sur l'étude structurale des bordures du plateau de l'Adamaoua, de Toteu *et al.*, 2004 et Nzenti *et al.*, 2010) sur la cartographie de la géologie structurale des formations panafricains ont permis de dénombrer huit faciès géologiques : les basaltes, les granites, les gneiss et les formations différenciées (embrechiste, anatexites) et les grands traits structuraux (figure 2).

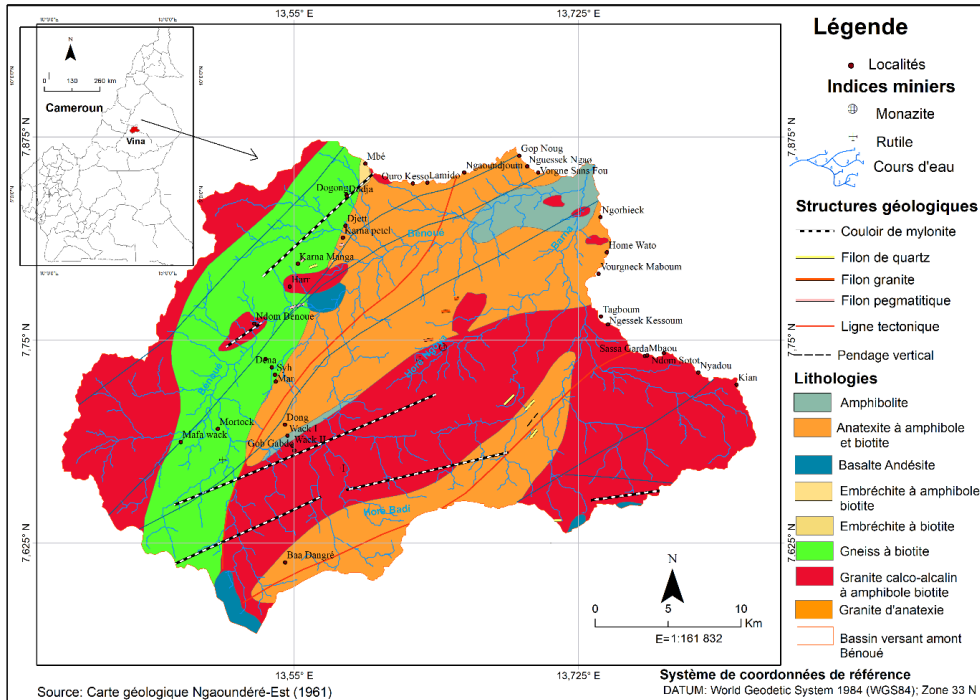


Figure 2 : Géologie du bassin versant amont Bénoué à Mbé

Matériel et méthodes

Données d'étude

Les données collectées concernent : 1) image satellite Landsat 8 obtenue sur le site officiel de Earth Explorer ([https:// earth exploer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov)) scènes 185 – 055 et 184 – 055 téléchargé le 28/01/2021. Son choix a été fait par rapport à la qualité de son domaine d'observation, à leur importance décrite par plusieurs auteurs (Oussou *et al.*, 2019 ; Boubacar et Konaté.,2020) dans la discrimination des linéaments ; 2) l'image SRTM de 30 m de résolution de path et row respectivement 185 et 055 avec les coordonnées comprises entre 13,41 et 13,83 de longitude et 7,57 et 7,87 de latitude. Il a permis de délimiter le bassin versant, de cartographier les linéaments hydrographiques, les pentes et faire une analyse détaillée de la géomorphologie du secteur étudié ; 3) les anciennes cartes géologiques ont servi à la validation des résultats issus du traitement d'image.

En plus de ces données, les fiches techniques des ouvrages hydrauliques obtenues dans les administrations en charge de l'eau, bureau d'études et entreprises de foration ont servi à la discrimination des failles chargées en eau.

Méthodes

Elaboration de la carte de fracturation du bassin versant amont Bénoué Synthèse des anciens travaux

Les anciens travaux sont géoréférencés, numérisés et mise à l'échelle pour servir de document de base de travail préalables à la validation des résultats de traitement d'image. Il s'agit des cartes géologiques suivantes aux échelles variées : la carte géologique du Cameroun de 1979 ; la feuille de Ngaoundéré Est de 1961 et la carte géologique du PRECASSEM de 2021.

Prétraitement des images

C'est une opération préalable à tout traitement. Elle comporte les différentes corrections géométriques, atmosphériques et radiométriques (Ezine *et al.*, 2011). A partir des scènes d'images Landsat 8 OLI téléchargées, ces différentes opérations de prétraitement (correction géométrique, atmosphérique et radiométrique) ont été effectuées à l'aide du module « radiometric » du logiciel Erdas, pour faciliter le processus de traitement et de production des cartes. En plus de ces opérations, on a procédé au mosaïquage grâce à la fonction « mosaic » du menu raster d'Erdas, qui consiste à assembler les scènes d'images satellite (Landsat 8). L'extraction de la zone d'étude s'est faite à l'aide du module « raster vector » et de la fonction « subset-chip » dans le menu raster du même logiciel (figure.3).

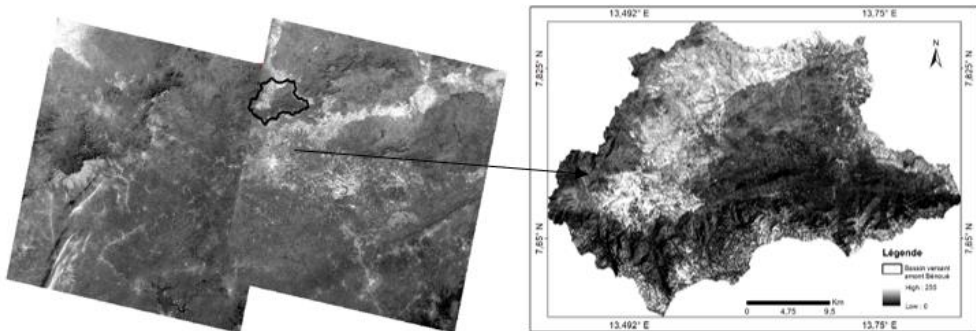


Figure 3 : Délimitation et extraction du bassin versant amont Bénoué sur les scènes Landsat 8

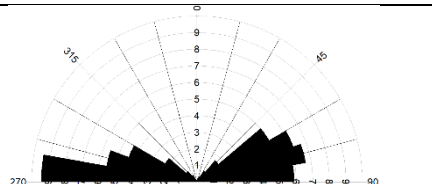
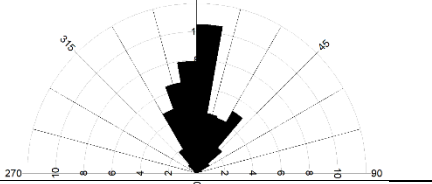
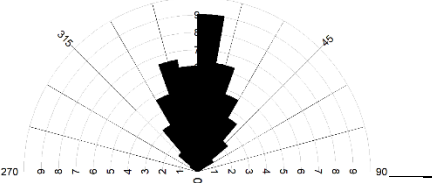
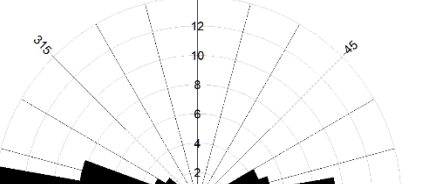
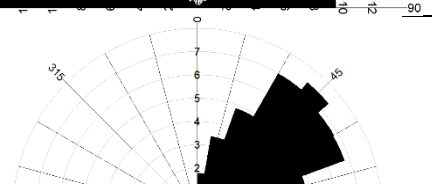
Traitement et extraction linéamentaire

La cartographie des linéaments est la représentation des structures linéaires connues sur un plan. Les linéaments peuvent être regroupés en linéaments hydrographiques, en linéaments d'objets géologiques linéaires ou d'alignement des objets géologiques suffisamment proches (Yao *et al.*, 2012). Les structures linéamentaires sont de plus en plus étudiées en hydrogéologie pour leurs sensibilités à la circulation et parfois à la séquestration des eaux souterraines. Dans le cadre de cette étude, les structures les plus observées

ayant rendu possible la réalisation de la carte de fracturation sont les schistosités et foliation, les failles et les filons.

Les opérations suivantes ont permis de les cartographier. (i) l'analyse en composante principale (ACP) réalisée pour permettre leur extraction automatique à l'aide du module LINE du logiciel géomatica ; (ii) l'extraction des linéaments hydrographiques opérée à l'aide du module ArcMap ; (iii) les filtres directionnels de Sobel (Habib *et al.*,2022 ; Jourda.,2013) de directions N-S ; E-O ; NO-SE et NE-SO, de Prewitt et de Yesou appliqués grâce à la matrice de convolution 7*7 (Boubacar et Konate, 2020). Le rendu final est obtenu à l'issue des opérations de traitement dans un environnement SIG (ArcMap) consistant à éliminer les redondances.

Tableau 1 : Statistique des linéaments obtenus en fonction de la méthode appliquée

N°	Linéaments	Nombre des linéaments	Direction préférentielle des linéaments
1	Previt	946	
2	Sobel E-W	386	
3	Sobel NE-SW	1194	
4	Sobel N-S	80	
5	Sobel NW-SE	1102	

6	Yesou	172	
7	Portion rectiligne des cours d'eau	66	
8	Extraction automatique	1397	
9	Synthèse linéamentaire	5319	

Validation des résultats de traitement d'image

Les cartes géologiques de la partie donnée d'étude et la carte hydrographique ont servi à la validation de la carte linéamentaire en carte de fracturation du bassin. Elle a été possible grâce aux observations de terrain (figure 4) et l'identification de répertoire des failles parallèles aux segments rectilignes des cours d'eau, des linéaments identiques et des formations mylonitiques confirmant l'existence de ces failles dans le bassin. Plusieurs travaux (Biemi *et al.*, 1991 ; Sawadogo.,1984 et Jourda *et al.*, 2006) ont montré que la productivité des forages sont influencées positivement selon qu'ils soient localisés sur la fracturation. Les forages productifs identifiés et géolocalisés du bassin serviront dans la validation de la carte linéamentaire et des structures porteuses d'eau (Kanojin *et al.*, 2012). La figure 5 présente les étapes de conception de la carte de fracturation du bassin versant amont Bénoué à Mbé.



Planche 1: Observations des structures sur le terrain et prise des mesures des attitudes
Sources et coordonnées géographiques : travaux de terrain ; a : 13,52607-7,75753-561m ; b :
13,524811-7,757439-561m et c : 13,528000-7,758412-561m

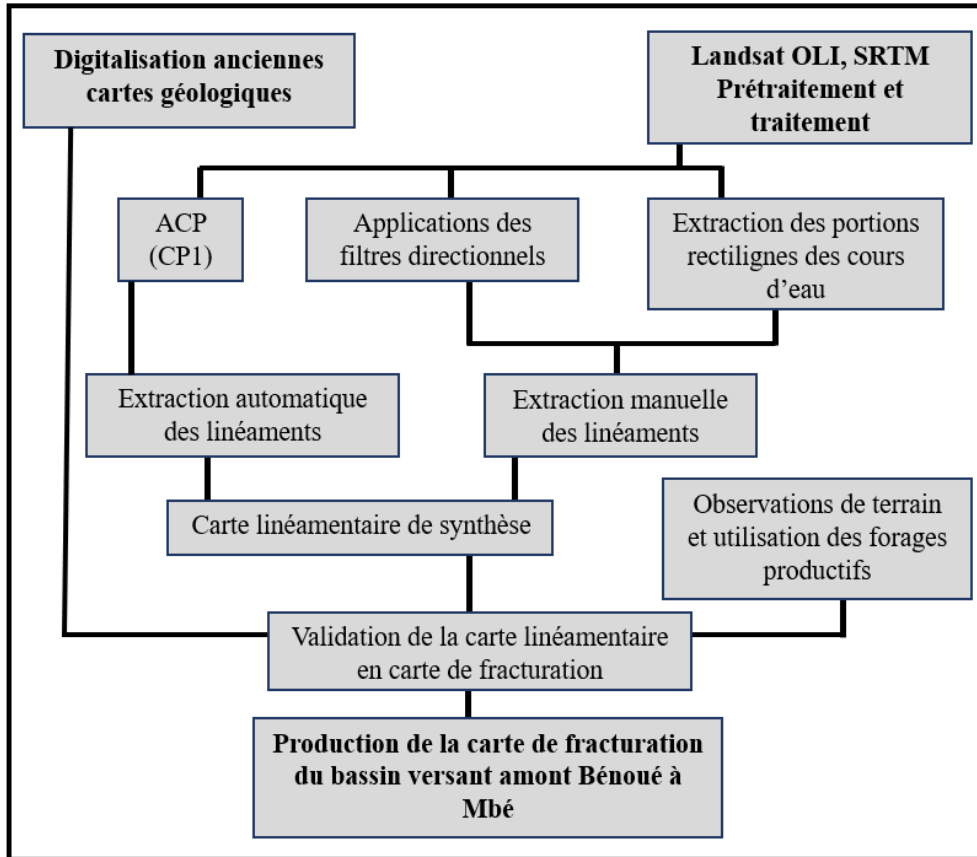


Figure 5 : Diagramme de conception de la carte de fracturation du bassin versant amont Bénoué

Méthode de calcul des densités linéamentaires du bassin versant

La densité linéamentaire est tributaire de la géologie (géologie structurale, pétrographie) et des caractéristiques géomorphologiques. C’est un élément qui permet de cartographier les zones de forte circulation des eaux souterraines. Dans ce travail, la fonction LINE DENSITY de ArcMap grâce à la formule $D_l = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A}$ (D_l : densité linéamentaire, L_i : Longueur des linéaments et A : la superficie du bassin versant) est utilisée pour déterminer la densité linéamentaire du bassin versant amont Bénoué.

Géolocalisation des ouvrages et constitution de la base de données hydrogéologiques

Les travaux de géolocalisation des ouvrages sur le terrain pour la constitution de la base de données ont été exécutés dans le bassin versant amont Bénoué à l’aide du récepteur GPS. La sélection des ouvrages pouvant permettre la localisation et la cartographie des fractures chargées en eau s’est

appuyée sur les critères géologiques et débit d'exploitation des ouvrages. Sur les 103 ouvrages géolocalisés, seul 12 forages permettent de faciliter le processus de classement des structures selon leur capacité à disposer de l'eau.

Tableau 2 : Forages extraits de la grande base de données pour servir la cartographie des structures productives

X (°)	Y (°)	Z (m)	Ouvrages	Profondeur (m)	Débit max à la pompe(m ³ /h)	Nature du socle	Localités
13,695369	7,8568	546	Forage	54	1 m ³ /h	Basalte	Nguesseck Ngai
13,769611	7,740889	618	Forage	55	1 m ³ /h	Basalte	Sassa Garda
13,689222	7,862889	524	Forage	58	4,33 m ³ /h	Granite	Gosnouk
13,5275	7,762167	575	Forage	83	1,2 m ³ /h	Granite	Ndom Bénoué
13,54189	7,69669	715	Forage	46	2,5 m ³ /h	Granite	Wack
13,7037	7,85426	518	Forage	42	2,57 m ³ /h	Gneiss	Vourgne Sanfou
13,55705	7,79411	596	Forage	55	3,75 m ³ /h	Gneiss	Karna Manga
13,54654	7,78204	579	Forage	45	2,4 m ³ /h	Granite	Har
13,53836	7,72495	614	Forage	42	2 m ³ /h	Gneiss	Man
13,60619	7,88036	598	Forage	46	2 m ³ /h	Gneiss	Mbip
13,60043	7,87138	600	Forage	60	1,5 m ³ /h	Gneiss	Panoua
13,59961	7,86976	599	Forage	40	2,77 m ³ /h	Gneiss	Tibang

Sources : Campagne de terrain et fiches techniques des forages (BD 2020 à 2023)

Cartographie et classification des fractures suivant le potentiel de transmissivité

Les débits d'exploitations et la transmissivité des ouvrages représentent une source importante de données devant permettre la cartographie et le classement des fractures selon leurs degrés de favorabilité à la circulation. La classification se fait suite à la superposition des données hydrauliques des ouvrages aux structures cartographiées. Les données de puits utilisées sont celles qui viennent des ouvrages disposant de la ressource en eau en toute saison. Les ouvrages localisés sur les fracturations sont privilégiés dans la cartographie des structures productives.

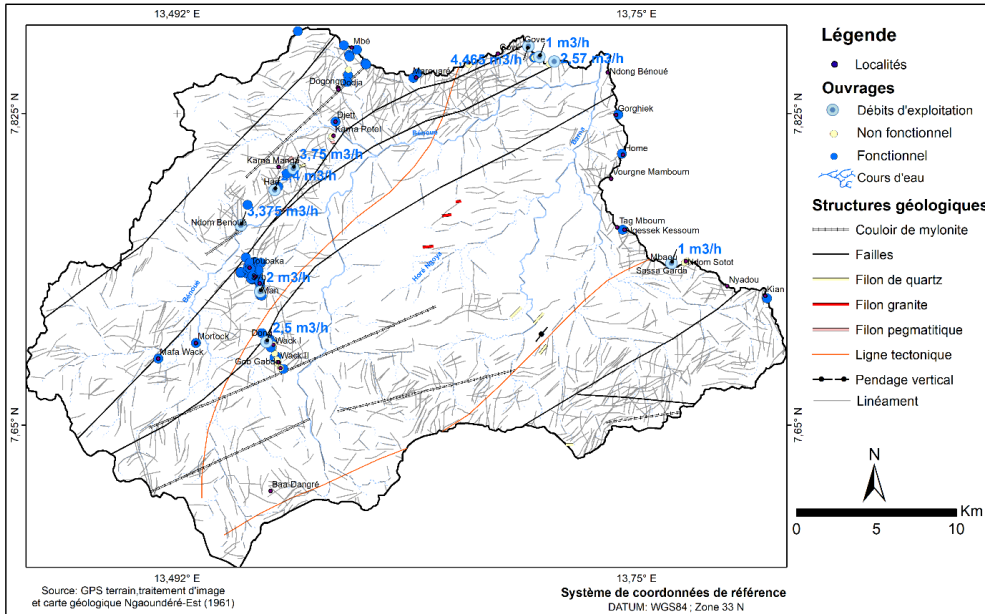


Figure 6 : Superposition des ouvrages productifs aux structures (05 puits, 04 forages)

Résultats

Carte de fracturation du Bassin versant amont Bénoué

Les cartes des figures 7 et 8 présentent les résultats de la cartographie linéamentaire suivant la méthode d'extraction automatique et la méthode manuel respectivement. Sur la figure 7, 1397 linéaments sont cartographiés et présente une direction principale $N45^\circ$ qui est la direction des grandes fractures de la zone et s'identifie également à la direction des cisaillements du couloir Adamaoua Yade. La figure 8 présente 3946 linéaments extraits manuellement avec une orientation préférentielle $N005^\circ$.

La carte de fracturation finale obtenue (figure 9) présente 5343 fractures de direction et de longueur variées. La variation de longueur de fracturation est comprise entre 0,041 km et 4,94 km. La rosace montre deux grandes classes de fracturation selon les orientations :

- Les directions majeures observées dans le quadrant N-E : $N005$ (N-S) ; $N015$; $N025$ et $N035$ (NNE-SSW) ; $N045$ (NE-SW) ; $N055$; $N065$ et $N075$ (ENE-WSW) ; $N095$ (E-W) avec l'orientation principale $N005$;
- Les directions mineures observées dans le quadrant N-W : $N085$ (E-W) ; $N105$; $N115$; $N125$ (WNW-ESE) ; $N145$; $N155$; $N165$ et $N175$ (NNW-SSE) avec les plus courtes fracturations orientées $N135$ (NW-SE).

Elle permet de constater que la direction principale des structures du bassin est la direction des schistosités qui est $N005^\circ$.

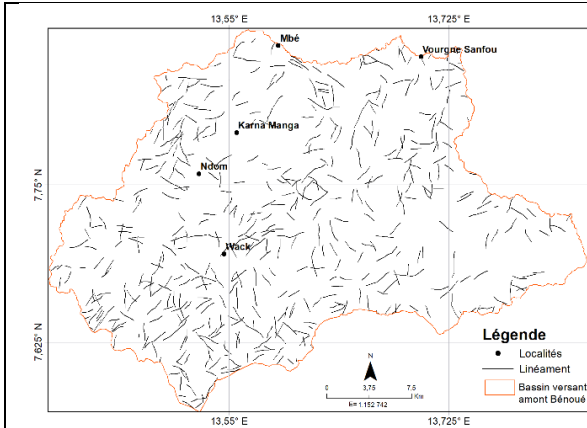


Figure 7 : Extraction automatique des linéaments

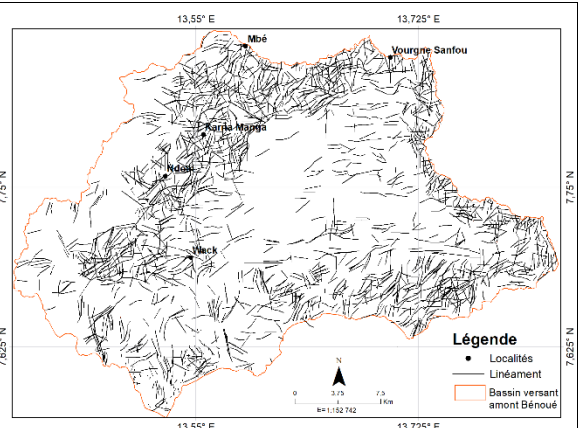
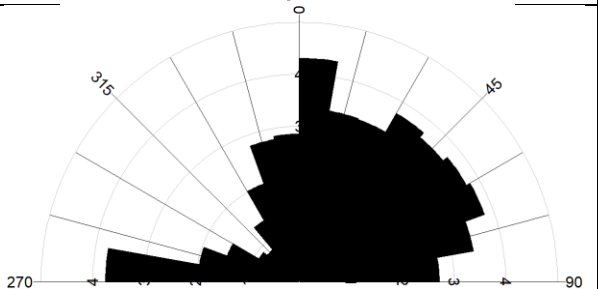
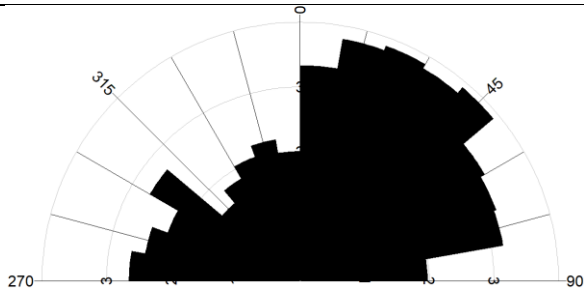
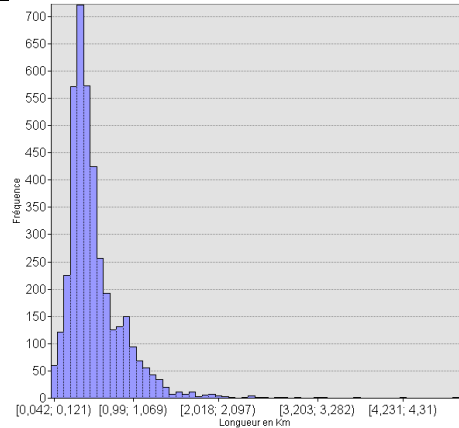
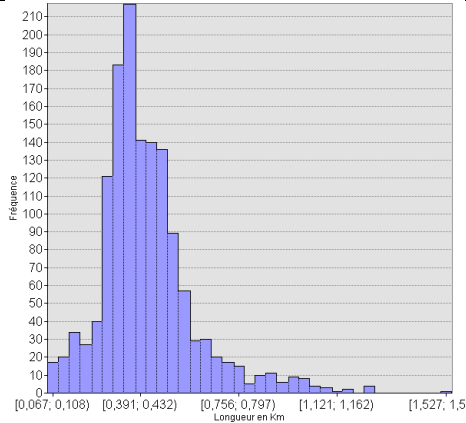


Figure 8 : Extraction des linéaments par filtre directionnel

Statistique	
Count :	1397
Minimum :	0,067082
Maximum :	1,567195
Sum :	610,1514
Mean :	0,436758
Standard Deviation :	0,1782

Statistique	
Count :	3946
Minimum :	0,041883
Maximum :	4,941809
Sum :	2237,30075
Mean :	0,566979
Standard Deviation :	0,351113



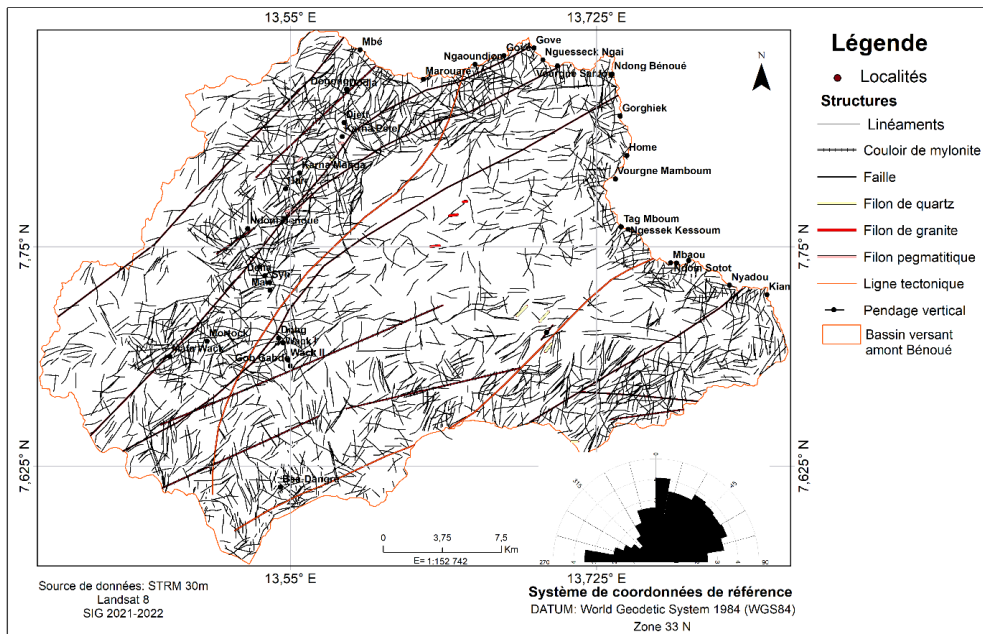


Figure 9 : Fracturation du bassin versant amont Bénoué à Mbé

Zone potentielle de circulation des eaux souterraines

Les écoulements sont contrôlés par les fractures/fissures. Les zones à forte densité de fracturation observées dans la partie N, NNE, SSE en formant une ceinture sur la zone étudiée (figure 10) représente un intérêt certain pour la circulation des eaux souterraines dans le bassin. L'alignement des zones de fortes densités des linéaments s'observe dans les grands couloirs de fracturation du bassin. Ces zones sont marquées sur le terrain par l'alignement des mylonites au niveau de la localité de Ndom et parfois proche de Wack. La partie centrale de notre domaine est marquée par une faible fracturation. Les localités du bassin localisés sur les zones de forte à moyenne densité de fracturation, présentent des ouvrages à débits d'exploitation acceptables (respectivement 2,4 m³/h, 3,75 m³/h et 4,465m³/h). Par contre, les autres localités surfent dans les faibles débits (2 m³/h à 0,911m³/h) selon la classification de Dibi et al., 2004. Les valeurs de densité linéamentaire du bassin varient entre 3,03 km/Km² et 8,63 km/Km².

Les puits des localités positionnés dans les zones à forte densité linéamentaire sont majoritairement positifs et exploités en toute saison malgré la diminution importante du volume d'eau dans ces ouvrages en période d'étiage.

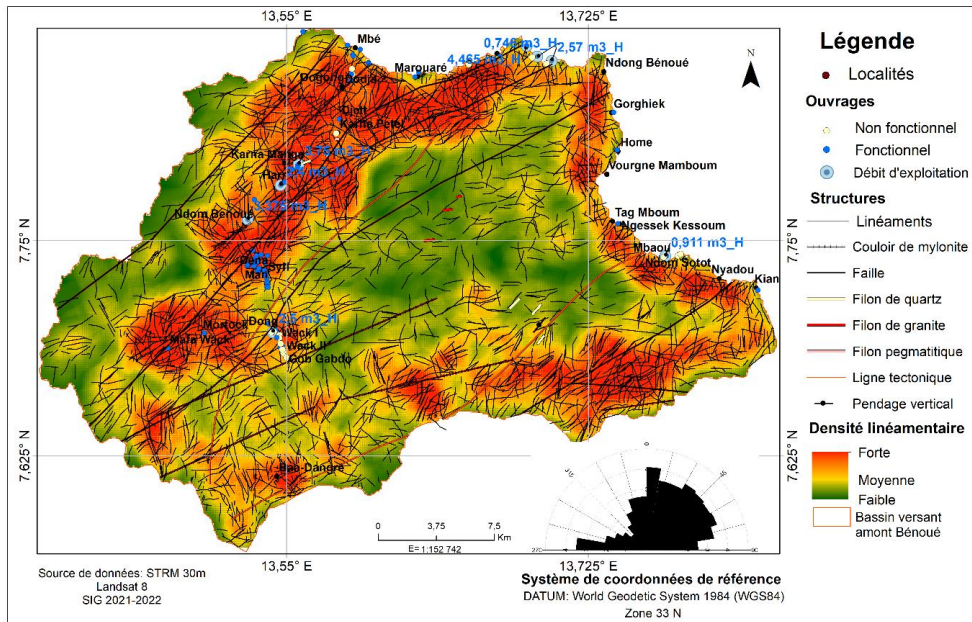


Figure 10 : Densité linéaire du bassin versant amont Bénoué reclassifiée superposée aux débits des ouvrages

Cartographie des structures porteuses d'eau souterraine

La figure 11 présente les failles porteuses de la ressource en eau par degré d'importance. Cette cartographie est obtenue à partir du comportement hydraulique des ouvrages de captage. Les structures ayant une importance certaines ont une orientation NE avec 06 ouvrages directement localisés sur ces fractures. Deux forages à disponibilité permanente d'eau sont localisés sur ces fractures et présentent les meilleurs débits du bassin versant ($4,46 \text{ m}^3/\text{h}$).

Tableau 3 : Classement des structures selon leur production

N°	Classement	Nombre d'ouvrage positif (critère classement)	Orientation
1	Faïlles très importantes	06 ouvrages (04 puits et 02 forage) à production permanente	NNE
2	Faïlles importantes	03 ouvrages (puits) à production permanente	NE ; ENE
3	Faïlles	0 ouvrage réalisé sur la fracture	NNE, NE, ENE et ESE

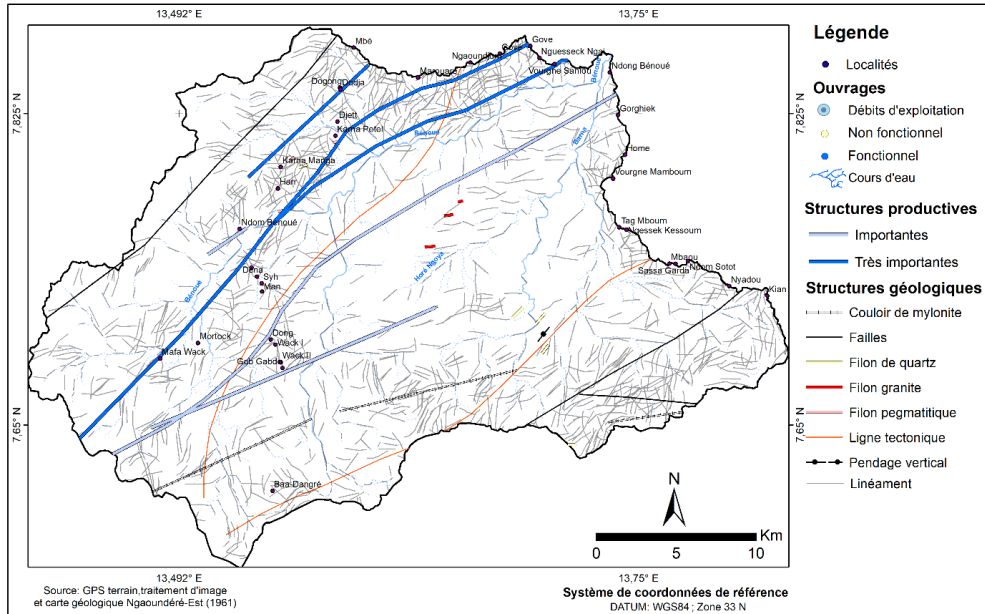


Figure 11 : Structures productives du bassin versant amont Bénoué

Discussions

La caractérisation hydrodynamique des réservoirs fracturés en zone de socle se fait à partir d'une vision globale de l'écoulement (Assemian *et al.*, 2014 ; Bouhsine *et al.*, 2016). Cet écoulement tributaire de la fracturation est souvent modélisé par l'usage de la télédétection. La densité de fracturation est mise en exergue grâce à l'application des techniques de filtrage directionnel. Cette approche a donné des résultats satisfaisants dans des zones similaires (Biemi., 1992 ; Kouamé., 1999 ; Jourda., 2005 ; Youan., 2008 ; Youan *et al.*, 2008 ; Youan *et al.*, 2014 ;). Les résultats obtenus dans cette étude sur le plan géomatique sont conformes aux résultats de plusieurs auteurs ayant travaillé dans la cartographie régionale des fractures en zone de socle pour l'exploration hydrogéologique (Savané *et al.*, 1995 ; Biemi *et al.*, 1991 ; Biemi *et al.*, 1995 ; Savané *et al.*, 1991 ; Saley., 2003 ; Kanohin *et al.*, 2012 ; Koffi *et al.*, 2016 ; Sekouba *et al.*, 2017 ; Oussou *et al.*, 2019 ; koffi *et al.*, 2021 ; Boubacar *et al.*, 2022) ou dans la relation entre la fracturation et la productivité des ouvrages (Khemissi *et al.*, 2015 ; Youan Ta *et al.*, 2015).

Dans ce travail, la validation des résultats obtenus par télédétection s'est faite à partir des ouvrages positifs ayant fait l'objet d'évaluation de leur ressource par les essais de pompage. Cette approche est comparative à celle des auteurs précédemment cités à travers l'usage des SIG pour la validation des résultats de télédétection. La cartographie des structures productives en eau souterraine s'est appuyée sur les ouvrages à production permanente. Par ailleurs, d'autres auteurs combinent la télédétection et la géophysique pour

cette même action (Akokponhoué *et al.*,2019 ; Deffo *et al.*, 2024). Mais il convient de remarquer qu'au regard des propriétés de l'eau, la meilleure méthode géophysique objective est la résonance magnétique des protons (Marie Boucher.,2007). L'approche combinée avec l'analyse multicritère améliore souvent l'identification des potentielles aquifères (Onétié *et al.*,2016 ; Koffi *et al.*,2016). Au-delà de l'exploration, la disponibilité et la permanence des eaux souterraines rendent la ressource relativement favorable à l'exploitation pour les populations (Oussou *et al.*, 2019).

Cette étude révèle les avantages liés à l'usage combiné de télédétection et des SIG dans la phase exploratoire du potentiel hydrogéologique. C'est une approche moins coûteuse et plus rapide dans la couverture des grandes surfaces d'investigation. Le résultat obtenu dans ce travail est satisfaisant. Les réservoirs d'eau souterraine de ce bassin sont concentrés dans les aquifères de fissure et d'altérité. Les études ayant pour principal but de cartographier les structures porteuses de minéralisation d'eau peuvent s'appuyer sur la géolocalisation des ouvrages productifs et leurs capacités à permettre la circulation et l'alimentation durable en eau. Le constat fait au fil des ans met en évidence la qualité des résultats obtenus par l'usage combiné de la télédétection et des SIG dans la phase exploratoire des ressources en eau.

La cartographie effectuée dans cette étude a permis de déceler la direction majeure de fracturation N005°E qui s'avère être celle de Schistosité. Elle correspondrait à une déformation tangentielle à vergence sud selon (Ngako *et al.*,1989). La densité de fracturation constitue une étape essentielle en exploration hydrogéologique des zones de socle. Les zones à forte densité sont souvent recouvertes d'importante couches d'altérations responsables de la qualité des écoulements souterrains. Les ouvrages hydrauliques localisés dans la zone d'influence de la fracturation présentent le plus souvent des débits satisfaisants.

En plus de cette densité de fractures, les structures anciennes (failles) présentent un bon potentiel hydrogéologique avec des débits très important atteignant parfois un débit de 4,46 m³/h.

Conclusion

En définitive, les structures faillées dans la zone sont porteuses de minéralisation d'eau et offre un très bon débit selon la nature géologique traversée. 4,46 m³/h, représente le débit maximal du bassin versant amont Bénoué. La variation obtenue des débits permet de classer les aquifères du bassin dans la catégorie des aquifères à débits moyens. Les formations basaltiques présentent un faible débit (max de 1,6 m³/h) par rapport au socle granitique (4,46 m³/h). L'étude a permis également de mettre en exergue en contexte de socle soudano-sahélien, l'influence de la fracturation sur la production des aquifères. Les ouvrages réalisés sur les fractures ou dans les

zones de densité de fracturation élevées présentent un débit d'exploitation acceptable 2,4 m³/h à 4,6 m³/h. La densité de fracturation du bassin est très localisée. Cette concentration à des endroits bien localisés peut multiplier les sources d'échecs des ouvrages si les études adaptées préalables ne sont pas véritablement effectuées.

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. Aharik, K. et El Garouani, A. (2016). Application du SIG pour la gestion des ressources en eau dans la région de Saïss (Maroc). 3^{ème} Edition du Colloque International des utilisateurs du SIG. The 3rd International conference of GIS User. Oujda 22-23 Novembre 2016.
2. Akame, J. M., Mvondo, O. J., Olinga, J. B., Essono, J. et Mbih, P. K. (2013). Utilisation des modèles numériques de terrain (MNT) SRTM pour la cartographie des linéaments structuraux : Application à l'Archéen de Mezesse à l'est de Sangmélina (Sud-Cameroun). *Geo-Eco-Trop.*, 2013, 37, 1 : 71-80
3. Akokponhoué, Y.N., Yalo, N., Akokponhoué, H.B., Youan, T.M., Agbahoungba, G. (2019). Apport De La Télédétection Et De La Géophysique Dans La Cartographie Des Fractures Hydrauliquement Actives En Zone De Socle Au Centre-Ouest Du Benin. *European Scientific Journal* September 2019 edition Vol.15, No.27 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. Doi:10.19044/esj.2019.v15n27p426.
4. Akokponhoué H. B., Yalo N., Adissin Glodji L., Alassane A., Agbahoungba G., Lasm T. (2018). Cartographies structurale des accidents géologiques majeurs du socle cristallin du département de la Donga (Nord-Ouest du Benin): Apport des images landsat-8 Oli et des données de terrain. *Int. J. of Innovation and Applied Stu*, Vol. 24 No. 3 Oct. 2018, pp. 1266-1283. 5.
5. Alle C., Descloitres M., Vouillamoz J.M., Yalo N., Lawson F.M.A., Adihou A. C. (2018). Why 1D electrical resistivity techniques can result in inaccurate siting of boreholes in hard rock aquifers and why electrical resistivity tomography must be preferred: the example of Benin, West Afric, *Journal of African Earth Sciences* 139, 341-353 p.

6. Assemanian, E. A., Kouamé, F. K., Saley, M. B., Affian, K., Youan Ta, M., Jourda, J. R. & Biemi, J. (2014). Étude de la productivité d'un aquifère de socle et approche statistique pour la détermination des tranches de profondeurs potentiellement productives : cas de la région de Bongouanou, est de la Côte d'Ivoire. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 27(1), 81–97. <https://doi.org/10.7202/1021984ar>.
7. Assie, AE., Fernand Koffi Kouamé, K.F., Saley, B.M., Kouadio, A., Youan, T.M., Jean Patrice Roger Jourda, J.P.R. et Biemi, J. (2014). Étude de la productivité d'un aquifère de socle et approche statistique pour la détermination des tranches de profondeurs potentiellement productives : cas de la région de Bongouanou, est de la Côte d'Ivoire. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 27, n° 1, 2014, p. 81-97. <http://id.erudit.org/iderudit/1021984ar>
8. Koffi, A.S., Kouakou, K.É.G., Tuo, Y. O. (2021). Extraction par la teledetection du reseau de fractures majeures pour la prospection de l'eau souterraine dans la commune de Niakaramandougou. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*. ISSN 2429-5396 I www.american-jiras.com.
9. Benoît, D. (2019). Aquifères de socle : schémas conceptuels, essais par pompage et régionalisation des propriétés hydrodynamiques. *Hydrologie*. Université de Montpellier, 2019. [fftel-02473850f](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02473850f)
10. Biemi, J., Deslandes, S., Gwyn, Q. H. J., Jourda, P. (1991). Influence des linéaments sur la productivité des forages dans le bassin versant de Ta Haute Marahoué (Côte d'Ivoire): Apport de la télédétection et d'un système d'information à référence spatiale. *Télédétection et Gestions des Ressources*, vol. 7, pp 41-49, 1991.
11. Biémi J. ; Jourda J. P. ; Deslandes S. Et Gwyn H. (1995). Positionnement, productivité et gestion des forages en milieu fissuré de Côte d'Ivoire par télédétection et système d'information géographique. *Télédétection et Gestion des ressources en Eau*, Colloque FAO, Montpellier, 29 Nov. au 01 Dec. 1995.
12. Bon, A.F., Ndam, N.J.R., Ewodo, M.G., Ekodeck, G.E. (2016). Caractérisation hydrogéologique des aquifères de socle altéré et fissuré du bassin versant de l'Olézoa à Yaoundé, Cameroun *Hydrogeological characterization of weathered and fissured basement aquifers of the Olezoa watershed in Yaoundé, Cameroon*. *Revue des sciences de l'eau*. Volume 29, numéro 2, 2016. <https://doi.org/10.7202/1036545ar>
13. Boubacar Ali, I., Saley, M. B., Sorokoby, V. M et Koudou A. (2022). Apport de la télédétection et des SIG à l'identification des zones favorables à l'implantation des forages hydrauliques dans le

- Département de Téra, Ouest du Niger. Afrique SCIENCE 20(5) (2022) 75 - 92 75 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>
14. Boubacar, F et Konaté, M. (2020). Utilisation de la télédétection et du SIG pour la cartographie des zones minéralisées en or dans la province panafricaine du sud est Niger (sud Maradi et Damagaram-Mounio). Rev. Ivoir. Sci. Technol., 36 (2020) 230 - 252 230 ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>.
 15. Bouhsine, E.F.I., Said, H., Bouamama, C., Khalid, M. (2016). Rôle De La Fracturation Dans La Circulation Des Eaux Souterraines Et La Répartition Des Sources : Cas Du Bassin Hydrogéologique De Sefrou (Moyen Atlas Septentrional, Maroc). European Scientific Journal August 2016 edition vol.12, No.24 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. doi: 10.19044/esj.2016.v12n24p277.
 16. BRGM / CIEH., 1979 - Cartes de planification des ressources en eau du Cameroun ; principaux bassins sédimentaires. 2 feuilles + 1 carte d'ensemble.
 17. Deffo, F., Mbida, Y., Atangana, Y.Q.J., Koah, S.P., Evina Aboula, Y.S., Ndam Njikam, M.M. (2024). Landsat_8 OLI/SRTM et caractérisation gravimétrique des aquifères de fracture panafricains du centre-nord du Cameroun (Afrique centrale), HELIYON (2024). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26319>.
 18. Dewandel B., Lachassagne, P., Wyns, R., Marechal, J.C., Krishnamurthy, N.S. (2006). A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. Hydrology J., 330, 260-284.
 19. Diguim, K.A., Ganwa, A. A., Klötzli, U., Hauenberger, C., Ngounouno, I., Naïmou, S. 2017. The Pan-African Biotite-Muscovite Granite and Amphibole-Biotite Granite of Doua (Central Cameroon): Zircon Features, LA-MC-ICP-MS U-Pb Dating and Implication on Their Tectonic Setting. Journal of Geosciences and Geomatics, 2017, Vol. 5, No. 3, 119-129 Available online at <http://pubs.sciepub.com/jgg/5/3/3> ©Science and Education Publishing DOI:10.12691/jgg-5-3-3
 20. Dumont, J.F. (1987). Etude structurale des bordures nord et sud du plateau de l'Adamaoua : influence du contexte atlantique. Géodynamique, 2 (1), p. 55-68. ISSN 0766-5105.
 21. Ewodo, M.G., Bon, A.F., Bineli, E., Ntep, F., Ombolo, A. (2017). Caractérisation de la productivité des aquifères du socle de la région de l'Extrême Nord, Cameroun. JOURNAL OF THE CAMEROON ACADEMY OF SCIENCES Vol. 14 No. 1 (2017). <https://dx.doi.org/10.4314/jcas.v14i1.3>

22. Ezzine, I., zargouni, F., Ghanmi, M. (2011). Analyse linéaire des images Landsat TM et spot de l'atlas centro-septentrional : cartographie du prolongement SW de la cicatrice de ZAGHOUAN. *Revue Télédétection*, 2012, vol. 10, n° 4, p. 199-211.
23. Fossou, R.M.N., Lasm, T., Soro, N., Soro, T., Soro, G., DE Lasme, O.Z., Baka, D., Onetie, O.Z., Orou, R. (2015). Variabilité climatique et son impact sur les ressources en eaux souterraines : cas des stations de Bocanda et de Dimbokro au centre-est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'ouest). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°21, Mars 2015, pp. 97-120 © 2015 Tous droits réservés
24. Galanos I., Rokos D. (2006). A statistical approach in investigating the hydrogeological significance of remotely sensed lineaments in the crystalline mountainous terrain of the island of Naxos, Greece. *Hydrogeology journal* vol.14, pp 1569-1581.
25. Ghabane O., El Ghachi M., ARIOUA A. (2016). L'apport des Systèmes d'Information Géographiques dans l'évaluation et la représentation de la qualité des eaux de Surface dans le haut bassin de l'OUM ER RBIA (2000- 2013) Moyen atlas central Maroc. 3ème Edition du Colloque International des utilisateurs du SIG. *The 3rd International conference of GIS User*. Oujda 22-23 Novembre 2016.
26. Gandolfi J.M., Wyns R. et Damy, P.C. (2010). Diagnostic des potentialités aquifères des formations de socle en région Mid-Pyrénées. Rapport BRGM/RP-58808-FR. 141p.
27. Jourda J.P. (2005). Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'ouest. Concept de l'Hydrotechnique spatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat ès Sciences Naturelles, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 429 p. 16.
28. Jourda, P., Saley, M. B., Djagoua, E. M., Kouamé, K. J., Biémi, J., Razack, M. (2006) "Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine 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 Internationale de Télédétection*, Vol. 5, n°4, pp 339-357, 2006.
29. Kouamé, K., Adja, M.G., Saley, M.B., Jourda, J.P.R. (2013). Performing a pseudo-panchromatic SAR image of Radarsat-1 for lithostructural mapping of the Precambrian basement in Korhogo region (North of Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies* 2(4):392-411.

30. Kabre W.P. (2012). Caractérisation hydrogéologique d'un aquifère en milieu de socle fracturé, cas De la province du Kourwéogo. Mémoire de Master d'ingénierie en eau et assainissement.
31. Kamagate, B., Gone, D.L., Doumouya, I., Ouattara, I., Ouedraogo, M., Bamba, A et Savane, I. (2011). Relation nappe-rivière dans le bassin versant du Bandama en milieu de socle fissuré en Côte d'Ivoire : approche couplée hydrochimie – télédétection. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(1): 206-216, February 2011. <http://indexmedicus.afro.who.int/>
32. Kanohin, F.E.O., Saley, M.B., Aké, G.E., Savané, I. (2012). Apport de la télédétection et des SIG dans l'identification des ressources en eau souterraine dans la région de Daoukro (Centre-Est de la Côte D'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 2012, 1 (1), pp.35-53. fhal-00771901f.
33. Khemissi, C., Djawhar, K., Fathi,B. (2015). Relation entre fracturation et morphologie et leurs implications hydrogéologiques : Exemple des calcaires fissurés de la région de Chéria, (NE Algérien). *Afrique SCIENCE* 11(1) (2015) 252 - 259 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>.
34. Kra, K.J., koffi, Y.S.K., Alla, K.A. (2016). La ville de Khorogo à l'épreuve de l'approvisionnement en eau potable. *Humanitas*, 15, 2016. Département de Géographie Université Péléforo Gon Coulibaly (Korhogo, Côte d'Ivoire).
35. Koffi, K. M., Yao, K. T., Mobio, A., Oga, Y. M. S. (2016). Apport de l'analyse multicritère à la cartographie des zones favorables à l'implantation de forages dans la région de Gagnoa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire). *Geo-Eco-Trop.*, 2016, 40, 4 : 327-344.
36. Kouadio, A.M., Koraba,M.T. (2019). Accès à l'eau potable et maladies hydriques chez les immigrés dans la ville de Gagnoa (Centre-Ouest de la Cote d'Ivoire). *Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé*, 2 (3), 20-40.
37. Kouassi, E.G. K., Kouame, L.N., Sombo,A.P., Djroh,S.P., Sombo,B.C. (2017). Résistivité électrique et géomorphologie : identification des aquifères de socle et critères pour le choix des points d'implantations des forages dans le département de Daoukro, Sud-Est Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE* 13(3) (2017) 98 - 112 98 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>.
38. Kouam,K.G.R., Mpakam, G.H., Ndonwy,A.S., Bopda,D.S.L., et Georges E. Ekodeck,G.E. (2006). « Gestion intégrée des ressources en eau et objectifs du millénaire pour le développement en Afrique : Cas du Cameroun », *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, Volume 7 Numéro 2 | septembre 2006,

- mis en ligne le 27 avril 2009, consulté le 16 mars 2021. URL: <http://journals.openedition.org/vertigo/2319> ;
DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.2319>
39. Koudamiloro, O., Vissin, E.W., Dipama, J.M. (2017). Caractérisation Des Risques Hydroclimatiques Dans Le Bassin Versant De L’Ouémé A L’exutoire De Bétérou Au Bénin (Afrique De L’ouest). *European Scientific Journal* May 2017 edition Vol.13, No.15 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n15p101>
 40. Koukougnon, W.G., et Guede, C.M. (2020). Analyse de l’état du service d’hydraulique rurale dans la région de l’Agneby Tiassa (sud de la côte d’ivoire). N° 003 Volume 1 Décembre 2020. Géovision.
 41. Lachache S., Merzougui T. (2016). Caractérisation hydrogéologique et hydrochimique de la Région de Meridja à l’aide d’un SIG (région de Béchar sud-ouest, Algérien). 3ème Edition du Colloque International des utilisateurs du SIG. The 3rd International conférence of GIS User. Oujda 22-23 Novembre 2016.
 42. Lachassagne, P., Wyns, R. et Dewandel, B. (2011). The fracture permeability of hard rock aquifers is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 23, 145-161
 43. Lasm T. (2000). Hydrogéologie des réservoirs fracturés de socle : Analyses statistiques et géostatistique de la fracturation et des propriétés hydrauliques. Application à la région des montagnes de European Scientific Journal September 2019 edition Vol.15, No.27 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431 447 Côte d’Ivoire Domaine archéen), Thèse de doctorat, Université de Poitiers, 272 p.
 44. Leray, S., de Dreuzy, J.-R., Bour, O., Bresciani, E. (2012). Numerical modeling of the productivity of vertical to shallowly dipping fractured zones in crystalline rocks. *J. Hydrol. Géosciences Rennes (UMR 6118 CNRS), Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, 350.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.014>.
 45. Maréchal, J.C., Robert Wyns, R., Lachassagne, P., Kambhampati, S., Touchard, F. (2003). Anisotropie verticale de la perméabilité de l’horizon fissuré des aquifères de socle : concordance avec la structure géologique des profils d’altération. *Géosciences de surface/Hydrologie–Hydrogéologie. C. R. Geoscience 335 (2003) 451–460.*
 46. Marie Boucher. Estimation des propriétés hydrodynamiques des aquifères par Résonance Magnétique des Protons dans différents contextes géologiques, de l’échantillon à l’échelle hydrogéologique. *Hydrologie. Université d’Orléans, 2007. Français. ffNNT : 2007ORLE2022ff. fftel-00178045f.*

47. Messi, O.E.J. et Nsifa, E. (2015). Etude structuro-pétrographique d'une portion du complexe du Ntem dans le secteur de Lolodorf, département de l'ocean (Sud, Cameroun). Editions Universitaires Européennes,2015.
48. Ngouh, A. N., Kpoumie, A., Nyembe Etame.G., Kohtem Lebga,A., Ndjeng, E., Ndam, N.J.R. (2020). Caractérisation Hydrodynamique et Qualité des eaux de l'aquifère à nappe libre du bassin versant du Nkié (Yaoundé-Cameroun). European Scientific Journal May 2020 edition Vol.16, No.15 ISSN: 1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431. Doi:10.19044/esj.2020.v16n15p281
49. N'kongon, Y.J. (2018). Extension du réseau de distribution d'eau potable dans le district d'Abidjan. European Scientific Journal March 2018 edition Vol.14, No.8 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857-7431. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n8p227>.
50. Nkouandou, O.F., Ngounouno, I., Deruelle, B. (2010). Géochimie des laves basaltiques récentes des zones Nord et Est de Ngaoundéré (Cameroun, Plateau de l'Adamaoua, Afrique centrale): pétrogenèse et nature de la source. Int. J. Biol. Chem. Sci. 4(4): 984-1003, August 2010. t <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
51. Nkounkou, L.C., Louzayadio, M.R.F., Ayessou, N., Elouma, N.A.M., Ngakegni-Limbili, A.C., Mar Diop, C.G., Ouamba, J.M. (2017). Approvisionnement En Eau Dans La Ville De Brazzaville, Congo. European Scientific Journal July 2017 edition Vol.13, No.21 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431 474. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n21p474>
52. Nya, E.L., Mougoué, B. (2020). Approvisionnement en eau de consommation et récurrence des maladies hydriques dans la Commune De Bangangté (Ouest-Cameroun). European Scientific Journal April 2020 edition Vol.16, No.11 ISSN: 1857-7881 (Print) e - ISSN 1857-7431. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n11p115>.
53. Nzenti, J.P., Abaga, B., Suh, C.E. and Nzolang, C. (2010) Petrogenesis of Peraluminous Magmas from the Akum-Bamenda Massif, Pan-African Fold Belt, Cameroon. International Geology Review, 53, 1121-1149. <https://doi.org/10.1080/00206810903442402>
54. Onétié, Z. O., Lasm, T., Coulibaly, A., Baka, D., Fossou, N. M. R., Youan, T. M., Yao, K. A. F., Aoulou, K. A. (2016). Apport Du SIG Et De L'analyse Multicritère Dans La Prospection Hydrogéologique Du Socle Précambrien De Gagnoa (Centre-Ouest De La Côte d'Ivoire). European Scientific Journal August 2016 edition vol.12, No.23 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. doi: 10.19044/esj.2016.v12n23p137 URL: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n23p137>

55. Ouandaogo-Yameogo, S., Blavoux, B., Nikiema, J. & Savadogo, A. N. (2013). Caractérisation du fonctionnement des aquifères de socle dans la région de Ouagadougou à partir d'une étude de la qualité chimique des eaux. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 26(3), 173–191. <https://doi.org/10.7202/1018784ar>
56. Oussou, E.F., Oloukoi, J., Yalo, N., Boukari, M. (2019). Analyse Spatiale du Potentiel en eau Souterraine dans le Bassin du Zou au Sud du Bénin (Afrique de L'ouest). *European Scientific Journal* September 2019 edition Vol.15, No.27 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857-7431. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n27p402>
57. Rihab, G., Malek, A., Néji, B., Mohamed, H.I. (2016). Prospection géophysique pour la recherche d'eau souterraine dans le Nord-Ouest de la Tunisie, *Hydrological Sciences Journal*, 61 :3, 636-645, DOI : 10.1080/02626667.2014.914213
58. Saley, M.B. (2003) Système d'information hydrogéologique à référence spatiale, discontinuités pseudo-images, et cartographie thématique des ressources en eau de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse unique de doctorat, Université de Cocody, Abidjan.
59. Sawadogo, A. N. (1984). Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute Volta". Etude régionale du Bassin versant de la Sissil. Thèse Doctorat ès Sci. Nat., Univ. Grenoble 1, Inst. Dolomieu, 350 p, 1984.
60. Sauret E. S. G. (2005). Caractérisation hydrochimique et qualité des eaux souterraines du Projet hydraulique villageoise 310 forages, dans la boucle du Mouhoun : provinces des Banwa, des Bales, du Mouhoun et de la Kossi (Burkina Faso). Mémoire d'ingénieur géologue à Institut des Sciences de la Terre (IST).
61. Savané I. ; Gozé B. ; Biémi J. (1995). Evaluation des ressources en eau dans le socle par l'étude des fractures à l'aide des données Landsat (Bassin d'Odienné, Côte d'Ivoire). *Téledétection et Gestion des ressources en Eau*, Colloque FAO, Montpellier, 29 Nov. au 01 Dec. 1995.
62. Savané I. et Biémi J. (1999). *Téledétection et S.I.G pour l'étude des aquifères du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire)*. *Téledétection*, 1999, Vol. 1, N°1 pp.47-64.
63. Sékouba, O., Gnanou, C. A., Akpa, Y. L., Saley, M. B., Kouamé, K. F., Therrien, R. (2017). Identification Des Zones Potentielles De Recharge Des Aquifères Fracturés Du Bassin Versant Du N'zo (Ouest De La Côte d'Ivoire) : Contribution Du SIG Et De La Téledétection. *European Scientific Journal* December 2017 edition Vol.13, No.36 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431. Doi:

10.19044/esj.2017.v13n36p192.

URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n36p192>

64. Soro, D. D. (2017). Caractérisation et modélisation hydrogéologique d'un aquifère en milieu de socle fracturé : cas du site expérimental de Sanon (région du plateau central au Burkina Faso). Université Pierre et Marie Curie–Paris 6 (UPMC) - Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE).
65. Soro, G., Soro, N., Ahoussi, K.E., Lasm, T., Kouamé, F.K., Soro, T.D., Biémi, J. (2010). Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristalline et métamorphique dans la région des Lacs (centre de la Côte d'Ivoire). Assessment of the hydraulic properties of fractured aquifers in crystalline and metamorphic formations in the region of Lacs (Central Côte d'Ivoire). *Estudios Geológicos*, 66(2) julio-diciembre 2010, 227-242 ISSN : 0367-0449 doi:10.3989/egeol.40123.093.
66. Tchameni, R., Pouclet, A., Penaye, J., Ganwa, A.A. and Toteu, S.F. (2006) Petrography and Géochemistry of the Ngaoundéré Pan-African Granitoids in Central Nord Cameroon: Implication for Their Sources and Geological Setting. *Journal of African Earth Sciences*, 44, 511-529. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2005.11.017>
67. Tchouongsi, K.E., Mougoue, B., Tagne, T.C., Touoyem, M.F., Bonganum, N.S. (2020). Approvisionnement en eau et risques sanitaires dans le bassin versant amont de l'Abiergué à Yaoundé (Cameroun). *European Scientific Journal* March 2020 edition Vol.16, No.8 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857-7431 <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n8p102>
68. Xavier, L.R., Kane, M., Marcellin, C., Sy, M., Ball, O., Diallo, O., Crochet, G., Herbretreau, A.B., Abdoul Ba. (2005). Pauvreté et accès à l'eau dans la vallée du Sénégal. *Pauvreté Hydraulique et Crises Sociales : Colloque International*, Dec 2005, Agadir, Morocco.
69. Xinhui, H., Hong, Z., Junwei, W., Yuan, G., Heng, Z. (2022). The effects of rainfall on groundwater hydrogeochemistry and chemical weathering. *Research square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1548512/v1>
70. Yao, K.T., Fouché-Grobla, O., Oga, Y.M.S., Assoma, T.V. (2012). Extraction de linéaments structuraux à partir d'images satellitaires, et estimation des biais induits, en milieu de socle précambrien métamorphisé. *Téledétection*, 2012, 10 (4), pp.161-178. fhal-01948904f.
71. Yao, K.T., Oga, Y.M.S., Fouché, O., Kouadio, K.E., Ferriere, G., Pernelle, C. (2014). Rôle hydrogéologique des linéaments structuraux en milieu cristallin et cristalloyllien : cas du bassin versant du

- Sassandra, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE* 10(4) (2014) 78 – 92. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>
72. Youan Ta, M. (2008) Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à la prospection hydrogéologique du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Cas de la région de Bondoukou Nord Est de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat unique, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 236 p.
73. Youan Ta, M., De Lasme, O., Baka, D., Lasm, T., Jourda, J.P., Biemi, J. (2015). Analyse des propriétés hydrodynamiques de l'aquifère fissuré du socle Paléoproterozoïque : Aide à l'approvisionnement en eau potable des populations de la région de Bondoukou (Nord-est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 13 No. 3 Nov. 2015, pp. 561-580 © 2015 Innovative Space of Scientific Research Journals <http://www.ijias.issr-journals.org/>
74. Zoungrana, T. P. (2007). Problématique de l'accès à l'eau potable sur les rives du lac de bagré, Burkina Faso. *Rev. Sc. Env. Univ. (Togo)*, 2007, n° 003 ISSN 1812-1413.

L'éducation, l'unique frein pouvant ralentir, voire arrêter l'exploitation abusive de l'environnement, dans le cadre du développement durable, cas de la Région Boeny

Tsimisanda Basile

Doctorant, Ecole Doctorale en Biodiversité et Environnement Tropicaux,
Université de Toliara, Toliara, Madagascar

Tahiana Andriaharimalala

Docteur, Centre National de la Recherche sur l'Environnement (CNRE)

Félicitée Rejo-Fienena

Professeur Titulaire, Ecole Doctorale en Biodiversité et Environnement
Tropicaux, Université de Toliara, Toliara, Madagascar

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p293](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p293)

Submitted: 27 July 2024

Accepted: 15 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Tsimisanda B., Andriaharimalala T. & Rejo-Fienena F. (2024). *L'éducation, l'unique frein pouvant ralentir, voire arrêter l'exploitation abusive de l'environnement, dans le cadre du développement durable, cas de la Région Boeny*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 293. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p293>

Résumé

La dynamique « *éducation relative à l'environnement* » alias *ErE* n'est pas une fin en soi, car elle fait partie intégrante des programmes scolaires. Du fait de son efficacité interne et externe, elle est par excellence, le palier intermédiaire servant de passerelle via le développement durable. Grâce à son importance d'envergure internationale, son épopée conquiert actuellement, une couverture géographique spacieuse à travers le monde entier. Cela nous amène à entrer en profondeur sur une analyse répondant aux principes du développement durable tout en détectant *l'ampleur des préjudices subis*. L'axe stratégique de cette analyse se cantonne exhaustivement sur l'étude des activités humaines, en particulier, celles qui gravitent autour du secteur économique secondaire, pour ne citer que l'industrialisation et ses retombées négatives sur les paramètres environnementaux. *Le concept de développement durable* véhiculé par l'ErE a généré d'interminables controverses, du fait des pratiques éducatives qu'elle revendique. Toutefois, avec le regain d'intérêt sur les régulations économiques prônées par l'Agenda 21, l'ErE vise, dans un

premier temps, d'instruire les élèves, de la maternelle jusqu'à l'université sur l'importance capitale du développement durable, puis sur la nécessité de protéger l'environnement, et enfin, sur la participation effective des citoyens au processus ainsi enclenché, et dans un second temps, de décliner les principes du développement durable au niveau des collectivités territoriales décentralisées (régions et communes). Ainsi donc, à tort ou à raison, il n'est pas erroné de mettre en exergue que toute tentative de relance ayant pour objectif l'accélération du développement durable à l'échelle mondiale, va indissociablement de pair avec une économie harmonieuse, équilibrée et stable. En conséquence, pour que le programme ainsi préconisé triomphe de réussite, il faut qu'il y ait une mesure d'accompagnement priorisant d'une manière absolue, les desideratas des localités bénéficiaires et ce, avec une vision à long terme. Cette initiative a pour but d'inciter les ayants-droits à agir de concert en les conscientisant à s'appropriier du développement durable, et d'éviter toute tentative de divergence d'opinion et toute incohérence susceptible de saper le programme préétabli.

Mots-clés: Développement durable, éducation relative à l'environnement, éducation de masse et participation citoyenne

**Education, the only brake that can slow down, or even stop,
the abusive exploitation of the environment, within the
framework of sustainable development:
the case of the Boeny Region**

Tsimisanda Basile

Doctorant, Ecole Doctorale en Biodiversité et Environnement Tropicaux,
Université de Toliara, Toliara, Madagascar

Tahiana Andriaharimalala

Docteur, Centre National de la Recherche sur l'Environnement (CNRE)

Félicitée Rejo-Fienena

Professeur Titulaire, Ecole Doctorale en Biodiversité et Environnement
Tropicaux, Université de Toliara, Toliara, Madagascar

Abstract

The dynamic "environmental education" aka ErE is not an end in itself, because it is an integral part of school programs. Due to its internal and external efficiency, it is par excellence, the intermediate level serving as a bridge via sustainable development. Thanks to its widespread popularization, his epic currently conquers a spacious geographical coverage throughout the

world. This leads us to go into depth on an analysis responding to the principles of sustainable development while detecting the extent of the damage suffered. The strategic axis of this analysis is exhaustively confined to the study of human activities, in particular, those which revolve around the secondary economic sector, to mention only industrialization and its negative repercussions on environmental parameters. The concept of sustainable development conveyed by ErE has generated endless controversies, due to the educational practices it advocates. However, with the renewed interest in regulations advocated by Agenda 21, the ErE aims, firstly, to educate students, from nursery school to university, on the capital importance of sustainable development, then on the need to protect the environment, and finally, on the effective participation of citizens in the process thus initiated, and secondly, to apply the principles of sustainable development at the level of decentralized local authorities (regions and municipalities). Thus, rightly or wrongly, It is not wrong to highlight that any recovery attempt that targets the acceleration of sustainable development on a global scale goes inseparably hand in hand with a harmonious, balanced and stable economy. Consequently, for the program thus recommended to be successful, there must be a support measure that absolutely prioritizes the wishes of the beneficiary localities and this, with a long-term vision. This initiative aims to encourage rights holders to act together by making them aware of their ownership of sustainable development, and to avoid any attempt at divergence of opinion and any inconsistency likely to undermine the pre-established program.

Keywords: Sustainable development, environmental education, mass education and citizen participation

Introduction

1- Contexte international de l'environnement

Au niveau international, la dégradation exponentielle de l'environnement devient un sujet inquiétant car elle semble difficile à éradiquer. De nombreux pays y sont confrontés et chacun cherche tous les moyens pour l'éradiquer ou du moins diminuer ses impacts. Or, malgré toutes les mesures prises pour y remédier, elle ne cesse de prendre de l'envergure et elle arrive même à infester les pays les plus verts du monde, comme Madagascar. De nombreux chercheurs ont mené des études pour découvrir les différentes sources de ce fléau dans le seul objectif de pouvoir y proposer des solutions adéquates. Actuellement, la lutte contre ce fléau représente un des enjeux majeurs à prioriser. Il faut effectivement faire face à tous les changements qu'il provoque dans le monde et aux actions humaines à retombées dévastatrices. Tous ces problèmes revendiquent ipso facto des solutions novatrices et idoines semblent nécessaire. Ainsi, la vision du monde

vis-à-vis de l'éthique du développement durable priorise sa réhabilitation tel que stipule l'objectif 15 Cible 15.1 : « garantir la préservation, la restauration et l'exploitation durable des écosystèmes terrestres et des écosystèmes d'eau douce et des services connexes, en particulier les forêts, les zones humides, les montagnes et les zones arides, conformément aux obligations découlant des accords internationaux¹. »

Le défi à relever est de réguler harmonieusement l'équilibre de l'exploitation des ressources naturelles car la FAO a pu, en 2020, avancer que « les activités humaines sont responsables de la déforestation de 10 millions d'hectares par an. » Et c'est la population rurale qui est généralement identifiée comme la cause principale de cette dégradation, selon une enquête menée par la Banque mondiale en 2002.

2- Contexte national de l'environnement

Une île se situant dans le continent de l'Océan indien, Madagascar fait partie des dix « hotspots » de la diversité biologique mondiale ; comme il fait partie des douze pays dits « à mégadiversité » qui abritent 80 % de la biodiversité planétaire². Etant une île, Madagascar se singularise par son importante diversité topographique, ses paysages, son climat et ses riches espèces végétales et animales. Cette diversité biologique de couverture forestière d'origine est cependant fortement menacée par de nombreuses activités anthropiques qui vont des feux de végétation à l'exploitation chaotique de sols. Cette situation a pour effet de diminuer chaque année la superficie des habitats naturels à Madagascar, accentuant ainsi la menace d'extinction des espèces animales et végétales endémiques qui en dépendent.

3- Contexte de l'environnement dans la région de Boeny

Et selon une étude menée par la Direction Régionale de l'Environnement et du Développement Durable de Boeny en février 2019, les ressources naturelles qui constituaient des richesses spécifiques pour cette région commencent à disparaître à une vitesse vertigineuse. Il ne reste plus actuellement que 10% de ces forêts³. Etant natif de cette région, nous ne pouvons que nous inquiéter de cet état environnemental et nous avons même pu imaginer l'état dans lequel il se trouvera dans une vingtaine d'années. Quelles que soient les mesures prises par les responsables de la protection de l'environnement, celui-ci ne cesse de se dégrader. Les habitants de cette région vénèrent l'éducation, pourtant malgré toute l'éducation et toutes les sensibilisations menées pour préserver l'environnement, il se dégrade de jour en jour. Et c'est pour cette raison que nous avons choisi comme *thème pour*

¹ Objectifs du Développement Durable (ODD) – Cible 15.1

²HARMON, 2002

³<https://lexpress.mg>

cet article ; « L'éducation, l'unique frein pouvant ralentir, voire arrêter l'exploitation abusive de l'environnement, dans le cadre du développement durable. »

Il est déplorable de constater de visu, la destruction exponentielle de la plupart des composants essentiels de l'environnement de Boeny. Selon la FAO, nous, les humains, nous sommes responsables de la destruction de **10 millions** d'hectares de forêts par an. En allant au bout de la logique, on peut dire que ces désastres imputables à l'accroissement démographique galopant et à la surexploitation abusive et illicite des ressources naturelles, sont devenus objets de polémique, d'où l'incitation à affronter de face les problèmes. De tout ceci, ***nous nous demandons comment procéder pour atténuer les affres de la destruction environnementale et de l'exploitation forestière qui reste et constitue une grande source de revenu pour certaines populations.***

Nous convenons avec les autres chercheurs que si les conséquences néfastes de la déforestation et de la destruction de l'environnement persistent, c'est parce que les humains vivent de cette déforestation et nous exploitons irrationnellement ces arbres. Leur abattage est réellement un mal nécessaire pour satisfaire nombreux de nos besoins quotidiens, or, la présence de ces arbres conditionne notre assurance de survie. Cependant, au rythme auquel nous les exploitons, nous pouvons nous attendre au pire : nous creusons nous-même le trou dans lequel nous tomberons. En hypothèse, l'unique solution susceptible d'atténuer cette catastrophe serait le recours à l'Education relative à l'Environnement et au renforcement de son enseignement inscrit comme pivots indispensables pour la promotion du développement durable. Elle instruit effectivement les stratégies leur permettant d'éluder les gabegies sur les ressources naturelles, d'où la nécessité de contrôler son application car elle est déjà intégrée dans les programmes scolaires afin de cultiver chez les élèves, un réflexe environnemental.

L'objectif de cette étude est de montrer la nécessité de l'éducation relative à l'environnement (ErE) dans la préservation de l'environnement. En effet, la lecture et le calcul sont introduits dans les programmes scolaires, et tous les élèves savent lire calculer et compter. Nous pensons donc que si l'ERE qui est déjà insérée dans les programmes scolaires est bien enseignée, il est certain que nous puissions diminuer les impacts négatifs de la destruction environnementale. Nous pouvons donc espérer déclencher le développement durable.

Et nos objectifs spécifiques consistent à éveiller le civisme chez les habitants, à les inciter à agir de concert pour s'approprier du développement durable et à œuvrer en commun une mainmise pour lutter contre la dégradation au détriment des écosystèmes terrestres, lacustres et marins. Ainsi, chaque citoyen sera impliqué dans le rouage du mécanisme de la protection environnementale pour le bien de l'intérêt général.

II- REVUE DE LITTERATURE

1- La destruction environnementale dans le monde selon *Lucie Sauvé*

Nous avons donc choisi *Lucie Sauvé* qui donne sa vie à la protection de l'environnement à travers l'éducation environnementale. Pour elle, l'objet de l'ErE n'est pas l'Environnement qui est l'objet des Sciences de l'environnement, mais de notre relation avec l'environnement. Pour elle, il n'existe pas de définition consensuelle de l'environnement car il s'agit d'une réalité bien déterminée et socialement construite. Elle s'intéresse « aux visions de l'environnement dont chacun est porteur ». C'est donc à travers un ensemble de dimensions inter reliées et complémentaires que se déploie la relation à l'environnement. Une Éducation relative à l'environnement limitée à l'une ou l'autre des dimensions reste incomplète et entretient une vision biaisée du rapport au monde, nous dit-elle.

« Pourquoi faire de l'ErE? », *Lucie* nous renvoie à ses trois perspectives complémentaires de l'ErE pour y réponde : pour l'environnement, pour le développement fondamental des personnes et des groupes sociaux et pour enrichir les façons d'enseigner et d'apprendre (perspective pédagogique),

2- La destruction environnementale en Indonésie

Patrice Levang et *Alain Rival*⁴ revisitent de manière synthétique et convaincante les plus grands clichés concernant la culture et l'exploitation du palmier à huile en Indonésie car la forêt naturelle y est convertie en plantation industrielle de palmier à huile. Montrant d'abord comment ce ligneux, originaire des forêts d'Afrique de l'Ouest, est devenu l'une des plus grandes cultures industrielles tropicales, ils proposent une analyse historique de son implantation en Indonésie, premier producteur mondial d'huile de palme. Avec le succès vient le temps des critiques. Dès la fin des années 1990, le palmier à huile devient la cible privilégiée des ONG environnementalistes et indigénistes. Il est accusé de tous les maux, mais les auteurs montrent que cette production constitue aussi un véritable moteur de développement : si son expansion se fait certes aux dépens de la forêt, ses rendements sont particulièrement prometteurs pour les économies locales. Vue par satellites, la déforestation constitue un processus connu de tous, mais qui reste difficile à appréhender de façon fine et universelle : il existe en effet une telle diversité de situations qui relèvent de près ou de loin de ce processus que vouloir toutes les décrire serait illusoire.

La déforestation est aussi un sujet éminemment politique qui cristallise de par le monde, et depuis des temps anciens, bien des conflits : sociaux,

⁴ Dans leur ouvrage « La palme des controverses », en 2013

économiques et politiques. La lutte actuelle contre la déforestation représente l'un des enjeux majeurs pour tenter de faire face aux changements globaux.

3- La destruction environnementale en Amazonie

Philippe Léna qui traite de la question de la déforestation en Amazonie brésilienne avance que la forêt tropicale amazonienne se régénère parfaitement bien et parfois beaucoup plus rapidement que ce que l'on croit même si « chaque seconde en Amazonie, l'équivalent de x terrains de football est déforesté. » La déforestation et la réduction des surfaces forestières prennent de l'envergure et il faudra, selon les forêts, plusieurs centaines d'années de régénération naturelle pour revenir à une structure écologique à des niveaux de biodiversité proches de ceux de l'écosystème d'origine.

Et durant ce laps de temps, de nombreuses espèces comme les tigres, les panthères, les éléphants et les jaguars auront disparu⁵. Cette région abrite l'une des plus grandes zones de forêts tropicales humides au monde, presque toutes les catégories d'acteurs à l'origine de la disparition de la forêt y sont représentées. C'est sans doute aussi la région qui a été l'objet du plus grand nombre de mesures visant la conservation des forêts. L'auteur y étudie les mécanismes qui conduisent à la déforestation, le rôle des acteurs dans leur complexité, les causes de la relative inefficacité des politiques publiques et la place des projets dits pour mieux trouver les solutions adéquates pouvant mener au « développement durable »,

4- La destruction environnementale en Côte d'Ivoire

François Verdeaux, pour sa part, adopte un point de vue historique pour explorer le processus de déforestation en Côte d'Ivoire (chap. 22). Les plantations de café, puis surtout de cacao, dont la Côte d'Ivoire est devenue le premier producteur mondial, et enfin de palmier à huile ont été au centre de cette conversion. L'auteur montre les spécificités de cette dynamique et notamment le rôle prépondérant de l'État dans cette région de l'Afrique de l'Ouest.

5- La destruction environnementale à Madagascar et à Boeny

Enfin, *Stéphanie M. Carrière* traite du dilemme posé par certaines espèces introduites dans les forêts malgaches qui peuvent envahir toutes les espaces arables⁶. L'auteure montre que si elles sont mal considérées, ces espèces peuvent être très bénéfiques pour les populations rurales, qui utilisent leur bois, leurs fruits, leurs feuilles ou leurs racines. Ces ressources deviennent incontournables dans la vie des villageois, elles leur évitent d'aller effectuer

⁵ Au chapitre 19 de son livre intitulé « »

⁶Chap. 23

des prélèvements dans les forêts naturelles. Elles sont à l'origine de «la déforestation évitée ».

Par ailleurs, selon les recherches, la forêt serait totalement détruite d'ici trente-sept ans car, pour la région de Boeny, la production de charbon et de bois de chauffe constitue un facteur considérable qui détruit la forêt. Cette région est classée zone rouge pour les feux de brousse⁷.

III- Matériels et Methodologie

Comme tous les chercheurs qui se sont focalisés sur leurs pays pour connaître la situation de leur environnement après la décision d'appliquer l'ErE pour un développement durable, nous avons choisi Boeny comme lieu de recherche et nous avons adopté les méthodologies estimées mieux adaptées à notre thème, c'est la Méthode de l'IMMRED.

Présentation de la région de Boeny de Mahajanga

La région Boeny, à l'époque, comptait peu d'habitants et la production de riz était suffisante pour nourrir toute sa population car la culture du riz suivait les normes, « MANARAPENITRA ». Durant notre enquête, le Président Fokontany Marovoay de Boeny nous a partagé que son fokontany, la capitale de la culture de riz, à lui seul, arrivait à produire **13T /Hectare** /an, une information confirmée par le Bureau du Faritany Majunga. Nous avons choisi Boeny pour mener notre enquête : elle est l'une des 23 régions de Madagascar et faisant partie de la province de Mahajanga, elle se situe dans la partie nord-ouest de l'île. Nous avons pris Boeny comme champ d'étude car les impacts négatifs de la destruction de l'environnement y sont plus catastrophiques que dans d'autres régions alors qu'elle faisait partie de grands greniers qui produisaient du riz qui ravitaillait tout Madagascar et qu'elle ne peut même plus répondre aux besoins en riz de sa population.

La Région de Boeny, couvrant une superficie de 31.046 km², est délimitée au Nord par la Région de la Sofia, à l'Est par la Région de Betsiboka, au Sud par la Région de Melaky et à l'Ouest par le Canal de Mozambique. Elle compte 06 districts répartis en 46 Communes. Avec ses côtes qui s'étendent sur 685, 92km de large, et elle abrite 929 312 habitants lors de son dernier recensement en 2018⁸. La population de la Région de Boeny qui est pluriethnique avec la prédominance du sakalava sur les zones côtières vit généralement du secteur primaire car 96,54 % d'entre eux sont agriculteurs et ils cultivent du riz, du maïs, du manioc, du haricot, de la patate douce, du taro et de l'igname ; 1,20 % sont dans le secteur secondaire et 2,26 % dans le

⁷ Selon l'Express de Madagascar paru dans www.lexpress.mg le 18 mars 2024 « RISQUE DE DESTRUCTION TOTALE DES FORETS »

⁸ SRAT région Boeny, 2016

secteur tertiaire⁹. En plus des cultures vivrières, les agriculteurs s'occupent également des cultures de rentes comme les mangues et l'anacarde ; des cultures industrielles comme des cannes à sucre, des arachides, du coton, des noix de coco et du tabac ; et enfin des fruits et des légumes. Pour la production de riz, Boeny était en surproduction et Marovoay fut appelé « SOMPITR'I MADAGASIKARA » car les riziculteurs ont pu approvisionner toute l'île en riz. Pour cette raison, le Lycée Agricole a été implanté dans les 6 ex-provinces de Madagascar et que la discipline « l'Education Environnementale » (E.E) a été insérée dans le Programme Scolaire. Le principal but de cette discipline était de donner des compétences aux étudiants afin qu'ils puissent partager aux autres les connaissances de la culture de riz, ces lycées sont devenus les premières écoles qui ont sorti les « Adjoints Techniques » professionnels en riziculture.

Notions se rapportant à l'Education Environnementale

L'Education Environnementale permet de lutter contre la dégradation exponentielle pour les biens, de la génération future. Elle permettra donc d'apporter des solutions plus que salutaires pour stopper cette dégradation. Cette discipline prépare les élèves à se cultiver des réflexes de protecteur d'environnement qui sont tous des actes de civisme. Par la même occasion, durant l'enseignement de cette discipline, les éducateurs assurent aux élèves l'appropriation des floristiques et faunistiques à l'intérieur des sources naturelles forestière, la lutte contre les déforestations : préserver, protéger, conserver, lutte contre les braconnages. « Il est désormais avéré que si les connaissances sont nécessaires, elles sont insuffisantes pour permettre aux individus de se sentir responsables et de modifier leurs modes de vie. Devant l'urgence d'agir pour la planète, de plus en plus de pratiques s'orientent vers l'éducation pour l'environnement, celle qui favorise une démarche menant de la réflexion aux changements de comportements.

L'éducation dans l'environnement correspond à une stratégie pédagogique : il s'agit d'apprendre au contact de l'environnement, soit par le milieu extérieur à l'école ou par le contexte biophysique ou social dans lequel on vit. L'éducation à l'environnement vise à former des citoyens à devenir conscients, responsables et respectueux des autres et de leur environnement et capables de participer à l'action et la prise de décision collective.

Il n'existe pas de cadre formel en éducation à l'environnement, mais diverses manières de l'aborder, en s'appuyant sur ces trois principes afin de changer les comportements des citoyens :

⁹(Source : Recensement de l'agriculture Campagne agricole 2004-2005 - MAEP)

- savoir, c'est-à-dire avoir une connaissance objective des systèmes et processus concernés,
- savoir-faire, posséder les techniques, la méthodologie pour approcher le problème,
- savoir- être, se comporter respectueusement de soi, de son environnement et de la société. ¹⁰»

Nous avons pu remarquer que l'éducation relative à l'environnement a pu rapporter des fruits positifs car nombreux ont pris l'initiative de protéger l'environnement.

3- Méthodologie

Pouvant aller occasionnellement dans la région Boeny, il nous a été difficile d'avoir des données fiables, en conséquence, nous avons eu recours à l'enquête de terrain, à l'observation, au questionnaire et à la documentation pour notre recherche. L'enquête de terrain a comme base juridique une science sociale axée sur l'éco-citoyenneté, elle permet de bien mener notre recherche par une observation de la situation. En effet, la recherche de documents est indispensable à la rédaction d'un mémoire, si l'on escompte aboutir à des résultats de recherches pertinentes.

3-1 La documentation

Pour pouvoir comparer notre recherche avec le travail d'autres chercheurs, nous nous sommes focalisé sur la consultation de documents sur internet. Toutefois, pour ce qui relève les techniques de documentations, nous avons requis l'initiative d'orienter notre recherche, sur des textes administratifs sans omettre les archives et les Journaux officiels dont la mise en contexte s'avère indispensable. Nous avons collecté des données récentes dans divers centres de documentation ou bibliothèques. A cela s'ajoute le recours à un microordinateur muni de connexion internet.

3-2 L'observation

Pour être sûr et certain de la réussite de notre recherche, nous avons mis en place une observation participative pour avoir des renseignements supplémentaires afin de dégager des hypothèses ou de vérifier celles découlant d'observations antérieures. Ce stade de recherche est indispensable dans tous les domaines des sciences humaines et sociales. L'observation consiste à se faire une idée de ce qui se passe, il nous a fallu poser des questions pour vérifier ce que nous avons pu constater.

¹⁰ Cours de « Education environnementale » donné par Docteur TEBANI, du département Eau, Environnement et développement durable, Faculté de Sciences de la nature et de la vie, UHBC

3-3 Entretien

L'entretien est une technique d'investigation la plus couramment utilisées d'actualité dans les disciplines des sciences sociales. Elle fait partie intégrante de la recherche qualitative pour recueillir des informations à l'aide d'un questionnaire par question ouverte en vue de comprendre et d'expliquer les faits allégués. L'enquête est une méthode quantitative qui s'applique à un nombre réduit d'échantillonnage de personnes déscolarisées qui ont un niveau intellectuel tolérable pouvant répondre avec pertinence de questionnaire.

3-4 Analyse et traitement de données

Pour la mise en commun des données collectées sur terrain, nous avons recouru à l'utilisation d'un ordinateur doté d'un logiciel approprié « Google de recherche », nous permettant de les analyser et de les traiter comme il se doit, avant la rédaction de notre étude.

IV- Resultats : Destruction Environnementale Malgré l'Education

Nous avons choisi quelques pays dans lesquels l'Education relative à l'Environnement a été appliquée ou s'applique encore. Et nous nous sommes aperçus qu'avec l'application de l'éducation relative à l'environnement (ErE), la destruction de l'environnement et la déforestation exponentielle commencent à diminuer car les jeunes commencent à changer de comportements.

1- La destruction environnementale dans le monde et l'ErE

Nombreux pays se sont lancés dans l'application de l'éducation environnementale insérée dans les programmes nationaux et des changements se sont produits dans nombreux de ces pays.

En Abidjan à la Côte d'Ivoire

Selon DJANE Kabran Aristide, KONATE Aistan et KOUASSI Fabrice Constant, dans leur œuvre intitulé « **Education environnementale à l'école primaire et adoption du comportement environnemental par l'élève** » : « En Afrique Subsaharienne, l'éducation environnementale suit une démarche de résolution des nombreux problèmes environnementaux tels que la disparition rapide du couvert forestier, l'appauvrissement des sols, la dégradation de la qualité de l'eau et la surexploitation des ressources en eau, la pollution et les nuisances industrielles, la dégradation de l'environnement urbain, la pollution des eaux marines et lagunaires, l'érosion côtière, etc. En Côte d'Ivoire en particulier, le cadre institutionnel relatif à l'environnement et à la protection de la nature se caractérise par la multiplicité des intervenants et par des restructurations récurrentes. Tous les ministères s'occupent des questions environnementales, provoquant, à des degrés divers,

chevauchements et conflits de compétence et une confusion par rapport aux mandats et aux responsabilités. De plus, l'instabilité institutionnelle inhibe l'efficacité des actions et empêche le suivi efficace des programmes. La Coordination Nationale de Développement Durable (CNDD), structure décoordination, n'est pas opérationnelle, Halle et Bruzon (2006). Toutefois, cette absence de capacités se présentait déjà bien avant la crise sociopolitique de 2002, au niveau de la mise en œuvre et de l'application des réglementations en vigueur. Par conséquent, cette forme d'éducation est peu intégrée dans la formation de base et ne représente qu'un appendice des activités dans la mesure où elle n'est pas intégrée dans toutes les pratiques pédagogiques des différents établissements scolaires. » En d'autres termes, le changement de comportements s'opère dans les endroits où les élèves apprennent l'ErE à l'école.

Selon le livre intitulé « *Des pays en marche vers l'éducation pour le développement durable* » rédigé et sorti par l'UNESCO en 2011, l'Éducation Environnementale (EE) ou Éducation Relative à l'Environnement (ErE) est une dimension commune à l'Éducation et à l'Environnement dont la mission reste jusqu'à ce jour, majeure dans la résolution de la crise environnementale. Dans ce sens, les jeunes acteurs sociaux qui sont les élèves apprennent à la conduire et à la répercuter dans leur vie de tous les jours. Aussi, la crise des déchets ménagers, de la déforestation que vit la Côte d'Ivoire laissait présager une pérennisation du problème si ces jeunes enfants (élèves) n'étaient suffisamment outillés pour y faire face car ils commençaient à devenir des acteurs bien formatés pour la préservation de l'environnement. L'importance de l'application de l'éducation environnementale à l'école et son lien avec l'environnement se manifeste avec l'adoption du comportement environnemental. Les représentations sur l'environnement des acteurs (administrateurs, enseignants et élèves) de l'école primaire sont clairement présentées. Ensuite, une caractérisation des pratiques d'éducation environnementale à l'école primaire est établie. Et enfin, les facteurs influençant l'adoption d'un comportement environnemental chez l'élève de l'école primaire en Côte d'Ivoire sont identifiés.

L'analyse menée en Abidjan a fait ressortir que les représentations sociales que se font les acteurs, les pratiques environnementales et la conscience qu'ils construisent autour de l'environnement permettent réellement l'adoption d'un comportement éco-citoyen chez les élèves des établissements secondaires publics du district d'Abidjan, L'importance de l'ErE éduquent les élèves avoir « aimer la nature » avec conscience.

Au Kenya

L'existence d'une stratégie nationale de mise en œuvre de l'EDD qu'impliquaient les principes directeurs sur la manière d'intégrer la durabilité

dans différents secteurs de l'éducation signifie que sa mise en œuvre dans les secteurs public et privé, les organisations de la société civile et les médias peuvent s'appuyer sur des principes directeurs. La coordination de l'EDD figure dans le contrat de performance des fonctionnaires de la NEMA, et cela est un gage de stabilité, de continuité et de durabilité du processus d'EDD au Kenya. Le Ministère de l'éducation et ses partenaires de développement révisent chaque année le KESSP pour intégrer l'EDD dans les activités d'éducation, en apportant toutes les améliorations possibles.

La participation des secteurs public et privé, des organisations de la société civile et des médias a produit au Kenya des pratiques d'EDD exemplaires, pouvant être reproduites dans d'autres pays. Cela peut être un modèle utile pour les autres pays de la région. Les directives relatives à la mise en œuvre de l'EDD dans les provinces et les districts permettent d'agir au niveau de la population.

En Indonésie

L'Indonésie s'est également engagée en faveur de la DEDD au plus haut niveau de l'État car les ministères de l'éducation et de l'environnement ont signé un accord visant promouvoir l'EDD. Plusieurs entités se sont donné la main pour mener à bien son application et plusieurs transformations ont été effectuées, comme la nomination d'un universitaire de haut niveau comme coordonnateur national chargé de la mise en œuvre de l'EDD, la réunion de différents ministères parle coordonnateur national pour et les amener à renforcer la coopération transe sectorielle en matière d'EDD et la création de la fonction de coordonnateur national qui joue un rôle politique et stratégique actif. Les médias jouent aussi une part active à l'EDD.

Après le Sommet de la Terre qui s'est tenu à Rio en 1992, les pays du monde, y compris l'Indonésie, ont montré leur attachement au développement durable et à la réalisation de ses objectifs par l'éducation et la formation. L'EDD fournit une excellente occasion de résoudre ces problèmes et dessiner l'avenir d'un pays prêt à passer au développement durable. Et l'application de l'EDD fonctionne même car elle donne des résultats bien tangibles même si cela se fait lentement. Des changements de comportements se remarquent, des gens, surtout les enfants qui étudient, avec les connaissances acquises de l'enseignement scolaire, commencent effectivement à participer à des activités ou à des actions ayant pour objectif de protéger l'environnement.

Au Chili

Le Chili a ratifié l'approbation de la stratégie nationale, à laquelle ont été affectés des fonds et qui jouit d'un degré de légitimité élevé pour les acteurs clés comme tous les travailleurs, les habitants et les élèves ; donc, pour la participation de tous les citoyens à la conception de la stratégie d'EDD. En

effet, l'existence d'une stratégie nationale (la SNEDD) et d'un consensus auquel adhérentes différents acteurs chargés de la mettre en œuvres facilitent l'intégration de l'EDD au Chili.

En revanche, il n'existe aucun instrument juridique qui en assure la continuité. Et le budget public consacré à la mise en œuvre de la SNEDD est insuffisant car elle exige d'importantes ressources pour intégrer l'EDD dans les différents secteurs de l'éducation. Par ailleurs, des acteurs n'y participent pas encore, ils n'ont pas encore accès aux ressources nécessaires. Certains d'entre eux sont fidèles aux conceptions écologistes traditionnelles et ils n'adhèrent pas pleinement aux valeurs et principes de l'EDD. Et malgré quelques succès, le Chili se félicite déjà des premiers succès importants qu'il a remportés dans ses efforts pour intégrer l'EDD dans l'enseignement formel et non formel. Ainsi, le changement de comportements, de la part des élèves est attendu.

En Amazonie

Paulo SPELLER, quant à lui, parle de l'évolution de la prise en compte de l'éducation relative à l'environnement dans les politiques éducatives au Brésil. Pour lui, la préoccupation planétaire de l'environnement s'exprime de façon formelle depuis la première Conférence internationale sur l'environnement humain, tenue à Stockholm, en 1972.» Orellana et Fauteux, en 1998 ont dit que suivant la conférence, une déclaration sur la « recommandation 96 qui reconnaît le rôle de l'Éducation relative à l'Environnement » a été adoptée comme un outil nécessaire de lutte contre la dégradation environnementale, un appel a été lancé pour qu'elle soit promue dans chaque pays.

Pourtant, l'impact de cette préoccupation de l'ERE sur les politiques publiques économiques et sociales est variable au niveau du discours et de la mise en place dans divers pays du monde. En effet, la loi N ° 9394, du 20/12/96 sur l'éducation nationale, de Directives et Bases de l'Éducation Nationale, approuvée en 1996 ne fait qu'une courte mention de l'ErE comme élément des stratégies de l'enseignement de base. Elle prévoit la formulation d'un projet pédagogique de l'école comme expression de son autonomie et possibilité d'intégration de contenus de différentes disciplines. En conséquence, la dégradation de l'environnement continue à prendre de l'envergure.

Pour assurer la diminution de la destruction environnementale, selon Saviani en 1998, le Parlement national analysait deux projets du Plan National d'Éducation dont la proposition du gouvernement qui est centrée sur un système éducatif socialement différencié et adapté aux besoins de l'économie socialement excluant, alors que le projet de l'opposition avance une proposition où l'éducation peut jouer un rôle stratégique d'intégration sociale.

A Madagascar

L'article 09-04-24 nous a fait part de l'application de *la déclaration de Stockholm en juin 1972* qui vise à examiner la nécessité d'adopter des principes communs pour préserver l'environnement pour le bien-être des habitants et le développement économique mondial. Des questions se posent sur l'augmentation de la population qui se conjugue avec la dégradation de l'environnement et la déforestation. Or, des arbres abattus sont rarement récupérables par des reboisements.

Cette conférence misant sur la protection des faunes et flores est le premier sommet international de grande ampleur consacrée à l'état de l'environnement car elle marque la prise de conscience d'envergure colossale diligentée par la Communauté Internationale sur le devenir de l'environnement mondial et sur la nécessité impérieuse d'une action concertée pour le préserver. Et de cette conférence est née l'initiative d'introduire dans le programme scolaire « l'éducation relative à l'environnement » et Madagascar fait partie des pays qui ont accepté de l'appliquer.

Notre pays compte 30 325 732 Habitants qui occupent 591 896 Km² de terre dont 82% sont cultivables, selon les données d'INSTAT¹¹.

Région du BOENY

En parlant de la Région de Boeny, le lieu où nous avons mené une enquête, les terres se détruisent de jour en jour. Et cela se constate surtout par la diminution considérable de la production de riz. L'enquête menée auprès des chefs CISCOII urbaines et rurales ont révélé que l'Education Environnementale insérée dans les Programmes Scolaires de l'EPP, du CEG et du LYCEE était une discipline difficile à comprendre et dénuée de sens et pour les enseignants et pour les élèves. Dans la grande ville de Boeny, à Mahajanga, seuls 2% des établissements scolaires ont procédé à l'enseignement de l'Education Environnementale (EE).

Nous avons concentré notre recherche sur la région de Boeny pour démontrer l'impact de l'application de l'ErE dans la protection de l'environnement. En effet, la diminution de la production et de la productivité de riz nous permettra de le déterminer.

Tableau : production de riz par Hectare par an

Année	1960	1975	1983	2002	2005	2020	2030
Production de riz en							
Tonne par hectare	5	8	3	13	6	7	3 ??

En 1983, le « SOMPITR'I MADAGASIKARA » a produit seulement 3 tonnes de riz par hectare à cause du passage du cyclone Kamisy. En 2005, il

¹¹ INSTAT

y avait aussi la Cyclone Gafilo et cela a affecté la production du riz qui a baissé vers 6 tonnes par hectare. En 2020, l'hectare de cette région a pu produire 7 tonnes de riz à cause du passage du cyclone tropical Batsirai. Nous craignons fortement la productivité et la production de riz vers 2030 au rythme auquel la destruction et le non protection de la terre se poursuivent. En effet, après l'introduction de l'EE dans le programme scolaire, le changement devrait déjà se faire sentir car nous avons déjà des ingénieurs en Agriculture et en Elevage spécialisés en Environnement même s'ils techniciens sont encore peu nombreux. Ils pourront aider Madagascar à promouvoir la culture moderne afin d'augmenter la productivité et la production de riz.

A ce fléau naturel s'ajoute d'abord le grand problème du budget de l'Etat, la subvention à allouer aux cultivateurs n'arrive pas aux destinataires à cause de l'égoïsme de certains dirigeants. Vient ensuite l'infertilité de la terre. Il est clair que malgré l'introduction de « l'éducation relative à l'environnement » dans tous les programmes scolaires, son impact ne se distingue pas encore comme dans les autres pays.

Depuis 2019, avec la COVID et le cyclone, l'Etat a changé d'objectif et a délaissé la riziculture. Les cultivateurs ont été laissés pour compte ; l'application de l'éducation relative à l'environnement n'a pas été renforcée, alors que les riziculteurs ont déjà espérés bénéficier des apports de changement.

Madagascar a donc accepté d'appliquer l'ErE, mais cette application n'a pas été effective dans certaines régions car les gens continuent à abattre les arbres, ils ne savent pas entretenir la terre, ni la protéger de toutes les catastrophes naturelles au point où la production de riz chute avec une vitesse vertigineuse. Nous avons remarqué que dans les milieux, en brousse, où des établissements scolaires privés dirigés par des sœurs ou des frères, sont implantés, l'environnement est propre et sain. Les enfants, même s'ils sont peu nombreux, savent aide la nature à se restaurer.

Les résultats d'enquêtes montrent que les élèves des établissements privés adoptent des comportements visant à prendre soin de l'environnement ; alors que certains responsables n'appliquent pas l'ErE dans la vie quotidienne à cause du manque de moyens comme le financement ou l'absence de terrain qui les poussent à ignorer l'importance de l'ErE qui est inscrite dans le Programme scolaire.

Discussion

Avant de pouvoir proposer quelques recommandations, il serait nécessaire de déterminer avec exactitude les différentes sources de ces destructions incessantes de l'environnement.

A- Les Différentes Sources de la Destruction Environnementale **Sources de la destruction environnementale en Indonésie, en Amazonie et en Côte**

Considéré comme un phénomène catastrophique par les uns, la déforestation est pour d'autres un processus inhérent, mais nécessaire au développement de certains types d'agriculture familiale, de l'exploitation forestière, des agro-industries comme pour le palmier à huile. Si l'on veut combattre la déforestation, il est nécessaire d'en connaître les agents, sinon les causes. La plupart des experts nationaux et internationaux incriminent en premier lieu les populations forestières qui vivent de l'agriculture sur brûlis. Ce constat occulte des réalités et il accuse les habitants de mal agir du fait de leur ignorance ou de leur sous-développement.

La forêt est vue comme un écosystème riche en biodiversité, homogène, non perturbé par les humains et dont la valeur écologique ou économique tient à son caractère primaire. Les forêts « secondaires » ou « exploitées » ne présentent plus d'intérêt, car leur biodiversité et leur stock de bois exploitable sont supposés moindres, elles ont moins d'impact. En replaçant les forêts malgaches dans leur contexte historique et biogéographique, on pouvait démontrer que les humains détruisent la forêt qui couvrait jadis une large partie du territoire Mais la présence humaine et les défrichements pour l'agriculture à Madagascar ont des impacts sur la forêt difficilement quantifiable. L'influence des sociétés humaines sur les forêts n'est pas récente car d'autres hypothèses, émises par des naturalistes, montrent comment les processus de déforestation liés à l'agriculture et à l'action humaine en général permettent de dire que les populations rurales pourraient être les seules responsables de la déforestation. Ne pouvant pas considérer les fléaux naturels, on pourrait croire que le paysan demeure le seul coupable sur qui faire peser l'entière responsabilité de la gravité de la situation actuelle.

Sources de destruction environnementale à Madagascar et dans la Région de Boeny

En recoupant toutes les idées reçues, nous pouvons affirmer avec assurance que le fait de ne pas enseigner l'EE à l'école a des impacts considérables et sur la préservation de l'environnement à Madagascar et sur la production de riz dans la région de Boeny. En effet, nombreux malagasy et surtout nombreux cultivateurs ne savent pas ce qu'ils doivent faire.

L'enquête que nous avons menée a montré que l'enseignement de la discipline Education Environnementale selon le Programme scolaire n'est pas bien conduit dans la plupart des écoles de Boeny, ni dans les écoles primaires publiques, ni dans les collèges publics ni dans les lycées publics, alors qu'elle est appliquée dans plusieurs établissements privés.

Par ailleurs, les critères et les conditions d'exécution permettant l'application de l'Education Environnementale (EE) sont presque inexistantes comme la grande cour, l'enclos, le grand puits et les bonnes semences. On peut dire que former les gens sur l'Education Environnementale ne constitue pas une priorité pour le « Bureau du Ministère d'Agricole et l'Elevage¹² » et les responsables n'ont même pas cherché des spécialistes en Education Environnementale ni mis en place des formations. Personne ne s'y intéresse, ni les enseignants ni les agents du bureau du ministère de l'Agricole et de l'élevage. Même si le pouvoir central de l'Etat a sorti une loi concernant l'Education Environnementale, aucune mesure n'a été prise pour son application.

D'autres raisons favorisent cette situation dégradante de la culture dans la région Boeny. En effet, l'Etat manque terriblement de sources financières, en conséquence, il n'applique pas les lois concernant l'éducation environnementale, il ne peut même pas se payer les services des spécialistes pour mener une formation sur cette discipline. Aucun canal d'irrigation n'est plus construit et ceux qui existent déjà ne sont pas entretenus ; les agriculteurs à qui l'Etat doit offrir des tracteurs n'en ont pas, et tout cela à cause de la non application de l'Education Environnementale (E E) ; ils qui en pâtissent. En plus, les spécialistes, s'ils existent, ils sont peu nombreux, et ceux qui œuvrent à donner aux agriculteurs des conseils pour améliorer leurs rendements, les agriculteurs dont la plupart sont analphabètes ne les écoutent pas.

Impacts négatifs pouvant se produire

Ce manque en éducation environnementale ou sa non application dans la Région Boeny pèse lourd sur la productivité, les récoltes agricoles n'apportent pas de rendement escompté, la culture de riz offre juste aux habitants de quoi s'alimenter mais pas de surplus à vendre dans les communes ou les régions voisines.

En revanche, il y a peu de récolte de riz, or le nombre de la population ne cesse d'augmenter. La production de riz n'arrive plus à combler les demandes. Les prix du riz augmentent et il devient de l'or noir. Les collecteurs commencent à en fixer les prix et l'Etat ne peut plus les contrôler. Et malheureusement, à ces problèmes s'ajoutent les problèmes comme les criquets, les cyclones, l'inondation et les soucis causés par l'immigration. En effet, les gens du Sud de Madagascar fuient la sécheresse et viennent chercher des terrains à cultiver à Boeny. La production de riz baisse or la population augmente. Cela engendre d'importants problèmes qui risquent de s'aggraver de jour en jour car si avant, les riziculteurs arrivaient à récolter 9 tonnes de riz par hectare (**9T/Ha**) par an, aujourd'hui, ils ne récoltent plus que 7 tonnes par

¹² Le bureau du Ministère de l'Agricole et de l'Elevage

hectare (**7T/Ha**) par an à cause de tous les problèmes que nous avons cités ci-dessus.

B- Recommandation

Nous tenons à rappeler la réaction de PlinioSist¹³, face à la déforestation, il a analysé ce que peuvent apporter la gestion des forêts tropicales et la sylviculture, tant d'un point de vue technique que conceptuel (chap. 20). Après un bref rappel historique de l'action sylvicole tropicale et de ses effets sur les forêts, il a montré que de nouvelles techniques d'exploitation qui minimisent les dégâts causés aux écosystèmes sont vectrices de durabilité, mais qu'elles peinent à s'imposer. L'auteur, dans son livre, explique que la conservation des forêts doit passer par une gestion intégrée des activités agricoles et forestières. Et cette gestion, seule l'Education Environnementale l'enseigne dans les établissements scolaires, tous les apprenants y étudiant bénéficient de ces connaissances.

Nous pensons donc que le renforcement de l'enseignement de l'Education Environnementale déjà inscrite dans les programmes scolaires est plus que souhaitable car, apparemment, cette matière constitue réellement la seule solution permettant d'assurer le développement durable de notre pays. L'Education Environnementale constitue cependant un travail à mener à long terme pour permettre à Madagascar à avancer vers le développement durable pour la génération future. Outre l'application à la lettre de l'enseignement de l'Education Environnementale, quelques mesures méritent d'être prises en considération. En effet, si cette éducation à mener auprès des enfants réussit, il est certain que la sensibilisation et toutes les actions à mener pour redorer le blason de l'environnement malgache seront sûres de réussir.

IL est donc nécessaire d'accélérer le processus de maintien de l'équilibre écologique en intégrant la lutte contre la sécheresse et la désertification dans toutes les actions de développement agricole et rural ; comme instaurer un système de prévention afin de pouvoir lutter autant qu'il faudra contre les feux de brousse et le déboisement qui reste encore d'actualité. Par ailleurs, il est indispensable d'abord de consolider en amont aussi bien qu'en aval, les actions de sensibilisation et de formation permanente conduites par les habitants sur les phénomènes de sécheresse et de désertification, en vulgarisant tous les moyens de lutte possibles ; ensuite de renforcer la connaissance sur la prévision des phénomènes de désertification en observant l'évolution de la transformation graduelle du terrain. L'introduction des techniques adaptées en vue de maximiser la productivité des sols et de maintenir leur fertilité, en particulier les sols à vocation agricole, les surfaces

¹³ Directeur de l'unité forêt et sociétés au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad)

arables et les pâturages naturels afin de contrôler les différentes phases et formes d'érosion semble incontournable.

Il faudrait aussi récupérer les sols dégradés en lançant une campagne de reboisement ou d'aménagement de terroirs devant privilégier des opérations de maintenance impliquant, autant que possible, un travail en synergie de la population et de l'administration concernée pour sauvegarder les progrès réalisés ; puis, aménager et gérer rationnellement toutes les ressources forestières par le biais de la mise en place au niveau national comme au niveau local, d'un plan de gestion forestière en vue d'optimiser l'exploitation des ressources forestières.

Enfin, il serait avantageux de développer des actions qui favorisent l'économie du bois en tant que source d'énergie, en intensifiant les investigations sur l'application et la vulgarisation des sources d'énergies nouvelles et renouvelables telles que l'énergie éolienne, solaire et biologique ainsi que par l'emploi des foyers améliorés ayant un meilleur rendement thermique.

Les points forts de l'ErE

Notre recommandation primordiale consiste donc à s'assurer de l'application effective de l'Education relative à l'Environnement. En effet, si nous scrutons en verticale le concept de développement durable, l'ErE révèle simultanément des bonnes pratiques et des points de vigilance car elle résout des problématiques environnementales endurées par chaque pays. De coutume et par routine, quand on parle d'environnement, les idées qui se profilent dans l'esprit se résument aux ressources naturelles en voie d'extinction ou d'épuisement qui requièrent absolument une préservation afin d'éviter à ce que leur tarissement ne constitue pas un goulot d'étranglement inhibant le processus de développement durable de l'économie.

Pour asseoir son efficacité pratique, l'ErE comporte quelques exigences. Elle se base sur le respect des directives prescrites dans les textes et législations en vigueur, notamment des guides sectoriels qui orientent les positions à prendre. Sa conduite doit considérer les trois pôles du développement durable, en l'occurrence, une écologie durable, socialement équitable, économiquement viable. Il faut que les acteurs inclus par l'enseignement de l'Education Environnementale aient constamment l'esprit en éveil quant à l'intégrité de l'environnement physique et qu'ils optimisent la cohésion sociale par le biais de la citoyenneté participative, stimulée à travers un travail en synergie.

L'ErE cible des points qui nécessitent d'être traités à tous les niveaux concernant les rapports proprement dits de l'administration avec la population. Ainsi, il est vivement recommandé de veiller à ce que l'opacité dans les procédures employées s'estompe ; d'assurer l'application intégrale des

normes requises pour chaque secteur ; de réclamer la modicité des coûts des mesures environnementales pour conforter les acteurs vulnérables, notamment les personnes âgées et les enfants de la tranche d'âge infanto-juvénile à avoir une résilience quant à la dégradation de l'environnement. Enfin, il est essentiel de développer un Partenariat, Public Privé (PPP) à tous les niveaux des Collectivités Territoriales Décentralisées (CTD) et à tous les Services Techniques Déconcentrés de chaque ministère, prioriser une communication environnementale obligatoire à tous les niveaux (accès aux informations, vulgarisation des textes, remise à niveau des consultants) et couvrir les institutions professionnelles mandatées par l'ONE dans le cadre de l'ErE.

Dans toutes ses variantes, l'éducation relative à l'environnement (ErE) constitue un atout efficace pour cautionner la durabilité de l'environnement, en façonnant le comportement des citoyens à avoir un réflexe environnemental, et à avoir une attitude éthique et prudente envers la nature. Un fait s'avère logique et cohérent, toute politique environnementale rationnelle, doit considérer les soubassements socio-économiques d'un pays, c'est-à-dire, la masse paysanne, la masse ouvrière et la masse prolétarienne, en leur recommandant une exploitation sobre de l'environnement et un endiguement des gabegies et des braconnages qui lui sont préjudiciables. Ainsi, il leur est fortement conseillé de gérer de façon raisonnée les couverts forestiers pour garantir leur durabilité et d'intensifier la protection des zones naturelles pour éviter l'extinction des biodiversités.

Conclusion

Pour conclure, nous, les êtres humains, nous vivons de l'environnement et nous vivons avec l'environnement. Aucune vie n'est possible sur terre sans l'environnement. Cependant, celui-ci se dégrade de jour en jour par les catastrophes naturelles qui frappent la planète et que nous ne pouvons pas éviter, par nos ignorances et surtout par nos actes irréfléchis et irrationnels que nous commettons dans l'exploitation abusive de notre environnement. La nature n'est jamais responsable des catastrophes qu'elle nous afflige. En revanche, nous, nous sommes tous coupables de ne pas prendre nos précautions pour prévenir les affres de la nature. Ce déséquilibre écologique flagrant de la biosphère, risque de générer des dégâts profonds irréparables, requérant des solutions novatrices et pertinentes, vu la possibilité réduite et très limitée de la terre quant à l'approvisionnement des besoins alimentaires récurrents et émergents de ses habitants comme le cas de la région de Boeny.

Tous les acteurs responsables cherchent, tous, tous les moyens possibles pour prévenir, pour atténuer ou pour éradiquer ces maux. Nous, la seule arme que nous jugeons efficace pour protéger l'environnement est

l'application effective de la discipline « Education Environnementale » qui est déjà inscrite dans les programmes scolaires à Madagascar. Dans le sillage de l'ErE, l'éducation braquée sur les citoyens sur une thématique environnementale se trouve en pole position, pour permettre à tout un chacun de s'impliquer personnellement pour inhiber la dégradation exponentielle de l'environnement. A ce propos, il est impératif de mettre en contexte les causes, les motivations et le processus sous-tendant la destruction de l'environnement, est sine qua non, si l'on veut attaquer le mal à sa racine. En effet, les programmes d'études planifiés par l'ErE prescrivent explicitement des apprentissages liés à l'environnement. Elle enseigne comment bien rationaliser l'exploitation de notre environnement pour qu'il nous fournisse tout ce dont nous aurons besoin pour notre survie.

La conférence de Rio éveille une prise de conscience à l'échelle mondiale, sur le devenir de l'environnement, qui, à défaut d'alternatives adéquates, menace de se basculer inexorablement vers une crise planétaire d'une ampleur incommensurable car si aucune mainmise à l'échelle internationale n'intervient, la destruction progressive et accentuée des écosystèmes s'aggravera et elle n'épargne aucun pays, que ce soit les pays sous-développés embourbés dans un problème de paupérisation extrême, ou les pays émergents, voire les pays industrialisés. Certes, si cette discipline scolaire réussit à changer les comportements des gens, l'Etat et tous les acteurs devraient accompagner toutes les actions entreprises pour s'assurer d'avoir un développement durable.

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. Action normative à l'UNESCO (Page : 51, 75, 181, 217,249)
2. *Barbara Bader et Lucie Sauvé*, dans leur ouvrage intitulé : *Éducation, environnement et développement durable : « vers une écocitoyenneté critique »*.
3. *Corinne Beck*, *Pour une histoire de l'environnement*, CNRS, 1991 (ISBN 978-2-222-04762-9)
4. D'après le rapport de la WWF [archive], l'empreinte écologique humaine dépasse d'environ 25 % la capacité biologique de la Terre, ce qui va à l'encontre de la définition du développement durable

5. Déclaration de création de la Convention sur la diversité biologique, Rio le 15 juin 1992 (archive)
6. SAUVÉ L. (2002). L'éducation relative à l'environnement : possibilités et contraintes. Connexion, La revue d'éducation scientifique, technologique et environnementale de l'UNESCO, vol. 27, n° 1-2, p. 1-4.
7. “Fikarohana momba ny fifandraisan'ny fambolem-bary sy ny [[:Endrika: Tb methane]]”.*Archived from the original on 2002-08-17*. Retrieved 2002-08-17, *site-web URL–wiki link conflict (help)*
8. Hugues Jacquet, « Art et environnement : un développement durable ? » [Archive], lacritique.org, 3 juillet 2008 (consulté le 12 février 2010)
9. KARTHALA (Terantany Japoney) nahitany SRI5 Système Riziculture Intensive) le 1983-84.
10. KATAYAMA, Teran-tany Japoney, nonina tao Antsirabe (Chercheur Scientifique Riziculture) Nanatsara ny voly vary Maro- Anaka tao Antsirabe (1990) ;
11. La page officielle du PNUE [archive] ;
12. Madagascar - Rapport national de suivi des OMD – 2007
13. *Mr Tiana RAMAHLEO*, Directeur de la Conservation du WWF Madagascar, - Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, dressé le, 3-14 juin 1992
14. Nations Unies, « Objectif 7 : Préserver l'environnement » [archive], sur Portail de l'action du système de l'ONU sur les objectifs du millénaire pour le développement (consulté le 7 janvier 2010)
15. *NDRINA*, SADR (Stratégie Nationale de Développement Rizicole), Fanatsarana ny Fambolem-bary tany (Maro-Anaka tao Antsirabe) ;
16. Patrice Levang, Alain Rival, « La palme des controverses, Palmier à huile et enjeux de développement, Collection Essais, Edition Quae, 2013, 100 pages,
17. *Père Henri de LAULANIE* de Sainte Croix, Paysan du Poitou (France), Ingénieur agronome INA, Prêtre Jésuite, Enseignant à l'Ecole d'Agriculture d'Angers (France), améliorer la Riziculture à Antsirabe
18. Préambule de l'ODD – Introduction – alinéa 17
19. Rapport Brundtland, avril 1987 (archive), texte intégral sur *Wiki source*
20. Recommandation concernant la condition du personnel enseignant de l'enseignement supérieur (1997), Page : 53, 65, 314 ;
21. *Robottom*, « Communautés, enjeux environnementaux et recherche en éducation relative à l'environnement (archive) », in : Éducation relative à l'environnement 2003, n° 4, 77-95 (PDF, 20p)

22. ROBOTOM I. & HART, P. (1993). *Research in environmental education: engaging the debate*. Deaking university press.
23. Sommet mondial pour le développement durable – 17^{ème} séance plénière – 4 septembre 2002
24. Texte du protocole de Kyoto, article 25 (archives) –
25. www.coalition-education-environnement-ecocitoyennete.org/wp-content/uploads/2019/07/Strategie-Edition-complete
26. *Pascale Félizat* : URL : <http://journals.openedition.org/ere/5862> ; DOI : (Digital Object Identifier) <https://doi.org/10.4000/ere.5862>
27. <https://www.developpement-durable.gouv.fr/La-Chate-de-l-environnement.html> [archive]
28. www.unesco.org/publishing ;
29. [www.ala.org/tools/future/trends/collective impact](http://www.ala.org/tools/future/trends/collective%20impact)
30. <https://www.ladocumentationfrancaise.f/dossies/developpement-durable/charte-environnement.shtml> [archive]
31. *Lucie Sauvé, Lucie et Lange, Jean-Marc (2013), Conférence sur l'École d'été en éducation relative à l'environnement et au développement durable*, institut EDS (université Laval), novembre, vidéo accessible sur youtube.com. <https://www.youtube.com> (consulté le 01/12/15)
32. HAL Id: hal-01026073, <https://hal.archives-ouvertes.fr>,
33. <https://reporterre.net>
34. <https://www.cairn.info>.

Dynamique de la Population de *Sarda sarda* (Bloch, 1793) du Golfe de Guinée, Côte d'Ivoire

Angui Kouamé Jean Paul

Laboratoire de Biologie et Cytologie Animales, UFR Sciences de la Nature
Université Nangui ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Affourmou Kouamé

Assan N'dri Florentine

Laboratoire de Biologie et Cytologie Animales, UFR Sciences de la Nature
Université Nangui ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Diaha N'guessan Constance

Kouamé Konan Jacques

N'guessan Yao

Département des Ressources Aquatiques Vivantes
Centre de Recherches Océanologiques, Abidjan, Côte d'Ivoire

Yao Kouakou

Laboratoire de Biologie et Cytologie Animales, UFR Sciences de la Nature
Université Nangui ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p317](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p317)

Submitted: 15 August 2024
Accepted: 04 November 2024
Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Jean Paul A.K., Kouamé A., N'dri Florentine A., N'guessan D.C., Kouamé K.J., N'guessan Y. & Kouakou Y. (2024). *Dynamique de la Population de Sarda sarda (Bloch, 1793) du Golfe de Guinée, Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 317. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p317>

Résumé

Cette étude a été entreprise de janvier 2015 à décembre 2015 sur des individus capturés au filet maillant par les pêcheurs artisans exerçant dans le golfe de Guinée. Des prélèvements mensuels de poissons ont été effectués au quai piroguier d'Abobo-doumé et de Zimbabwé. Les données mensuelles de fréquence de tailles obtenues ont été ensuite analysées par le logiciel FiSAT II pour l'estimation de quelques paramètres de croissance et d'exploitation de *Sarda sarda* du Golfe de Guinée afin d'évaluer l'état du stock. Au total, 635 spécimens de *Sarda sarda* de longueur à la fourche comprise entre 33 et 57 cm ont été examinés. La longueur asymptotique était de 59,85 cm avec un taux

de croissance spécifique (K) de 0,57/an. L'indice de performance de croissance était de 3,31. Le modèle de recrutement a été continu toute l'année avec deux pics de recrutement d'importance inégale : le majeur apparaît en mars tandis que le mineur est observé de juillet. Les taux de mortalité totale (Z), naturelle (M) et par pêche (F) sont de 1,13/an, de 0,99/an et de 0,14/an respectivement. Le niveau d'exploitation (E) était de 0,12/an avec une taille de première capture (37,76 cm) inférieure à celle de la première maturité. Ainsi, la pérennité du stock dans le Golfe de la Guinée est menacée. Pour assurer cette pérennité et garantir des stocks permanents des ressources halieutiques du golfe de Guinée, une augmentation de la taille des mailles des filets est recommandée.

Mots-clés: *Sarda sarda*, Croissance, Exploitation, Mortalité, Recrutement, Côte d'Ivoire

Population Dynamics of *Sarda sarda* (Bloch, 1793) in the Gulf of Guinea, Côte d'Ivoire

Angui Kouamé Jean Paul

Laboratoire de Biologie et Cytologie Animales, UFR Sciences de la Nature
Université Nangui ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Affourmou Kouamé

Assan N'dri Florentine

Laboratoire de Biologie et Cytologie Animales, UFR Sciences de la Nature
Université Nangui ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Diaha N'guessan Constance

Kouamé Konan Jacques

N'guessan Yao

Département des Ressources Aquatiques Vivantes
Centre de Recherches Océanologiques, Abidjan, Côte d'Ivoire

Yao Kouakou

Laboratoire de Biologie et Cytologie Animales, UFR Sciences de la Nature
Université Nangui ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

This study was undertaken from January 2015 to December 2015 on individuals caught with gillnets by artisanal fishermen operating in the Gulf of Guinea. Monthly fish samples were taken at the Abobo-doumé and Zimbabwe pirogue docks. The monthly size-frequency data obtained were then analyzed using FiSAT II software to estimate a number of growth and exploitation parameters for *Sarda sarda* in the Gulf of Guinea, in order to

assess stock status. A total of 635 *Sarda sarda* specimens with fork lengths ranging from 33 to 57 cm were examined. The asymptotic length was 59.85 cm with a specific growth rate (K) of 0.57/year. The growth performance index was 3.31. The recruitment pattern was continuous throughout the year, with two recruitment peaks of unequal importance: the major peak appeared in March, while the minor peak was observed from July onwards. Total (Z), natural (M) and fishing (F) mortality rates were 1.13/year, 0.99/year, and 0.14/year respectively. The exploitation level (E) was 0.12/year, with a first-capture size (37.76 cm) below that of the first maturity. As a result, the sustainability of the stock in the Gulf of Guinea is under threat. To ensure this sustainability and guarantee permanent stocks of fishery resources in the Gulf of Guinea, an increase in net mesh size is recommended.

Keywords: *Sarda sarda*, Growth, Exploitation, Mortality, Recruitment, Côte d'Ivoire

Introduction

Sarda sarda (Bloch, 1793) ou bonite à dos rayé est un poisson appartenant au groupe des thonidés mineurs et à la famille des Scombridae. Il existe quatre espèces du genre *Sarda* : *sarda* (Bloch, 1793), *chiliensis* (Cuvier, 1831), *orientalis* (Temminck & Schlegel, 1844) et *australis* (Macleay, 1880) mais seule *Sarda sarda* est rencontrée dans le golfe de Guinée, souvent en banc près de la surface, au-dessus du plateau continental. En Côte d'Ivoire, la bonite à dos rayé est capturée par les pêcheurs artisans marins qui opèrent dans le milieu marin à l'aide de filets maillants dérivants. Cette espèce activement recherchée par les pêcheurs grâce à sa haute valeur nutritive, fait l'objet d'une importante activité de pêche (Hattour, 2008). Elle représente une ressource digne d'attention qui doit faire l'objet d'une gestion rationnelle, ce qui n'est pas le cas. Il s'avère donc indispensable de mettre en place une stratégie d'exploitation rentable. Cependant, l'élaboration d'une gestion saine et efficace d'un stock, demande une connaissance préalable de la biologie (reproduction, alimentation et croissance) et de la dynamique des populations.

Ainsi, des études dans différentes zones ont été menées sur cette espèce. La plupart des investigations ont été réalisées dans la mer Méditerranée sur la reproduction (Hattour, 2000 ; Franičević *et al.*, 2005 ; Macías *et al.*, 2005 et 2006 ; Cengiz, 2013 ; Kahraman *et al.*, 2014 ; Baibbat *et al.*, 2016). Elles se sont également focalisées sur la croissance (Hattour, 2000 ; Oray *et al.*, 2004 ; Franičević *et al.*, 2005 ; Macías *et al.*, 2005 ; Santamaria *et al.*, 2005 ; Di Natale *et al.*, 2006 ; Ateş *et al.*, 2008 ; Alaa *et al.*, 2013 ; Cengiz, 2013). Le régime alimentaire (Hattour, 2000 ; Fletcher *et al.*, 2013) a été aussi étudié. Cependant, peu de travaux ont été faits dans la mer Noire (Ateş *et al.*, 2008) et dans la partie centre-est de l'océan Atlantique,

précisément dans le golfe de Guinée, les travaux ont été focalisés sur la reproduction, la croissance et la pêche (Diouf, 1980 ; Diaha, 2010).

Les travaux sur la dynamique de populations de cette espèce sont rares aussi bien sur le plan international qu'en Côte d'Ivoire. Vu l'importance de cette espèce dans les captures, il est primordial d'améliorer les données statistiques pour une meilleure gestion des stocks. Cette meilleure gestion des stocks implique le suivi des paramètres de la dynamique des populations. Cette étude vise à actualiser et à déterminer les paramètres de croissance et d'exploitation de *Sarda sarda* capturée par les pêcheurs artisans opérant dans le golfe de Guinée pour une gestion durable des ressources halieutiques.

Matériel et méthodes

Milieu d'étude

Le golfe de Guinée peut être appréhendé comme un large espace maritime et un haut-lieu de biodiversité marine (Awoumou, 2005). Cette zone océanique appartient à la portion Centre Est de l'océan Atlantique qui couvre l'Afrique de l'Ouest, du Maroc au Congo (Chavance *et al.*, 2004). La zone maritime de la Côte d'Ivoire qui appartient à l'océan Atlantique s'étend du cap des Palmes (8°W) à l'Ouest jusqu'au cap des Trois-Pointes (2°30'W) à l'Est, sur une longueur d'environ 600 km (N'Goran *et al.*, 2001). C'est dans cette zone de pêche qu'a lieu la capture des bonites à dos rayé (Figure 1).

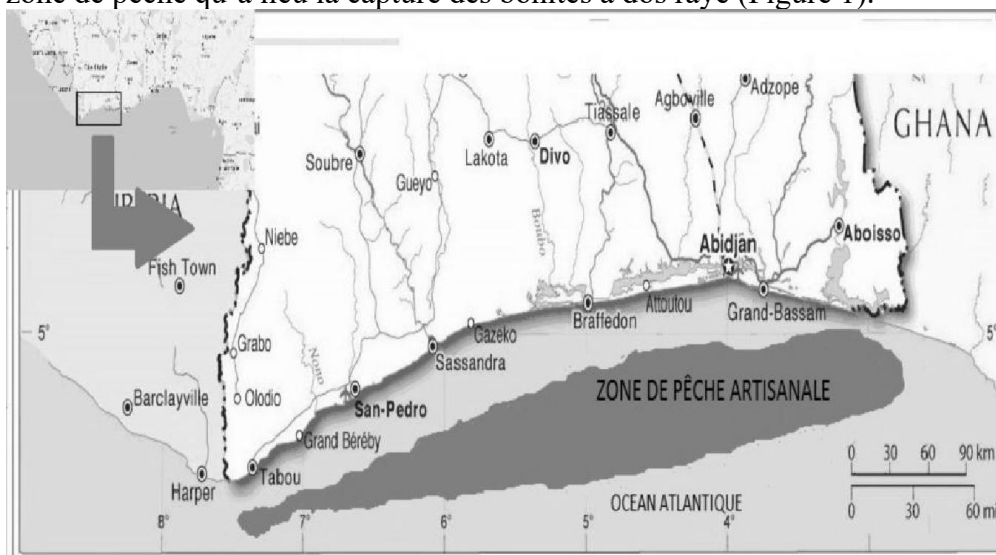


Figure 1. Zone de pêche des pêcheurs artisans de la Côte d'Ivoire

Sites de collecte d'échantillons et laboratoire

Au cours de la période de janvier 2015 à décembre 2016, les spécimens de *Sarda sarda* utilisés ont été collectés chaque mois à raison de deux fois par semaine lors des débarquements des pêcheurs artisans aux débarcadères de

Zimbabwe (village de pêcheurs, à Port-Bouët) et d'Abobo-doumé (village Ebrié, à Attécoubé) (Figure 2). Ces deux sites, situés en bordure de la lagune Ebrié, sont les plus approvisionnés en poissons à cause de la proximité et de l'affluence de la clientèle. Les poissons ainsi collectés ont été immédiatement transférés sous glace sèche au laboratoire du Département des Ressources Aquatiques Vivantes (DRAV) du Centre de Recherches Océanologiques (CRO). Pour chaque poisson (Figure 3), la longueur à la fourche a été mesurée au cm près au moyen d'un pied à coulisse et la masse totale a été déterminée à l'aide d'une balance de type Scout Pro de précision 0,1 g et de portée 4000 g.



Figure 2. Localisation des sites de collecte d'échantillons (Google maps, 2016) [Abobo-doumé (village Ebrié situé à Attécoubé) et Zimbabwe (village de pêcheurs situé à Port-Bouët) : lieu de collecte des poissons après débarquements]



Figure 3. Spécimen de *Sarda sarda* (Photographie : Angui, 2016)

Dynamique des populations

Etant donné que la dynamique des populations tient compte de la capture totale de l'espèce, un facteur d'extrapolation ou raising factor dont la formule est mentionnée plus bas, a été appliqué à nos données (Konan *et al.*, 2013).

$$Fe = \frac{Pt}{\sum_{i=1}^n (Pini)}$$

avec Fe = coefficient d'extrapolation, Pt = Poids total de la capture, Pi = Poids de la classe de taille i et ni = nombre d'individus de la classe de taille i . Cette dynamique traite les paramètres de croissance et d'exploitation de la population

Paramètres de croissance de la population

- Modèle de croissance de Von Bertalanffy

De nombreux modèles de croissances ont été développés par différents auteurs. Cependant, le modèle le plus utilisé est celui élaboré par Von Bertalanffy (1938). L'expression de l'équation de la croissance linéaire de Von Bertalanffy est la suivante :

$$Lt = L_{\infty} (1 - \exp^{-K(t-t_0)})$$

où Lt : longueur du poisson au temps t considéré (jours, mois ou année), L_{∞} : longueur maximale théorique ou longueur asymptotique, K : taux de croissance spécifique ou paramètre de courbure, t_0 : âge que le poisson aurait eu au temps zéro.

Les paramètres de croissance (L_{∞} , K et t_0) ont été déterminés par le logiciel FiSAT II version 1.2.1 (Gaynilo *et al.*, 1995). Ce logiciel comporte trois méthodes [Electronic Length Frequency Analysis I (ELEFAN I), Shepherd et Powell–Wetherall] pour l'estimation de K . Parmi elles, la méthode ELEFAN I (Pauly, 1982) a été appliquée. Cette méthode utilise les fréquences de taille relevées à des dates différentes et pour chaque couple de données (taille, fréquence), un âge correspondant est calculé en vue de déterminer la taille à l'infini (L_{∞}) et le coefficient de croissance (K). L'option K Scan d'ELEFAN I a été utilisée pour estimer L_{∞} et K . Le choix de cette méthode est dicté par le fait qu'elle est moins subjective que les autres méthodes, en ce sens qu'elle permet d'obtenir des informations fiables (Pauly, 1982).

- Détermination de L_{∞} et de K

La méthode consiste à choisir la meilleure combinaison possible entre les paramètres K et L_{∞} . Pour chacune des combinaisons, un score est calculé. Il représente le degré de concordance entre les modes expérimentaux et les modes théoriques. La meilleure combinaison des paramètres K et L_{∞} est finalement choisie.

- Détermination de t_0

Les méthodes graphiques ne permettent pas d'estimer t_0 . La détermination de t_0 a été faite selon Pauly (1982) en utilisant l'équation empirique suivante :

$$\text{Log}(-t_0) = -0,392 - 0,275 \log_{10} L_{\infty} - 1,038 \log_{10} K$$

- Indices de performance de croissance (ϕ')

La combinaison des paramètres de croissance (K et L_{∞}) obtenus permet de calculer l'indice de performance de croissance en taille. Celui-ci renseigne sur le taux de croissance des individus d'une espèce ou d'un genre dans un milieu donné. Chez une espèce, un stock peut croître plus vite lorsqu'il est constitué d'individus assez jeunes et plus lentement lorsque les individus sont relativement plus âgés (Etim *et al.*, 1999). La formule de performance en taille (Pauly & Munro, 1984) est la suivante :

$$\phi' = \log 10K + 2 \log 10L_{\infty}$$

Paramètres d'exploitation de la population

- Mortalités

La mortalité d'une population est le rapport entre la proportion de poissons morts comparée à la taille du stock. Les causes de la disparition des poissons sont naturelles et/ou dues à la pêche. La mortalité naturelle est une valeur qui décrit la mortalité des individus du stock de poissons due aux causes naturelles telles que la maladie, la vieillesse ou la prédation. Elle est supposée constante d'une année à une autre pour un système donné. Elle représente le problème le plus critique dans les évaluations de stocks et les prévisions. La mortalité par pêche est un terme technique, qui décrit l'intensité de l'activité de pêche sur un stock de poisson donné. Il ne peut varier qu'avec l'âge et une intensité de pêche donnée. La mortalité totale est la somme des mortalités naturelle et par pêche. La mortalité totale (Z), la mortalité naturelle (M) et la mortalité par pêche (F) ont été évaluées par la méthode dite « des courbes de captures (fondées sur la longueur et les paramètres de croissance) avec des points de données extrapolées », déterminées par le logiciel FISAT II.

- Mortalité totale (Z)

Les modèles mathématiques utilisés par ce logiciel pour calculer Z sont ceux de Pauly (1990) et Pauly *et al.* (1995) :

avec N_i : nombre d'individus dans la classe de taille i et dt : temps mis par le poisson pour croître dans la classe i .

- Mortalité naturelle (M)

Le calcul de la mortalité naturelle utilise la relation empirique de Pauly (1980) :

$$\log_{10} M = -0,0066 - 0,279 \log_{10} L_{\infty} + 0,6543 \log_{10} K + 0,4634 \log_{10} T$$

avec M : mortalité naturelle ; T : température moyenne annuelle de l'eau.

- Mortalité par pêche (F)

Une fois Z et M obtenues, la mortalité par pêche (F) s'obtient par la relation (Pauly, 1980) :

$$F = Z - M$$

où Z : Mortalité totale ; M : Mortalité naturelle ; F: Mortalité par pêche.

- Taux d'exploitation (E)

Le taux d'exploitation, appliqué à un stock de poisson, est la proportion du nombre d'individus ou de biomasse prélevée par pêche. Lorsqu'on dispose des valeurs de F et de M, un taux d'exploitation (E) peut être calculé par l'équation de Pauly (1980) :

$$E = \frac{F}{M+F} = \frac{F}{Z}$$

où Z : Mortalité totale ; M : Mortalité naturelle ; F: Mortalité par pêche.

Cette équation permet de juger de l'état du stock en se référant à l'exploitation optimale (Eopt)

(Gulland, 1969). Si :

Eopt = 0,5 : le stock est normal ;

Eopt < 0,5 : le stock est sous exploité ;

Eopt > 0,5 : le stock est sur exploité.

D'autres paramètres d'exploitation comme Emax, E0,1 et E0,5 exprimés graphiquement sont fournis dans le modèle Beverton & Holt (1966) à l'aide logiciel FiSAT II. Ce modèle est utilisé afin d'évaluer le rendement (Y'/R) et la biomasse relatifs par recrue (B'/R). Ainsi, nous-avons :

Emax : Exploitation avec rendement productif maximum ;

E0,1 : Taux d'exploitation pour une augmentation de Y'/R de 1/10ème par rapport à E = 0 ;

E0,5 : Valeur de E sous laquelle le stock a été réduit de 50 % de sa biomasse inexploitée.

- Probabilités de captures

Les courbes de captures (fondées sur la longueur et les paramètres de croissance) avec les points de données extrapolées obtenues par le logiciel FISAT II proposent des probabilités de captures des individus. Ce sont des pourcentages 25%, 50%, 75% sous formes de longueurs L25, L50 et L75 auxquelles des poissons sont considérés comme étant vulnérables à l'engin de pêche utilisé pour leur capture (Moreau *et al.*, 1995). Cependant, L50 est appelée, par estimation, la taille à la première capture (Lc). Elle correspond à la longueur moyenne de sélection car il a été considéré que cette sélectivité est symétrique, c'est-à-dire 50 % des poissons qui entrent dans le filet s'échappent à travers les mailles et 50 % sont retenus (Pauly, 1990). Cette taille à la première capture a été comparée à la taille de première maturité.

- Modèle de recrutement

Le recrutement est l'arrivée du plus jeune groupe d'âge d'individus appelé recrues pour la première fois dans la pêcherie chaque année (Moreau

et al., 1995). Ces individus sont caractérisés par une taille dite de recrutement dans la pêcherie (LC 50 ou L_r) correspondant à la taille à laquelle le poisson devient exploitable c'est-à-dire susceptible d'être rencontré dans les engins de pêche. Plusieurs stocks présentent des variations interannuelles considérables du nombre de recrues. Il importe donc d'en tenir compte dans les évaluations de la dynamique des stocks. Les rythmes de recrutement mensuel ont été calculés à partir de la série de données de fréquence de longueurs. A cet effet, le programme incorporé dans FISAT II (Gayanilo *et al.*, 1995) a été utilisé.

Analyses statistiques

Le logiciel FiSAT II version 1.2.1 (Gayanilo *et al.*, 1995) a été utilisé pour le traitement des données.

Résultats

Au total, 635 spécimens de *Sarda sarda* de longueur à la fourche comprise entre 33 et 57 cm ont été échantillonnés.

Paramètres de croissance de la population

Les valeurs de la longueur asymptotique (L_∞), du taux de croissance spécifique (K) et de l'âge que le poisson aurait eu au temps zéro (t_0) sont respectivement de 59,85 cm, de 0,57 /an et de -0,62. L'indice de performance de croissance (ϕ') est de 3,31 (Tableau 1).

La figure 4 est la représentation de la routine K Scan. Ces tracés montrent la variation du score R_n en fonction des différentes valeurs du coefficient de croissance (K) et de l'indice de performance de croissance (ϕ'). Les variations de R_n en fonction de K et de ϕ' présentent quatre pics d'inégale amplitude. La qualité de l'ajustement de croissance a été meilleure pour la valeur de $R_n = 0,35$.

L'ajustement des données transformées de masse en longueur au modèle de Von Bertalanffy pour les cohortes de *S. sarda* de la Zone Economique Exclusive ivoirienne donne l'équation de croissance suivante :
$$L_t = 59,85[1 - e^{-0,57(t + 0,62)}]$$

La représentation de la croissance est donnée par la figure 5. Les tracés bleus (croissance) sont superposés à des distributions de fréquences de tailles (en noir) des échantillonnées sur une période de deux ans. Chaque tracé bleu représente l'évolution d'une cohorte ou classe d'âge apparue successivement (à la même date).

Tableau 1. Paramètres de croissance de *S. sarda* déterminés selon FiSAT dans la Zone Economique Exclusive de Côte d'Ivoire entre janvier 2015 et décembre 2016

Paramètres	Valeurs
Longueur asymptotique (L_{∞}) (cm)	59,85
Taux de croissance (K) (1/an)	0,57
Age hypothétique (t_0)	-0,62
Indice d'ajustement de la croissance aux distributions des fréquences de tailles (R_n)	0,35
Indice de performance de croissance (ϕ')	3,31

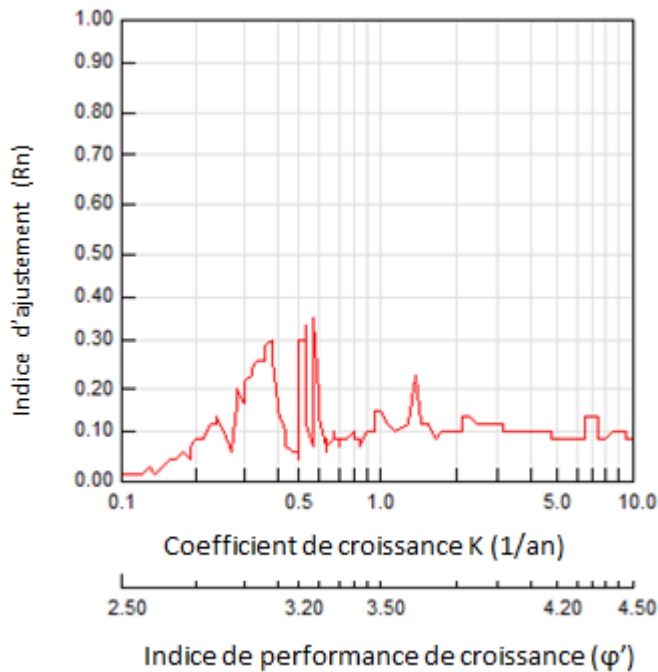


Figure 4. Routine K Scan pour la détermination de la meilleure valeur de la longueur asymptotique et les indices de performances de croissance de *S. sarda* de la Zone Economique Exclusive de Côte d'Ivoire entre janvier 2015 et décembre 2016

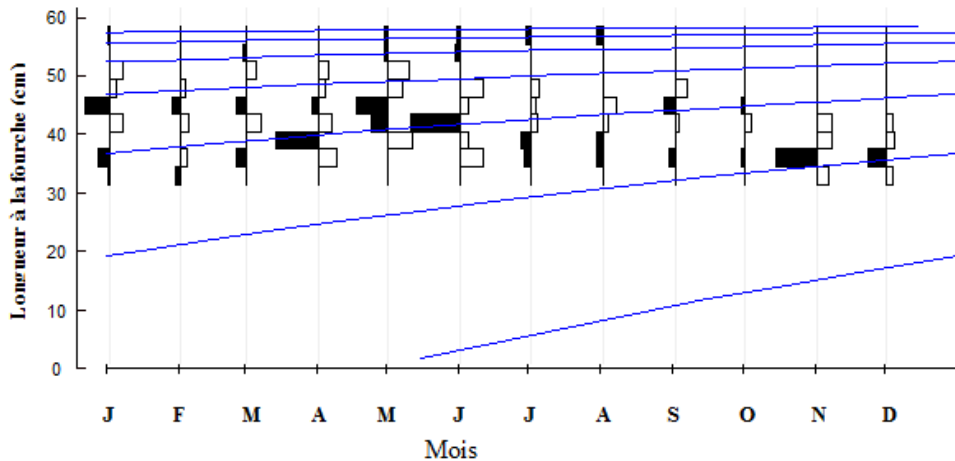


Figure 5. Croissance selon le modèle Von Bertalanffy de *S.sarda* capturés dans la Zone Economique Exclusive de Côte d’Ivoire entre janvier 2015 et décembre 2016 (Tracés bleus : ’évolution d’une cohorte ou classe d’âge apparue successivement à la même date; Tracés noirs : distributions de fréquences de tailles)

Paramètres d’exploitation de la population

- Modèle de recrutement

Les modèles de recrutement sont présentés à la figure 5. Le recrutement estimé est continu toute l’année avec deux pics de recrutement d’importance inégale (majeur et mineur). Les valeurs des pourcentages de recrutement des différents mois sont données dans le tableau II. Le recrutement majeur se déroule en mars (21,1 %) et le mineur en juillet (12,63 %).

- Probabilité de captures

Les tailles caractéristiques mettent en évidence la sélectivité des engins (Tableau 2). Les valeurs estimées sont 36,84 cm (L_{25}) ; 37,76 cm (L_{50} ou L_c) et 38,68 cm (L_{75}). Les tailles correspondant à la probabilité de capture de 50 % (L_{50} ou L_c) de la population sont inférieures à la taille de première maturité sexuelle (mâles : 38,28 cm et femelles : 38,38 cm).

- Mortalités

Les captures fondées sur la longueur avec les points de données extrapolés sont représentées à la figure 7. Les points représentent le logarithme népérien des effectifs par classe d’âge. Les points blancs représentent les valeurs théoriques qui devraient être pris en compte. Les points jaunes ne sont pas pris en compte car soient trop proches ou soient trop éloignés de la longueur asymptotique. Les points noirs sont ceux utilisés pour le calcul des moindres carrés de la régression linéaire. Ces points noirs sont utilisés pour l’évaluation de la mortalité totale. Les taux de mortalité totale

(Z), de mortalité naturelle (M), de mortalité par pêche (F) ainsi que le taux d'exploitation (E) correspondant à la mortalité par pêche sont estimés dans le tableau 2. Ces différentes mortalités ont été estimées. Les valeurs annuelles de Z, M et F sont de 1,13 ; 0,99 et 0,14 respectivement.

- Taux d'exploitation

Le taux d'exploitation (E) correspondant à la mortalité par pêche F a été estimé à 0,12/an. Les tracés de Y/R et de B/R en fonction de E (=F/Z) ont permis d'estimer les taux d'exploitation $E_{0,5}$, $E_{0,1}$ et E_{max} (Tableau 2).

Les taux de $E_{0,1}$ et de $E_{0,5}$ déterminés pour les valeurs de $L_c/L_\infty = 0,63$ et de $M/K = 1,73$ sont de 0,35 et de 0,27. Le taux d'exploitation enregistré pour l'espèce est de 0,12. Ce taux observé est inférieur à la valeur du taux d'exploitation maximal ($E_{max} = 0,42$).

Tableau 2. Paramètres d'exploitation de *S. sarda* de la Zone Economique Exclusive de Côte d'Ivoire entre janvier 2015 et décembre 2016

Recrutement (%)											
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2,5	10,1	21,1	16,7	8,89	8,42	12,63	10,1	2,05	4,47	4,47	0
Tailles de capture (cm)											
L₂₅				L₅₀ ou L_c				L₇₅			
36,84				37,76				38,68			
Mortalités (an⁻¹)											
Z				M				F			
1,13				0,99				0,14			
Taux d'exploitation											
E_{0,5}			E_{0,1}			E_{max}			E		
0,27			0,35			0,42			0,12		

(L₂₅ : longueur de capture de 25 % de la population ; L₅₀ : longueur de capture de 50 % de la population ; L₇₅ : longueur de capture de 75 % de la population ; L_c : longueur de première capture) ; (Z : taux de mortalité totale, M : taux de mortalité naturelle, F : taux de mortalité par pêche) ; (E : taux d'exploitation ; E_{0,5} : Valeur de E sous laquelle le stock a été réduit de 50 % de sa biomasse inexploitée ; E_{0,1} : Taux d'exploitation pour une augmentation de Y/R de 1/10e par rapport à E = 0 ; E_{max} : Exploitation avec rendement productif maximum)

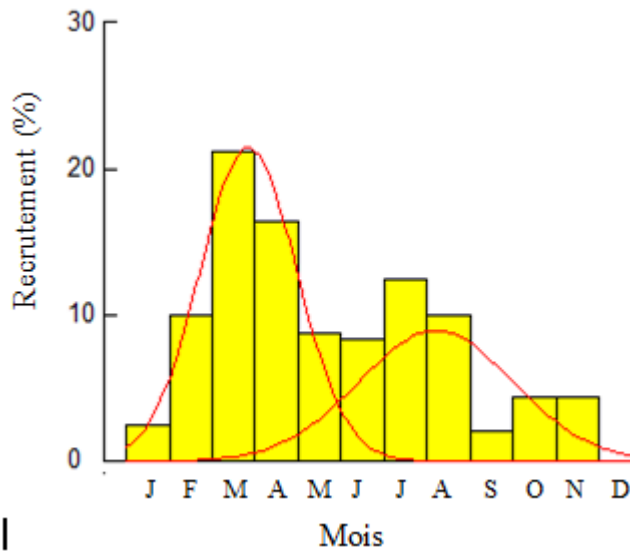


Figure 6. Modèle de recrutement annuel de *S. sarda* de la Zone Economique Exclusive de Côte d'Ivoire entre janvier 2015 et décembre 2016

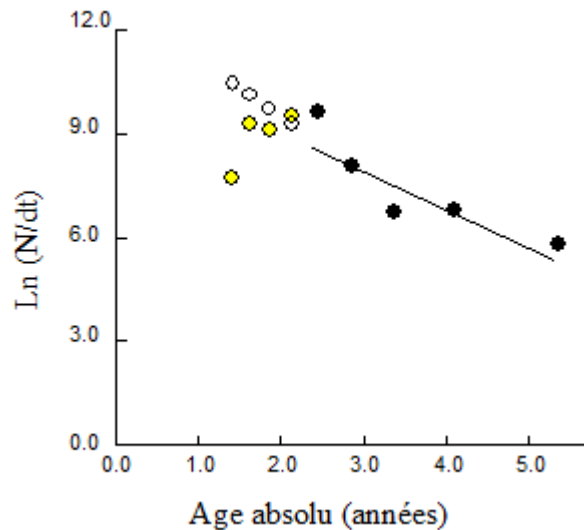


Figure 7. Courbe de capture linéarisée de *S. sarda* de la Zone Economique Exclusive de Côte d'Ivoire entre janvier 2015 et décembre 2016 (Les points représentent le logarithme népérien des effectifs par classe d'âge ; les points noirs sont ceux utilisés pour le calcul des moindres carrés de la régression linéaire ; les points jaunes ne sont pas pris en compte car soient trop proches ou soient trop éloignés de la longueur asymptotique ; les points blancs représentent des valeurs théoriques qui devraient être pris en compte).

Discussion

Dans la Zone Economique Exclusive ivoirienne, la longueur asymptotique (L_{∞}) est estimée à 59,85 cm pour un taux de croissance (K) de 0,57/an. La valeur de L_{∞} obtenue est inférieure à celle trouvée dans la Mer

Noire et de Marmara (68 cm), la Méditerranée Occidentale (62,5 cm) et le Nord-Est de la Méditerranée (69,8 cm). Selon Ateş *et al.*, 2008 et Cengiz, 2013, ces valeurs correspondant respectivement à des valeurs de K (0,82/an, 0,72/an et 0,76/an) sont supérieures à celles de la présente étude. Les spécimens de *S. sarda* de la Zone Economique Exclusive ivoirienne ont une croissance lente contre une croissance rapide de ceux provenant d'autres zones (Mer Noire et de Marmara ; Méditerranée Ouest et Nord-Est). Ces auteurs (Ateş *et al.*, 2008 et Cengiz, 2013) ont travaillé respectivement sur le comptage de marques de croissance, spécifiquement sur les rayons épineux de la nageoire dorsale et sur les vertèbres. Les différences observées entre ces résultats et ceux d'autres travaux réalisés pourraient résulter de l'hétérogénéité des méthodes utilisées à savoir les méthodes individuelles telles que le marquage, la lecture des pièces anatomiques (otolithes, squelettes) qui diffèrent des méthodes statistiques (utilisation de la fréquence de distribution en taille d'échantillon pour identifier les cohortes).

Le modèle annuel de recrutement est continu. En revanche, il met en évidence deux phases où le recrutement est intense. C'est la preuve que deux cohortes sont produites par an. Les points culminants du recrutement ont lieu dans les mois de mars (recrutement majeur) et juillet (recrutement mineur).

La taille de première capture (L_{50} ou L_c) trouvée est de 37,76 cm. Cette taille est inférieure à la taille de première maturité des mâles et femelles (soit 38,28 et 38,38 cm) (Angui *et al.*, 2018). Cette situation indique que la majeure partie des individus de cette espèce n'ont pas eu l'opportunité de se reproduire au moins une fois avant d'être capturés. Ce qui constitue un danger pour la pérennité de ces espèces. L'instant où la taille de première capture est inférieure à celle de la première maturité, on peut déduire que c'est une exploitation qui menace la pérennité de cette espèce. Donc, le niveau actuel de L_c doit être supérieur à la taille de première maturité afin de préserver les jeunes poissons pour que le renouvellement des stocks soit assuré. En effet, lorsque la taille de première capture est supérieure à la taille de première maturité, cela permettrait aux poissons d'engendrer au moins une fois pendant leur vie dans le but d'augmenter la biomasse. Or un poisson immature capturé n'a pas engendré pour augmenter la biomasse. Dès lors, pêcher des poissons trop petits ne contribue pas au renouvellement des stocks. A ce titre, une réglementation de la taille des individus capturés est utile et généralement préférable.

La mortalité naturelle (0,99/an) est supérieure à la mortalité par pêche (0,14/an). Ces résultats suggèrent un fort potentiel de mortalité par la prédation ou d'autres causes naturelles. L'importance de cette prédation pourrait être évoquée comme dans de nombreux cas (Weis *et al.*, 2000). En effet, les consommations de la production aquatique par la prédation peuvent parfois dépasser celles résultant de la pêche (Christensen & Pauly, 1997). L'intensité

de la pression sur une proie est très variable et complexe dans le temps et dans l'espace (Walters *et al.*, 1997).

Selon que M et F soient égaux ou différents, cela correspond à un niveau d'exploitation du stock. Un stock est exploité de façon optimale lorsque $E = 0,5$ (Gulland, 1971). Cette hypothèse est vérifiée lorsque $F = M$. De ce fait, l'analyse révèle un état de sous-exploitation ($E = 0,12$) de sa population par la pêche car la mortalité naturelle est supérieure à la mortalité par pêche et E est inférieure à la limite d'exploitation maximale ($E_{max} = 0,42$) donnant le rendement maximum Y/R.

Conclusion

L'étude conduite sur cette espèce d'intérêt socio-économique provenant du golfe de Guinée a permis non seulement de réactualiser les données existantes mais également d'apporter de nouvelles informations, pour une meilleure gestion des stocks.

Les paramètres de croissance ont indiqué une longueur asymptotique (L_{∞}) estimée à 59,85 cm pour un taux de croissance (K) de 0,57/an.

L'analyse des paramètres d'exploitation a montré une sous-exploitation. En outre, la taille de première capture observée est inférieure à la taille de première maturité sexuelle. Cette exploitation menace la pérennité de *S. sarda*.

A la lumière de ces résultats, pour assurer la pérennité et garantir des stocks permanents des ressources halieutiques du golfe de Guinée, une politique de gestion rationnelle du stock doit être mise en place.

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. Alaa E. E. H., Essam S. & Hussain M. (2013). Fishery and Population Characteristics of *Euthynnus alletteratus* (Rafinesque, 1810) in the Eastern Coast of Alexandria, Egypt. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13: 629-638.
2. Angui, K. J. P., Diaha, N. C., Soro, Y., Amande, M. J., Edoukou, A., Assan, N. F., N'guessan, Y. & N'da, K. (2018). Paramètres de reproduction de *Sarda sarda* (Bloch, 1793) du golfe de Guinée, Côte

- d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 12(3): 1320-1333.
3. Ateş, C., Deval, C. M., Bok, T. (2008). Age and growth of Atlantic bonito (*Sarda sarda* Bloch, 1793) in the Sea of Marmara and Black Sea, Turkey. *J. Appl. Ichthyol.*, 24: 546–550. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2008.01102.x>
 4. Awoumou, C., D., G. (2005). Le golfe de Guinée face aux convoitises, 11ème Assemblée Générale du CODESRIA. In *Repenser le développement africain : au-delà de l'impasse, les alternatives*, Maputo, Mozambique, pp. 5-9.
 5. Baibbat, S., Malouli, I., Abid, N., Benazzouz, B. (2016). Study of the reproduction of Atlantic bonito (*Sarda sarda*) in South Atlantic Ocean of Morocco. *AAFL Bioflux*, 9(5): 954-964. DOI: <http://www.bioflux.com.ro/aafl>.
 6. Beverton, R., J., H. & Holt, S., J. (1966). On the dynamics of exploited fish populations. Londres, Fisheries Investment, 533 p.
 7. Cengiz, Ö. (2013). Some biological characteristics of Atlantic bonito (*Sarda sarda* Bloch, 1793) from Gallipoli Peninsula and Dardanelles (northeastern Mediterranean, Turkey). *Turkish Journal of Zoology*, 37: 73-83. DOI: <http://journals.tubitak.gov.tr/zoology/doi:10.3906/zoo-1204-10>.
 8. Chavance, P., Bâ, M., Gascuel, D., Vakily, J., M., Pauly, D. (2004). Pêcheries maritimes, écosystèmes et sociétés en Afrique de l'ouest : Un demi-siècle de changement, actes du symposium international, Dakar (Sénégal), 24-28 juin 2002, Bruxelles, Office des publications officielles des Communautés européennes, xxxvi-532-xiv p., (coll. des rapports de recherche halieutique à CP-UE, n° 15).
 9. Christensen, V. & Pauly, D. (1997). Placing fisheries resources in their ecosystem context. *EC Fisheries Cooperation Bulletin*, 10 (2): 9–11
 10. Diaha N. C. (2010). Ecologie, pêche de thonidés mineurs et biologie de *Scomberomorus tritor* (Cuvier, 1931) dans la Zone Economique Exclusive (ZEE) ivoirienne. Thèse de Doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, UFR des Sciences de la Nature, 193 p.
 11. Di Natale A., Mangano A., Celona A., Navarra E. & Valastro M. (2006). Atlantic bonito (*Sarda sarda*) catch composition in the Tyrrhenian Sea and in the Strait of Sicily in 2004. *Collective Volume of the Scientific Papers of ICCAT*, 59 (2): 564–570.
 12. Diouf T. (1980). Premières Données Relatives à l'Exploitation et à la Biologie de Quelques "Petits Thonidés et Espèces Voisines": *Euthynnus*, *Sarda*, *Scomberomorus* au Sénégal. *Collective Volume of the Scientific Papers of ICCAT*, 15 (2): 327-336.

13. Etim, L., Lebo, P., E. & King, R., P. (1999). The dynamics of an exploited population of a siluroid catfish *Schilbe intermedius* (Reupell, 1832) in the Cross River, Nigeria. *Fisheries Research*, 40: 295–307.
14. Fletcher N., Batjakas I. E. & Pierce G. J. (2013). Diet of the Atlantic bonito (*Sarda sarda*) (Bloch, 1793) in the Northeast Aegean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 29 (5): 1-6.
15. Franičević, M., Sinovčić, G., ČikešKeč, V., Zorica, B. (2005). Biometry analysis of the Atlantic bonito, *Sarda sarda* (Bloch, 1793) in the Adriatic Sea. *Acta Adriat*, 46: 213–222. DOI: <https://core.ac.uk/download/pdf/14375027.pdf>
16. Gayanilo, F., C., Jr., Sparre, P. & Pauly, D. (1995). FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT), user manual. FAO Computerized. Information. Series. Fisheries 8, 126 p.
17. Google maps, 2016. Données cartographiques du Golfe de Guinée. Online one <https://www.google.com/maps/>.
18. Gulland, J., A. (1971). The fish resources of the oceans. Fishing News Books, London, 255 p.
19. Hattour A. (2000). Contribution à l'étude des poissons pélagiques des eaux Tunisiennes. Thèse de Doctorat, Université de Tunis II, Faculté des Sciences de Tunis, 327 p.
20. Hattour , A. (2008). Les thons mineurs tunisiens : Etude biologique et pêche. *SCRS-055, Salammbô* : 2230-2271.
21. Kahraman, A., E., Göktürk, D., Yildiz, T., Uzer, U. (2014). Age, growth, and reproductive biology of Atlantic bonito (*Sarda sarda* Bloch, 1793) from the Turkish coasts of the Black Sea and the Sea of Marmara. Department of Fisheries Technology, Faculty of Fisheries, İstanbul University, Laleli, İstanbul, Turkey *Turk. J. Zool.*, 38: 614-621. DOI: <http://journals.tubitak.gov.tr/zoology/doi:10.3906/zoo-1311-25>.
22. Konan K. J., Diaha N. C., Sylla S., Amandè M. J. & Tapé G. T. J., 2013. Importance des requins dans les captures de la pêche artisanale aux filets maillants dérivants de Côte d'Ivoire. *ICCAT Collection Volume Scientific Paper*, 70 (5): 2446-2451
23. Macías, D., Gómez-Vives, M., J., García, S., Ortiz de Urbina, J., M. (2005). Reproductive characteristics of Atlantic bonito (*Sarda sarda*) from the south western Spanish Mediterranean. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 58(2): 470-483. DOI: https://www.researchgate.net/.../237277806_Reproductive_charact.
24. Macías D., Lema L., Gómez-Vives M. J., Ortiz J. M., de Urbina & de la Serna J. M., (2006). Some biological aspects of small tunas (*Euthynnus alletteratus*, *Sarda sarda* and *Auxis rochei*) from the South

- Western Spanish Mediterranean traps SCRS/2005/103. *Collective Volume of the Scientific Papers of ICCAT*, 59 (2): 579-589.
25. Moreau, J., Palomares, M., L., D., Torres, Jr., F., S., B. & Pauly, D. (1995). Atlas démographique des populations des poissons d'eaux douces d'Afrique. *ICLARM Rapport Technique*, 45: 140 p.
26. N'goran, Y., N., Amon Kothias, J., B., Bard, F., X. (2001). Captures d'istiophoridés (voiliers Istiophorus albicans, marlin bleu *Makaira nigricans*, marlin blanc *Tetrapturus albidus*) et effort de pêche des filets maillants dérivants en Côte d'Ivoire SCRS/00/63. *Rec. Doc. Sci.*, 53: 272-280. DOI: Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT, 2001 - iccat.int.
27. Oray I. K., Karakulak F. S. & Zengin M. (2004). Report on the Turkish bonito (*Sarda sarda*) fishery in 2000/2001. *Collective Volume of the Scientific Papers of ICCAT*, 56 (2): 784– 788.
28. Pauly, D. (1982). Une sélection de méthodes simples pour l'estimation des stocks de poissons tropicaux. FAO, Circuit Pêches, 63 p.
29. Pauly, D. (1990). Length-converted catch curves and the seasonal growth of fishes. *ICLARM Fishbyte*, 8 (3): 33 - 38.
30. Pauly, D. & Munro, J., L. (1984). Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *ICLARM Fishbyte*, 2 (1): 1-21.
31. Pauly, D., Gayanilo, F., C., Froese, Jr., R. & Christensen, V. (1995). Software tools for management of tropical aquatic resources. In : Sakagawa G.T. (Eds.): Assessment methodologies and management. Proceedings of the World Fisheries Congress, New Delhi Theme 5 Oxford & IBH Publishing, United Kingdom: 90-102.
32. Santamaria N., Deflorio M. & De Metrio G., 2005. Preliminary study on age and growth of juveniles of *Sarda sarda* and *Euthynnus alletteratus* caught by clupeoids purse seine in the Southern Italian SEAS. *Collective Volume of the Scientific Papers of ICCAT*, 58 (2): 630-643.
33. Von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, 10: 181-213. Walters, C., Christensen, V. & Pauly, D. (1997). Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass balanced assessments. *Review of Fish biology and Fisheries*, 7: 139-172.
34. Weis, J., S., Smith, G. & Santiago-Bass, C. (2000) Predator/prey interactions: A link between the individual level and both higher and lower level effects of toxicants in aquatic ecosystems. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 7 (2): 145–153.

Réhabilitation et Valorisation d'Anciens Sites Miniers en Champ de Tomate

Camara Rachel Honorine

Département de Génie Chimique, Institut Polytechnique (I.P),
Université Gamal Abdel Nasser de Conakry (UGANC)

Ousmane Koya Kaba

Laboratoire d'Hydrologie de Kankan

Sylla Salif Ismaël

Institut de Recherche et de Développement des Plantes Médicinales et
Alimentaires de Guinée (IRDPMAG)

Keïta Abdoulaye

École Doctorale en Sciences et Techniques (UGANC)

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p335](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p335)

Submitted: 23 August 2024

Accepted: 23 November 2024

Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Camara R.H., Ousmane K.K., Sylla S.I. & Keïta A. (2024). *Réhabilitation et Valorisation d'Anciens Sites Miniers en Champ de Tomate*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 335. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p335>

Résumé

Les activités agricoles occupent 64% de la population Guinéenne, qui y tire 80% de ses revenus. Les femmes qui représentent 52% de la population sont actives tout au long de la chaîne de production, elles comptent pour 53,3% de la main d'œuvre et y dévouent 80% de leur temps. Cependant, la plupart peinent à posséder la terre. Par ailleurs, malgré la contribution appréciable des compagnies minières au développement économique des pays, pas ou très peu d'efforts sont consentis pour la réhabilitation des anciennes carrières en domaines agricoles. La richesse du sous-sol guinéen, l'intensification de l'exploitation minière et leurs corollaires en Guinée en général et dans la zone de Boké en particulier, qui est une zone de production agricole, font que les domaines cultivables sont sous pressions anthropiques et climatiques. Par conséquent, la réhabilitation et la valorisation des anciennes carrières à des fins agricoles s'imposent comme une nécessité. L'objectif de l'étude est de réhabiliter un ancien site minier à Hamdallaye en un champ de tomate. Après la fermeture des excavations et l'aménagement grossier du site par la

compagnie minière, les blocs de pierres ont été retirés, suivi de l'étalement d'une couche d'environ 25 cm d'argile surmontée de 25 cm de terre. Puis, le site a été mis en jachère pendant 15 mois après avoir été nivelé. Par la suite, une analyse agro-pédologique du sol viabilisé a été réalisée dont les résultats sont les suivants : Texture : limono-argilo-sableuse ; pH : moyennement acide ; Matière organique : bien présente ; Azote : bien présent ; Phosphore : très faible ; Potassium : teneur élevée ; Capacité d'échange cationique : moyennement faible. En plus, un test de comportement a montré que le meilleur résultat est obtenu à partir de la combinaison des engrais organiques et minéraux. Conséquemment, des apports en fiente et NPK ont été faits lors de la production de la tomate. Malgré les difficultés rencontrées, les résultats de la production (13,09 T/ha) sont plutôt satisfaisants, ils démontrent la possibilité de réhabiliter une ancienne carrière en champ de tomate.

Mots-clés: Analyse agro-pédologique, Ancien site minier, Culture de la tomate, Exploitation minière, Viabilisation du sol

Rehabilitation and Valorization of Former Mining Sites into Tomato Fields

Camara Rachel Honorine

Département de Génie Chimique, Institut Polytechnique (I.P),
Université Gamal Abdel Nasser de Conakry (UGANC)

Ousmane Koya Kaba

Laboratoire d'Hydrologie de Kankan

Sylla Salif Ismaël

Institut de Recherche et de Développement des Plantes Médicinales et
Alimentaires de Guinée (IRDPMAG)

Keïta Abdoulaye

École Doctorale en Sciences et Techniques (UGANC)

Abstract

This paper focuses on examining the rehabilitation of a former mining site in Hamdallaye, Guinea, with the goal of converting it into a productive tomato field. Agriculture is a significant part of the Guinean economy, with 64% of the population involved in farming, and women playing a crucial role in the production process. However, many women struggle to own land, and the impacts of mining on arable land in regions like Boké exacerbate the challenges faced by local farmers. The study highlights the importance of rehabilitating old quarries into agricultural land, especially as mining intensifies and puts pressure on land resources. After the mining company

closed the site and performed preliminary leveling, the stone blocks were removed from the area, followed by the application of a layer of approximately 25 cm of clay, topped with another 25 cm of earth. After leveling the site, it was left fallow for 15 months before an agro-pedological analysis of the soil was conducted. The findings revealed that the soil had a silty-clayey-sandy texture, moderate acidity, and high levels of organic matter and nitrogen. However, phosphorus levels were very low, and potassium content was high. The study determined that the combination of organic manure and NPK fertilizers led to the best production results during tomato cultivation, with a yield of 13.09 tons per hectare. These results suggest that it is possible to successfully rehabilitate former mining sites into agricultural fields, particularly for crops like tomatoes, contributing to land restoration and increased food production in regions affected by mining.

Keywords: Agro-pedological analysis, former mining site, tomato cultivation, mining, soil development

Introduction

Les activités minières, qui se résument généralement à : (i) décaper la terre pour enlever la couche arabe, les stériles et autres, (ii) dynamiter et concasser les roches, (iii) transporter le minerai, (iv) traiter et transformer le minerai en produit semi fini et/ou fini, contribuent à la réduction de la biodiversité du milieu et à la perte de la fertilité des sols.

Malheureusement, après l'extraction du minerai, très peu ou pas d'efforts sont consentis pour la réhabilitation, la valorisation, voire la restauration des anciens sites miniers (PCMM, 2020).

Il est indiqué dans **Un enfant par la main (2024)**, que « *si les femmes des régions rurales jouissaient au même titre que les hommes d'un accès à la terre, à la technologie, aux services financiers, à l'éducation et aux marchés, le nombre de personnes souffrant de la faim serait réduit de 100 à 150 millions* ».

Donc, la réhabilitation correcte d'anciens sites miniers, leur mise à disposition des femmes et l'accompagnement de ces dernières pour développer des activités génératrices de revenus (AGR) rentables et écologiques, notamment des activités agricoles, pourrait contribuer à l'autonomisation des femmes et l'amélioration de la sécurité alimentaire.

En Guinée, la situation est d'autant plus préoccupante que c'est un pays à grandes potentialités minières dont l'exploitation s'est intensifiée ces dernières années et que les femmes comptant pour les 67 % de la population économiquement active, rencontrent encore des obstacles pour accéder et utiliser la terre (PAM, 2019).

À notre connaissance, à l'heure actuelle, très peu d'études ont été faites sur la réhabilitation d'anciens sites miniers en domaines agricoles en Guinée en général et dans la préfecture de Boké en particulier.

La présente étude portant sur la « Réhabilitation d'un ancien site minier et sa valorisation en champ de tomate : cas de l'ancienne carrière de Hamdallaye dans la commune rurale de Sangarédi » se propose d'apporter un début de solution, à court terme, à la réhabilitation du sol de ce site minier afin de permettre aux femmes des communautés riveraines, impactées par l'activité minière, d'en tirer largement profit.

Dans le cadre du projet d'extension des activités d'exploitation minière de la Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG), le village de Hamdallaye, impacté par ces activités, a été relocalisé sur une de ses anciennes carrières dont, selon (Diallo, 2020, communication personnelle), l'exploitation a été clôturée en 2014.

Ainsi, pour restaurer les moyens de subsistance de ces populations délocalisées, un projet de restauration et d'amélioration des moyens de subsistance (PRAMS) a été initié par la compagnie pour réhabiliter et valoriser cet ancien site minier à des fins agricoles, entre autres choses. L'objectif de cette recherche est d'expérimenter la culture de la tomate sur un ancien site minier réhabilité.

❖ Méthodes

Hamdallaye, notre site d'étude, est un village qui a été relocalisé sur une ancienne carrière de la CBG dont l'exploitation a été clôturée en 2014 (Diallo, 2020, communication personnelle). Il est situé dans la commune rurale (CR) de Sangarédi, préfecture de Boké.

« La commune rurale de Sangarédi est située à 72 km du chef-lieu de la préfecture de Boké. Elle est comprise entre 10° 36' 28' de latitude Nord et 14° 17' 54'' de longitude Ouest et s'étend sur une superficie de 2 837 km², limitée à l'est par la sous-préfecture de Missira (préfecture de Téliélé), à l'ouest par la sous-préfecture de Tanéné, au nord par la sous-préfecture de Wendou Borou (préfecture de Gaoual) et au sud par les sous-préfectures de Daramagnaki (Préfecture de Téliélé) et Malapouya (Boké).

Le climat de la CR de Sangarédi est du type tropical. Il est caractérisé par l'alternance de deux saisons : (i) une pluvieuse de six (6) mois (juin à novembre), influencée par une prédominance de la mousson et (ii) une sèche de six (6) mois (décembre à mai), avec une prépondérance de l'harmattan. Sa pluviométrie en moyenne fluctue entre 1 200 et 3 200 mm par an. Le cycle climatique, connaît actuellement une perturbation en raison des activités minières et de la pression humaine sur l'environnement. Les températures minimales et maximales enregistrées sont respectivement de 15°C et 45°C.

Du type foutanien, le relief est particulièrement accidenté, caractérisé par la présence massive des cuirasses ferrugineuses appelée « bowé ». La circonscription administrative fait partie intégrante des espaces abritant les 2/3 de gisements de bauxite du monde. Sa végétation est arborée et herbacée, et souvent parsemée d'îlots forestiers.

La CR de Sangarédi est arrosée par deux grands fleuves à régime régulier, le Cogon, longeant la CR du Nord-Ouest au Sud-Est, et la Tinguilinta, traversant la CR d'Est au Sud-Ouest. Plusieurs autres rivières et marigots à régime irrégulier arrosent la CR, ce sont Thiapikouré, Pora, Kewewol, Lopewol, Popobadielwol et Bhodiwol.

Cette CR compte onze (11) districts, comprenant 77 secteurs et 219 villages. Sa population est estimée à 152 400 habitants, dont 78 728 femmes (52%) pour une population imposable de 25 212 personnes. Elle est composée de plusieurs ethnies dont : Peulh ; Soussou ; Malinké. L'ethnie dominante est le peulh et le dialecte le plus parlé est le Poular.

Les communautés évoluent dans les domaines économiques suivants : agro-pastoral (88%), élevage (10%), main d'œuvre ouvrière (1,5%), et fonctionnaire (0,5%) (AGCEDE, 2020).

Les analyses du sol ont été réalisées au Laboratoire des sols du Centre Régional de Recherche Agronomique de Foulaya (Kindia) de l'Institut de Recherche Agronomique de Guinée (IRAG).

➤ Aménagement des sites

Après la fermeture des excavations et l'aménagement grossier du site par la CBG, la suite des opérations a consisté à retirer les gros blocs de pierre restés sur le site. Puis, une couche d'environ 25 cm d'argile, surmontée d'environ 25 cm de « terre noire » a été étalée sur le site. Ceci, en plus de la quantité de terre arable (retirée du site au cours de la phase d'exploitation et stockée par la compagnie) qui a été remise par la CBG lors de la fermeture des excavations.

Le fait d'apporter de l'argile et un surplus de « terre noire » au site, a permis de reconstituer une couche de terre suffisante pour assurer le développement, non seulement, des racines de la tomate, mais aussi, de la biomasse du sol indispensable pour mener à bien une activité agricole viable. Il faut préciser que l'argile a été utilisée tant pour améliorer la structure du sol, en servant de liant entre les différents constituants du sol (Espace pour la vie, 2021), que pour renforcer sa capacité de rétention de l'eau (Beauchamp, 2005).

Après, le sol du site a été nivelé, avant d'être mis en jachère pendant quinze (15) mois, de mars 2019 à mai 2020. L'objectif de cette mise en jachère est de permettre la reprise de l'activité microbienne qui a été ensuite évaluée.

➤ **Évaluation de la performance du site**

L'évaluation de la performance du site a porté sur le constat visuel de la reprise de la végétation et celui de la qualité du sol.

- *Évaluation du niveau d'enherbement*

L'évaluation visuelle du site a eu lieu en octobre 2019, elle a permis d'apprécier le niveau de reprise de la végétation (enherbement du site), donc de l'activité microbienne.

Pour évaluer la qualité du sol, des échantillons ont été prélevés sur le site réhabilité et destiné à la production de la tomate.

○ **Échantillonnage**

La zone d'échantillonnage a compté cinq (5) points de prélèvement en se déplaçant en zigzag sur le site (Reid, 2006).

Au niveau de chaque point d'échantillonnage, une pelletée a été prélevée dans un trou de 50 cm de large, 1m de long et 1,20 m de profondeur (INRA, 2019), soit un total de 5 pelletées. De chacune de ces pelletées, après être soigneusement mélangées, 100g de sol ont été prélevés, mis dans un sachet en plastique, fermé, identifié, daté et numéroté. La masse totale des échantillons est alors 500g (Reid, 2006), soit un total de 5 sachets de 100g.

Ensuite, ces 5 sachets ont été immédiatement acheminés au laboratoire de l'IRAG, sis à Kindia, pour procéder à des analyses agro-pédologiques. Enfin, en fonction du mode opératoire de chaque type d'analyse, les quantités requises ont été prélevées.

Par ailleurs, il faut préciser que les reliquats des 5 pelletées prélevées sur le domaine, ont été mélangés et mis dans 8 sachets en plastique pour des fins de test de comportement de la tomate.

- *Test de comportement de la tomate dans différents substrats*

Pour réaliser le test de comportement, ce sont 6 échantillons de terre viabilisée qui ont été enrichis et 2 échantillons de terre viabilisée non enrichis (servant de témoins) qui ont été ensemencés comme indiqué ci-dessous :

- **Sachet 1 et 2** = terre viabilisée + fiente + tomate ;
- **Sachet 3 et 4** = terre viabilisée + engrais complet (triple 17) + tomate ;
- **Sachet 5 et 6** = terre viabilisée + fiente + engrais complet (triple 17) + tomate ;
- **Sachet 7 et 8 (témoin)** = terre viabilisée + tomate

- *Analyse agro pédologique pour déterminer si le sol, en l'état, est propice à la culture de la tomate.*

Les analyses agro pédologiques ont été réalisées au laboratoire des sols de l'IRAG. Elles ont porté sur la détermination de 2 types de paramètres :

○ **Les paramètres physiques**

- La granulométrie a été déterminée par la méthode densimétrique de Bouyoucos (**CEAEQ, 2003**) soutenue par le

« **Triangle texturale ou diagramme texturale** » (JAPS, 2015).

- La densité réelle (Dr) par le pycnomètre (UFMC1, 2017).
- La densité apparente (Da) par la méthode d cylindre (AV, n.d).
- Le taux d'humidité par séchage à l'étuve (UFMC1, 2017).
- **Les paramètres chimiques**
- L'acidité du sol par mesure du pH par la méthode potentiométrique (CRRAS, 1988).
- La matière organique par la méthode Anne (Boukteb et al., 2021).
- Le phosphore assimilable par la méthode de Bray 2 (CRRAS, 1988).
- L'azote total par la méthode de Kjeldahl modifiée (CWEA, 2014).
- Le potassium assimilable (CRRAS, 1988).
- La capacité d'échange cationique et les bases échangeables (CRRAS, 1988).

➤ **Production agricole**

La période de production de la tomate prise en compte est la campagne de la saison sèche de l'année 2021 (octobre-décembre), la variété utilisée est la « mongale » et les fertilisants usités sont la fiente, le superphosphate et le triple 15.

❖ **Résultats et Discussions**

□ **Évaluation du niveau d'enherbement**

Après quinze (15) mois de jachère, il a été enregistré sur le site réhabilité, une qualité appréciable de l'enherbement comportant des légumineuses rampantes (crotalaires) et une forte présence des graminées (roseau) avec des racines bien développées.

La croissance luxuriante des plantes est un signe de reprise des activités microbiennes dans le sol et le bon développement du système racinaire démontre la profondeur du sol.

Ainsi, la nature et l'état d'enherbement (densité et hauteur des herbes) attestent d'un niveau satisfaisant de la réhabilitation.

□ **Test de comportement de la tomate dans différents substrats**

Les résultats visuels du test de comportement de la tomate dans différents substrats ont montré que les meilleurs résultats de croissance (la levée, la taille, la vigueur et la couleur des plants) de la tomate ont été obtenus au niveau des échantillons de terres fertilisées avec de la fiente de poule, le superphosphate et le triple 15.

❑ Evaluation des paramètres agro pédologiques du sol

Les résultats de l'analyse agro pédologiques du sol se présentent comme suit :

✓ Analyse physique :

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus lors de l'analyse des paramètres physiques du sol au niveau des 3 échantillons de terre prélevés sur la parcelle. Il montre aussi les valeurs moyennes et l'écart type. En lien avec les valeurs de l'écart type, il ressort une faible variance entre les résultats enregistrés, ce qui est une bonne indication de leurs fiabilités.

La densité apparente et la densité réelle de cette parcelle sont respectivement de 0,80 g/cm³ et 2,30 g/cm³ en moyenne. Ces deux densités ont servi à calculer le niveau de porosité du sol.

Ainsi, la porosité moyenne de la parcelle est de 64,10%. L'humidité du sol est de 10% en moyenne, avec un point de flétrissement (PF) de 15,00% et une capacité moyenne au champ de 27,60%.

Tableau I. Récapitulatif des résultats de l'analyse physique du sol

Paramètres	R1	R2	R3	Moyenne	Écart type
Sable (%)	57,50	57,86	57,68	57,68	0,18
Argile (%)	25,00	24,97	25,15	25,04	0,10
Limon (%)	16,89	17,50	17,45	17,28	0,34
Texture (T)	LAS	LAS	LAS	LAS	LAS
Da (g/cm ³)	0,79	0,85	0,76	0,80	0,05
Dr (g/cm ³)	2,29	2,4	2,21	2,30	0,10
Humidité (%)	10,10	10,04	9,86	10,00	0,12
Porosité (%)	64,40	63,82	64,08	64,10	0,29
CC (%)	27,80	27,60	27,40	27,60	0,20
PF (%)	14,48	15,30	15,22	15,00	0,42

Légende : R1 = Résultat de l'échantillon 1, R2 : Résultat de l'échantillon 2, R3 : Résultat de l'échantillon 3, Da : Densité apparente, Dr : Densité réelle, CC : Capacité au champ, PF : Point de flétrissement

En outre, on note que la parcelle est constituée en moyenne de 57,68% de sable, 25,04% d'argile, 17,28% de limon, comme illustré sur la Figure 1 ci-après.

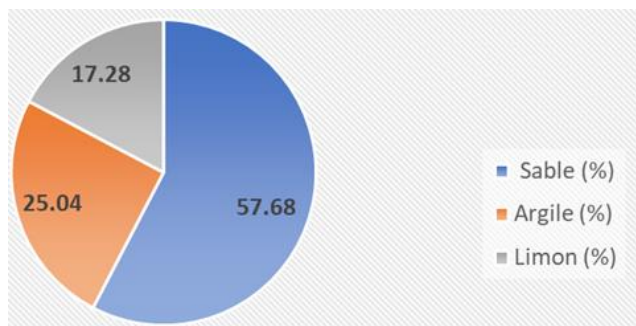


Figure 1. Texture du sol

A partir de ces données sur la composition texturale du sol, et en utilisant le « **Triangle texturale ou diagramme texturale** » (JAPS, 2015), il ressort, comme présenté sur la Figure 2 ci-dessous, que la texture du sol est du type « limono-argilo-sableuse » (LAS). Ce type de sol est en général drainant (perméable) et permet ainsi d'éviter les risques de stagnations des eaux provenant des pluies excessives. De plus, il assure une bonne aération et circulation de l'eau au sein du sol, et en conséquence, un bon développement racinaire. Il convient à toutes les cultures, y compris celle de la tomate.

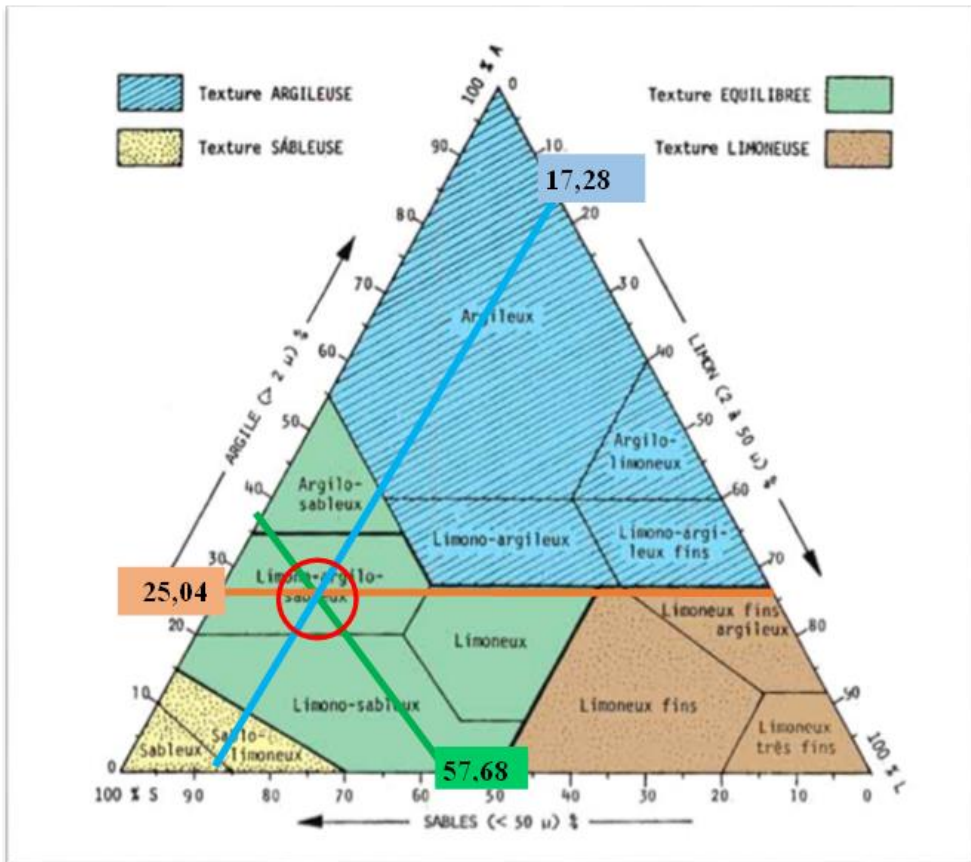


Figure 2. « Triangle texturale ou diagramme texturale » (JAPS, 2015)

✓ **Analyse chimique :**

Tableau II. Récapitulatif des résultats d'analyse chimique du sol

Paramètres	R1	R2	R3	Moyenne	Ecart type	Appréciation	Données de référence*
PH	5,50	6,00	6,20	5,90	0,36056	Moy. acide	5,60 - 7,50
Matière organique « m.o » (%)	8,45	8,30	8,00	8,25	0,22913	Très riche	2,50 - 5,00
Azote total « Nt » (%)	0,40	0,38	0,46	0,41	0,03940	Riche	0,10 - 0,15

C/N	11,80	11,63	11,67	11,70	0,08888	Satisfaisant	12,00-18,00
Azote assimilable « Nass. » (mg/100g sol)	20,20	20,91	20,69	20,60	0,36346	Très riche	2,00 - 4,00
Phosphore assimilable « P ₂ O ₅ » (mg/100g sol)	0,11	0,13	0,12	0,12	0,01000	Très pauvre	3,00 - 15,00
Potasse échangeable « K ₂ O » (mg/100g sol)	25,25	25,80	25,75	25,60	0,30414	Riche	7,00 - 20,00
Capacité d'échange cationique « CEC » (méq/100g sol)	12,00	11,70	12,00	11,90	0,17321	Moyennement pauvre	15,00-25,00

*Légende : R1 = Résultat de l'échantillon 1, R2 = Résultat de l'échantillon 2, R3 = Résultat de l'échantillon 3, C/N = Rapport carbone azote, * = informations fournies par le Laboratoire des sols de l'IRAG*

Tableau III. Récapitulatif des réserves du sol en éléments nutritifs en kg par hectare

Paramètres	R1	R2	R3	Moyenne	Ecart type
Reserve en éléments nutritifs (kg/ha) - Azote (N)	328,00	330,00	330,80	329,60	1,44222
Reserve en éléments nutritifs (kg/ha) - Phosphore (P ₂ O ₅)	1,83	1,94	1,99	1,92	0,08185
Reserve en éléments nutritifs (kg/ha) - Potassium (K ₂ O)	409,00	409,70	410,10	409,60	0,55678

Légende : R1 = Résultat de l'échantillon 1, R2 = Résultat de l'échantillon 2, R3 = Résultat de l'échantillon 3

Comme consigné dans ces tableaux récapitulatifs ci-dessus, les paramètres chimiques du sol analysé sont les suivants :

- **pH** de ce sol (5,90) est moyennement acide. Toutefois, selon les cas, il est conseillé d'effectuer le chaulage au cours des années à venir pour relever le niveau du pH du sol et l'enrichir en calcium (Ifce, 2016).
- **Matière organique (statut humique)**, le sol en est très bien doté (8,25%) si l'on prend en compte les données de référence qui se situent entre 2,50% – 5,00%.
- **Azote**, le sol en est bien pourvu (0,41% comparé aux données de référence qui varient entre 0,10% et 0,15%).
- **Phosphore**, les teneurs sont très faibles (0,12 % contre des valeurs de référence situées entre 3,00% – 15,00%), il y a donc nécessité de majorer les apports pour corriger le niveau du sol d'une part, et répondre aux besoins de consommation de la culture, d'autre part.

- **Potassium**, sa teneur est élevée (25,60% comparée à l'intervalle de référence de 7,00% - 20%).
- **Capacité d'échange cationique** est moyenne faible (11,90 comparée à l'intervalle de référence qui oscille entre 15,00 et 25,00). Par conséquent, il est conseillé d'apporter de la matière organique et relever le niveau du pH par le biais du chaulage.

Aussi, il faut noter que ces tableaux présentent les valeurs des 3 échantillons de sol qui ont été analysés ainsi que les données moyennes et l'écart type des données obtenues. Ainsi, il ressort que la variance au niveau des résultats des 3 échantillons, représentée par l'écart type, est faible, ce qui dénote de la fiabilité des résultats.

□ **Evaluation de la production de la tomate**

L'aménagement par la CBG du site destiné à la production agricole a consisté à la fermeture des excavations avec le sol retiré lors de l'exploitation minière y compris la couche superficielle dite « terre noire ». Cependant, il se trouve que cette « terre dite noire ou couche arable » qui a été remise sur le site lors de la réhabilitation, a été stockée et exposée aux intempéries de la nature pendant plus cinq années, causant ainsi le lessivage et l'érosion. Or, dans A.G (2016), il est indiqué que la qualité de la terre arable décapée se détériore au cours de la première année du stockage et précise que cette période ne devrait normalement pas excéder les six mois. Tout cela a contribué à la dégradation de la qualité de cette « terre arable », constituée majoritairement de blocs de pierres et de gravier.

Pourtant, il est bien connu que la réussite d'une activité de production agricole dépend, entre autres, de la qualité de la terre arable. C'est pourquoi, il était nécessaire de procéder à l'amélioration de la qualité agricole de ce sol (état physique, biologique et chimique) par un amendement qui a consisté à un apport d'argile et de la « terre noire supposée être de meilleure qualité » que la première qui a été stockée, puis étalée. Malheureusement, cette seconde terre noire était de qualité médiocre, quoique qu'elle ait été relativement meilleure à la première. L'argile a été utilisée pour non seulement améliorer la structure du sol, en servant de liant entre les différents constituants du sol (Espace pour la vie, n.d), mais aussi, pour améliorer sa capacité de rétention de l'eau (Verne & Beauchamp, 2005). La « terre noire de qualité relativement meilleure » a quant à elle contribué à booster le capital biologique et chimique du sol en apportant de la matière organique, des nutriments et des microorganismes nécessaires au bon développement d'une plante.

Comme le démontrent les résultats des analyses visuelles, agro-pédologiques et comportementales réalisées, cet amendement a effectivement permis

d'avoir un niveau de fertilité du sol appréciable en rendant ainsi le sol plus apte à la production de plusieurs spéculations dont la tomate.

Toutefois, il est à préciser que le relief du site était inapproprié (présence de cuvettes et de fortes pentes) ce qui a conduit, par endroit, à la formation de flaques d'eau, et en d'autres endroits, au lessivage du sol, provoquant respectivement le pourrissement des plants et l'érosion du sol. Tout cela a affecté le rendement de la culture et mis en évidence l'importance que revêt, dans un projet de réhabilitation d'anciens sites miniers, la qualité de la terre noire ou couche arable utilisée, ainsi que l'établissement et l'implémentation d'un bon plan d'aménagement topographique (A. G, 2016). Cela est d'autant plus pertinent que l'exploitation minière, par ses différents procédés (décapage, explosion, excavation, déplacement et stockage de la terre et des gravats,), change le relief des sites qu'il est nécessaire de ramener à un état viable pour la production agricole (en fonction de la spéculation pratiquée). Aussi, les conditions et la durée de stockage de la terre arable retirée lors de l'exploitation minière sont des facteurs importants à prendre en compte puisqu'elles affectent sa qualité (A. G, 2016) et, par ricochet, la productivité du site réhabilité avec cette terre arable stockée.

Pour pallier ces situations, nous recommandons une meilleure gestion de la terre arable et des stériles retirés du site au début de sa mise en exploitation, y compris leur durée et leurs conditions de stockage. Un aménagement (reconstruction du relief) plus adéquat et efficace du site à réhabiliter par l'implication d'experts topographes et paysagistes afin d'élaborer des plans d'aménagements susceptibles d'optimiser l'exploitation de ces sites à des fins agricoles ainsi que leurs rentabilités. Nous conseillons aussi, qu'un guide de réhabilitation des sites miniers en domaines agricoles, adapté aux réalités Guinéennes, soit élaboré et vulgarisé. En outre, il serait souhaitable que les compagnies minières conçoivent un plan de gestion responsable et durable des rebuts de leurs cantines et autres déchets organiques pour la fabrication de compost par les riverains. Ce compost sera ensuite utilisé pour reconstituer la couche arable des sites à réhabiliter. Cela aurait un triple avantage à savoir :

- la protection de l'environnement (des déchets des cantines),
- la création d'emplois pour les riverains et
- l'amélioration de la fertilité des sols à réhabiliter.

Les résultats de la production sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV. Résultats de la production de la tomate

Spéculation	Superficie (ha)	Quantité produite en kg	Rendement T/ha			Quantité perdue en kg	Quantité autoconsommée en kg	Quantité vendue en kg	OBS.
			Théorique*	Réel	Taux accrois.				
Tomate	0,35	4 583,00	15,00	13,09	- 12,70%	107,00	75,00	4 401,00	CSS 21

Légende :

CSS 21 : Campagne saison sèche 2021, Taux accrois. : Taux d'accroissement de la production par rapport à la moyenne préfectorale, NA : Non applicable, OBS. : Observation, * Estimation du rendement moyen (en T/ha) fournie par l'antenne préfectorale de Boké de l'Agence Nationale de la Promotion Rurale et du Conseil Agricole (ANPROCA) du Ministère de l'agriculture et de l'élevage.

De ce tableau il ressort que le rendement de 13,09 T/ha obtenu est sur le site réhabilité, quoique appréciable, est en deçà de 12,70% du standard de la préfecture de Boké qui est de 15,00%. Ces résultats ont été fortement affectés par les facteurs suivants :

- Le site est une ancienne carrière réhabilitée en domaine agricole, les conditions et la durée de stockage de la couche arable n'étaient pas optimales causant ainsi une détérioration de sa qualité,
- L'insuffisance des aménagements physiques du site a conduit à un relief inapproprié qui a eu pour conséquence le lessivage du sol et la formation de flaques d'eau part endroit qui ont causé le pourrissement des plants et l'érosion du sol ;
- Les attaques des plants de tomate par les nuisibles,
- La résistance, le manque de motivation et les conflits entre certains de membres de la communauté, d'une part, et avec la compagnie minière, d'autre part, ont conduit entre autres au refus de certains de s'occuper convenablement de leur parcelles (arrosage, désherbage...).

Les difficultés d'ordre social, démontrent la pertinence d'avoir l'adhésion de toute la communauté au programme de réhabilitation dans ses moindres détails et cela bien avant sa mise en œuvre, au risque de compromettre sa réussite.

Sur le plan technique, il ressort que pour réussir un programme de réhabilitation, les différentes étapes doivent être rigoureusement respectées, notamment celle de la gestion adéquate de la terre arable et la construction du relief.

Conclusion

Les activités agricoles occupent 64% de la population Guinéenne, qui y tire 80% de ses revenus (FIDA, 2020). Les femmes qui représentent 52% de

la population sont actives tout au long de la chaîne de production, elles comptent pour 53,3% de la main d'œuvre et y consacrent 80% de leur temps (UN, 2012). Dans la région de Boké, qui abrite notre zone d'étude, l'agriculture représente aussi la principale activité économique pour les populations. Elle occupe 1 010 426 personnes (ANSA, 2024) sur une population totale de 1 190 724 (INS, 2017), soit 84,86%, dont plus de la moitié (610 304) sont des femmes. Cependant, la plupart d'entre elles peinent encore à posséder la terre (PAM, 2019).

En outre, le sous-sol de cette région de Boké regorge d'importantes ressources minières, notamment la bauxite à haute teneur en alumine. La valeur de ses gisements est évaluée à 23 milliards de tonnes (MMG, 2022), ce qui représente plus des 57% des réserves du pays estimées, à 40 milliards de tonnes, soit les deux tiers des réserves mondiales (MMG, 2018). Par ailleurs, l'intensification de l'exploitation minière et leurs corollaires en Guinée en général et dans la zone de Boké en particulier, qui, il faut le rappeler, est aussi une grande zone de production agricole, font que les domaines cultivables sont sous pressions anthropiques et climatiques (APIP-Guinée, 2022).

Enfin, malgré la contribution appréciable des compagnies minières au développement économique des pays, le plus souvent, malheureusement, après l'extraction du minerai, très peu ou pas d'efforts sont consentis pour la restauration et la valorisation des anciennes carrières minières (PCMM, 2020).

Il ressort de cette étude que la réhabilitation des anciennes carrières à des fins agricoles, a l'avantage d'offrir rapidement des solutions aux questions essentielles liées à la restauration des moyens de subsistance des communautés riveraines impactées par les activités minières.

Les résultats enregistrés (les valeurs des paramètres agro-pédologiques du site réhabilité et ceux de la production), ont montré que, malgré toutes les difficultés rencontrées, cette réhabilitation est possible et utile en Guinée, car 2 groupements de femmes du village de Hamdallaye ont pu produire 4,583 t de tomate, dont 4,401 t ont été commercialisées, 0,107 t perdue et 0,075 t autoconsommée. Ces résultats devraient progressivement s'améliorer dans le temps, à mesure que le sol, la flore et la faune se reconstituent (A. G, 2016). En outre, ils révèlent clairement que cette réhabilitation et valorisation d'une ancienne carrière en champs agricoles, en faveur des femmes, contribue plus rapidement (en comparaison à la pratique courante de mise en place de plantations d'arbres exotiques, pour la plupart) au renforcement de leur pouvoir économique, mais aussi à l'amélioration de la sécurité alimentaire de leurs familles respectives.

Ainsi, en tenant compte: (i) de ces résultats ; (ii) du fait que, selon PAM (2019), les femmes en Guinée qui représentent 67 % de la population économiquement active, continuent ; malheureusement, à rencontrer des

difficultés pour avoir un accès à la terre et, (iii) de la déclaration suivante des nations unies « *si les femmes des régions rurales jouissaient au même titre que les hommes d'un accès à la terre, à la technologie, aux services financiers, à l'éducation et aux marchés, le nombre de personnes souffrant de la faim serait réduit de 100 à 150 millions* » UN (2020), nous recommandons vivement que le gouvernement intègre dans sa politique foncière, environnementale, d'administration du territoire, et minière, la réhabilitation d'une partie des anciennes carrières en domaines agricoles qui seront ensuite octroyés aux femmes, suivis d'un accompagnement technique et d'une facilitation pour l'accès aux intrants et aux crédits de commercialisation.

Enfin, nonobstant ces résultats plutôt encourageants qui offrent l'évidence scientifique de la possibilité en Guinée, si tous les préalables sont respectés, de réhabiliter d'anciens sites miniers en domaines agricoles, d'autres recherches sont nécessaires pour conforter cette évidence et systématiser l'approche. En outre, étant donné la volonté affichée des autorités guinéennes à vouloir transformer sur place la bauxite en produits semi-finis et finis, il est important que des études exploratoires soient menées pour identifier et évaluer les risques de contamination par les métaux lourds des différentes parties des plantes de tomates, de la racine aux fruits et proposer des mesures de prévention ou de mitigation desdits risques.

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. Académie de Versailles (AV) (n.d). *Mesure e la densité volumique (densité apparente) du sol, du volume d'eau qu'il contient*. https://svt.ac-versailles.fr/IMG/docx/densite_du_sol.docx. Consulté 12 juillet 2019.
2. Agence de Promotion des Investissements Privés (APIP-Guinée) (2022). *Présentation Sectorielle : Agriculture*. <https://www.invest.gov.gn/page/agriculture?onglet=presentation#:~:text=Des%20364.000%20hectares%20de%20terres,55%25%20de%20la%20population%20totale> (consulté le 26 mai 2022).
3. Agence Nationale des Statistiques Agricoles et Alimentaires (ANSA) (2024). *Recensement National de l'Agriculture et de l'Elevage (RNAE 2020-2022)* /Population agricole.

- <https://guinea.opendataforafrica.org/tftrng/resultats-du-rnae-2020-2022>. Consulté le 04 octobre 2022.
4. Australian Gouvernement (A.G) (2016). *Réhabilitation de sites miniers : Programme des bonnes pratiques pour le développement durable de l'industrie minière*. <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-04/lpsdp-mine-rehabilitation-handbook-french.pdf>. Consulté le 18 mai 2019.
 5. Bouktteb, B., Boutaleb, K., & Chennaf, Z. (2021). *Contribution à l'étude de l'effet des sulfates et les chlorures sur la teneur du carbone organique du sol*. <http://dspace.univ-tiaret.dz/handle/123456789/7026>. Consulté le 28 septembre 2021.
 6. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) (2003). *Méthode d'analyse Détermination de la granulométrie dans les sols agricoles et les sédiments : méthode Bouyoucos*. <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs35073>. Consulté le 09 janvier 2019.
 7. Centre régional de recherche agronomique de Sotuba (CRRAS) (1988). *Méthodes d'analyses des sols, plantes et eaux*. <https://edepot.wur.nl/485540>. Consulté le 26 août 2019.
 8. Compendium Wallon des Méthodes d'Échantillonnage et d'Analyse (CWEA) (2014). *Détermination de l'azote total – méthode de Kjeldahl modifiée - dans les terres agricoles*.
 9. <https://www.issep.be/wp-content/uploads/CWEA-S-II-9.2v2.pdf>. Consulté le 18 mars 2019.
 10. Espace pour la vie (n.d). *Carnet horticole et botanique. Structure du sol*. <https://espacepouurlavie.ca/structure-du-sol>. Consulté, le 3 février 2022.
 11. Fonds international de développement agricole (FIDA) (2020). *L'avenir de l'agriculture en Guinée : 2030-2063. Étude de cas : Défis et Opportunités pour les projets financés par le FIDA*. <https://www.ifad.org/documents/38714170/43334911/Guin%C3%A9e+IFAD+Futur+de+l%27agri.pdf/b7c23d4c-bf5c-0218-955f-7bf9da974885?t=1625228849351#:~:text=La%20population%20est%20estim%C3%A9e%20%C3%A0,repr%C3%A9sente%2033%25%20de%20la%20population>. Consulté le 04 octobre 2022.
 12. Institut français du cheval et de l'équitation (ifce), Agricultures & Territoires, Région Normandie, & Europe s'engage en Basse-Normandie (2016). *Le chaulage : pourquoi et comment corriger l'acidité des sols*. https://www.harasnationaux.fr/fileadmin/bibliotheque/Equipaedia/fiches_equi_pature/ficheTKEqui-pature_chaulage.pdf. Consulté le 18 mars 2019.

13. Institut National de la Statistique (INS) (2017). *Analyse des données du RGPH3/Perspectives démographiques Décembre 2017*. <https://population.insguinee.org/resultat/>. Consulté le 21 février 2019.
14. Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA) & Chambre d'agriculture de Bretagne (2019). *Principe et méthode de l'étude agro-pédologique*. [http://www.maine-et-loire.gouv.fr/IMG/pdf/principes de la methode tariere v07032019.pdf](http://www.maine-et-loire.gouv.fr/IMG/pdf/principes_de_la_methode_tariere_v07032019.pdf). Consulté le 28 mai 2019.
15. Journal of Animal & Plant Sciences (JAPS) (2015). *Caractérisation du niveau de fertilité des sols de la chaîne de l'Atakora au nord-ouest du Bénin*. <https://www.m.elewa.org/JAPS/2015/25.2/1.%20kombienou.pdf>. Consulté le 03 octobre 2019.
16. Ministère des Mines et de la Géologie (MMG) (2018). *Déclaration de Politique Minière : Pour un secteur minier performant, catalyseur de la transformation structurelle de l'économie pour un développement durable*. Conakry, République de Guinée. <https://www.smfg.com/app/uploads/2020/07/D%C3%A9claration-Politique-Miniere2018-MMG.pdf>. Consulté le 07 juillet 2021.
17. Ministère des Mines et de la Géologie (MMG) (n.d). *Potentiel minéral. Bauxite : devenir un leader de la production mondiale*. <https://mines.gov.gn/potentiel-mineral/>. Consulté le 07 juillet 2021.
18. Plan Canadien pour les Minéraux et les Métaux (PCMM) (2020). *L'industrie minière au Canada : Le Canada a besoin de l'exploitation minière*. <https://www.minescanada.ca/fr/lindustrie-miniere-au-Canada>. Consulté le 27 décembre 2020.
19. Programme Alimentaire Mondiale (PAM) (2019). *Plan stratégique de pays provisoire — Guinée (2019-2022)*. https://executiveboard.wfp.org/document_download/WFP-0000104855. Consulté le 21 février 2020.
20. Projet d'Appui à la Gouvernance et la Croissance Economique Durable en zone Extractive (AGCEDE) (2020). *Présentation de la commune de Sangarédi*. [http://www.bokemergent.com/prentation/Sangar%C3%A9di#:~:text=Elle%20s'%C3%A9tend%20sur%20une,Daramagnaki%20\(Pr%C3%A9fecture%20de%20T%C3%A9lim%C3%A9lim%C3%A9lim\)%20et](http://www.bokemergent.com/prentation/Sangar%C3%A9di#:~:text=Elle%20s'%C3%A9tend%20sur%20une,Daramagnaki%20(Pr%C3%A9fecture%20de%20T%C3%A9lim%C3%A9lim%C3%A9lim)%20et). Consulté le 05 mai 2020).
21. Reid, K. (2006). *Échantillonnage et analyse de sol dans le cadre de la gestion des éléments nutritifs*. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/06-032.htm>. Consulté 09 janvier 2019.

22. Un enfant par la main (2024). *Objectif de développement durable numéro 2 : Éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable. Mettre un terme à la faim : pourquoi est-ce important ?* p.5. <https://www.unenfantparlamain.org/eliminer-faim/>. Consulté le 25 juin 2024.
23. United Nation (UN) (2012). *Allocution de son Excellence Madame la Ministre Cherif Nantenin Konaté, Ministre d'état chargé des affaires sociales, de la promotion féminine et de l'enfance.* <https://www.un.org/womenwatch/daw/csw/csw56/general-discussions/member-states/Guinee.pdf>. Consulté 03 septembre février 2020.
24. Université Frère Mentouri Constantine1(UFMC1) (2017). *Mécanique des sols*. https://fac.umc.edu.dz/fstech/TRONC/tp_mds.pdf . Consulté le 18 mars 2019.
25. Verne, J. & Beauchamp, P. (2005). *Les argiles*. <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/argiles.htm#:~:text=Les%20argiles%20fixent%20l'eau,celle%20des%20racines%20des%20plantes> . Consulté le 14 novembre 2019.

Contribution to the sustainable management of water and soil resources in North-West Benin: characterization of the watershed heads of the Ouémé and Pendjari rivers in the commune of Copargo

Kamarou Faré Kondo

Ecole doctorale Chaire Internationale de la Physique Mathématique et Applications (CIPMA), Université d'Abomey-Calavi, Bénin
Centre d'Excellence d'Afrique pour l'Eau et l'Assainissement (C2EA), Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin
Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA), Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin
Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement (LHAE), Faculté des Sciences (FDS), Université de Lomé, Togo

Ibrahim Tchakala

Gnazou Masamaéya Dadja-Toyou

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement (LHAE), Faculté des Sciences (FDS), Université de Lomé, Togo

Sambienou Wèré Gédéon

Adandedji Firmin

Boukari Ousmane

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA), Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Mama Daouda

Centre d'Excellence d'Afrique pour l'Eau et l'Assainissement (C2EA), Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin
Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA), Institut National de l'Eau (INE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n33p353](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p353)

Submitted: 22 August 2024
Accepted: 22 November 2024
Published: 30 November 2024

Copyright 2024 Author(s)
Under Creative Commons CC-BY 4.0
OPEN ACCESS

Cite As:

Kondo K.F., Tchakala I., Gnazou M.D.T., Sambienou W.G., Adandedji F., Boukari O., & Mama D.(2024). *Contribution to the sustainable management of water and soil resources in North-West Benin: characterization of the watershed heads of the Ouémé and Pendjari rivers in the commune of Copargo*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (33), 353.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n33p353>

Abstract

Watershed heads, which are the upstream areas where rivers originate, are crucial zones for water resource management. Defined by first- and second-order streams according to Strahler's classification, watershed heads are often overlooked in water resource planning due to limited information and knowledge about these areas. This oversight leads to anthropogenic pressures and negative impacts on water quality, soils, and biodiversity. The objective of the present study is to characterize the watershed heads of the Ouémé and Pendjari rivers within the Copargo municipality, with the aim of improving understanding of sustainable water and soil resource management in this region. For this purpose, mapping techniques and geographic information systems were employed to identify and delineate the watershed heads. Criteria related to morphometry, land use, and land cover were utilized to characterize the areas of the watershed heads. Exploratory and principal component analyses based on various characteristics of the watershed heads were conducted using the R software, which highlighted the different challenges associated with these areas. The study delineated 25 watershed heads: 14 in the Pendjari watershed and 11 in the Ouémé watershed, revealing their surface area and occupancy within the respective watersheds. The average unit area of the watershed heads is 23.6 km² in the Ouémé watershed and 21 km² in the Pendjari watershed. Across all watershed heads, the Gravelius compactness index ranges from 1.2 to 1.5, while slopes vary from 1.5% to 4.5%. Most watershed heads in Copargo are characterized by high proportions of agricultural land, moderate forest cover, and low levels of urbanized area. The high proportion of agricultural land has significant implications for water and soil resources. The results of this study provide valuable data for decision-makers and reveal the vulnerability of watershed heads to anthropogenic pressures. With a view to assessing the impact of anthropogenic pressure on the water resources of the study area, it would be beneficial in the future to proceed with the physicochemical and bacteriological characterization of these resources.

Keywords: Watershed Heads Characterization, Ouémé and Pendjari watersheds in Copargo, Integrated and Sustainable Water and Soil Resource Management

Introduction

Watershed heads (WSH), also known as headwaters or river heads, refer to the areas drained by the first watercourses in the hydrographic network (Maman, 2007). They are located upstream of the watercourses, at their source (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2018). The definition of WSH varies

depending on the approach and region. However, most definitions refer to Strahler's classification (1952), which orders watercourses in the hydrographic network from source to outlet, establishing an order of importance based on the level of confluence (Clarke et al., 2008; Wallace & Eggert, 2009). According to the Agence de l'Eau Loire-Bretagne (2020), WSH corresponds to the upstream zones of rivers, encompassing springs, diffuse flows, streams (whether temporary or permanent), and their associated watershed areas. They are defined as the catchment areas of rivers with a Strahler rank less than or equal to 2 and a slope greater than 1%. This slope criterion can be adapted locally for streams with low specific power, where there is a risk of failing to meet environmental objectives (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2020). For some authors who share this perspective, WSH corresponds to the watershed areas of rivers ranked 1 and 2 in Strahler's system, i.e., small tributaries of the hydrographic network (Cirou, 2017; Clarke et al., 2008; Freeman et al., 2007; Rasmussen et al., 2013).

Situated at the interface between terrestrial and aquatic environments, WSH abounds with small streams, ponds, and wetlands, providing essential ecosystem services for the proper functioning of hydrosystems (Henner, 2013; Kagan, 2017; LE Bihan, 2017). Their distribution across a watershed makes them crucial for the water cycle. Indeed, WSH occupies 70-80% of the total surface area of a watershed, while the length of their watercourses represents 60-80% of the total length of the hydrographic network. They are also responsible for 60% of the water quality in downstream rivers (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2018, 2020; Kagan, 2017; Maman, 2007). Due to their multiple functions, WSH is a major challenge for water and soil resource management. The integrity of these areas is essential for the functioning of downstream rivers, in terms of both flow and water quality.

Despite their importance, WSH watercourses are often overlooked in inventories and in the preparation of planning documents and water resource development and management schemes (Dourotimy Rachel et al., 2020). These areas, often ignored by certain socio-professional groups, are subject to increasing anthropogenic pressure, and their condition is rarely assessed (Agbanou, 2018; Barnaud, 2013; Dourotimy Rachel et al., 2020; Meyer & Wallace, 2001). Additionally, the degradation of soil fertility, linked to overexploitation of the land and climate change, is leading to a significant drop in agricultural productivity, prompting the population to seek new fertile land. Considered fertile, WSH is exploited for various purposes, including agriculture.

In northern Benin, where agriculture is the main economic activity, WSH is also subject to these anthropogenic pressures. The intensification of agriculture and livestock farming, driven by the growing demand for food products and the depletion of arable land in the valleys, is compromising the

integrity of water and soil resources, as well as the state of biodiversity, which is becoming increasingly degraded (Gouv-Bénin, 2021). Stakeholders from all socio-professional categories are unaware of the importance and role of WSH, and riverside populations fail to recognize the need to protect and preserve these areas, often seeing them merely as spaces to exploit for immediate benefits (Dourotimy Rachel et al., 2020).

Faced with these challenges, WSH are now at the center of growing concerns, although their inclusion in water management is relatively recent (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2020; CREDEL, 2019; Henner, 2013; Kagan, 2017; LE Bihan, 2017). In Benin, this is reflected in the pilot integrated management initiative for the headwaters of the Mékrou watershed, implemented in 2012 by PNE-Benin. Dourotimy (2020) also worked on identifying WSH to improve the sustainable management of water resources in the Mékrou River. The present research is therefore the second study devoted to WSH in Benin. Its originality lies in the combination of several approaches, which not only allow for the identification but also the characterization of WSH according to various criteria. This will create a database that facilitates their integration into the planning and management of water and soil resources. For WSH to be included in the planning and sustainable management of water and soil resources, it is essential to know their location, functions, importance, and vulnerability to human pressures.

In light of the above, the present study aims to characterize the WSH of the Ouémé and Pendjari rivers in the municipality of Copargo, northwest Benin, in order to contribute effectively to the integrated and sustainable management of water and soil resources in this region.

Materials and methods

Study area

Located between latitudes 9°40'50" and 10°4'31" north and longitudes 1°20' and 1°45' east, the municipality of Copargo covers an area of 876 km² and has a population of approximately 71,000. It is bordered to the northwest by Boukombé, to the north and northeast by Kouandé, to the southwest by Ouaké, to the southeast and east by Djougou, and to the west by the Republic of Togo (Figure 1).

The region experiences a Sudano-Guinean climate, moderated by the Atacora mountain range. During the dry season, the Harmattan, a cool and dry wind, blows across the area. There are two main seasons: a dry season from mid-October to mid-April, and a rainy season from mid-April to mid-October. Rainfall is unevenly distributed throughout the municipality, ranging from 800 mm to 1,300 mm, with August and September being the wettest months (Mathieu & Bernard, 2020).

The highest average monthly maximum temperature occurs in March, reaching around 36°C, while the lowest average minimum temperature is recorded in August at 32°C.

The vegetation in the area is primarily composed of wooded and grassy savannas. Common shrub species include shea, *Parkia biglobosa*, mango, and caïlcédrat. There is also a classified forest covering 1,091 hectares along with gallery forests scattered across the region (République du Bénin, 2019).

The commune's topography is dominated by the Atacora mountain range, with its highest point at 654 meters above sea level, located in the Tanéka-Koko area in the western part of the municipality. The remaining area consists of vast wooded plains interspersed with valleys and basins, which are often wet and conducive to agriculture. These wetlands are concentrated in the northwestern part of the commune, at elevations ranging from 329 to 396 meters (Mathieu & Bernard, 2020).

Copargo is traversed by a dense hydrographic network, with several rivers, the main ones being the Ouémé and Pendjari. The Pendjari has a seasonal flow, while the Ouémé flows year-round toward the Atlantic Ocean (République du Bénin, 2019).

Soils in Copargo are primarily unconcreted and indurated tropical ferruginous leached soils, found mainly on the summits and slopes. Lighter soils with low water retention capacity are predominantly found in the arrondissements of Anandana and Singré (Gnonhoue, 2020; Mathieu & Bernard, 2020).

Geologically, the region is characterized by formations ranging from the Atacorien series (which extends into Togo and Ghana) to the earliest outcrops of the Dahomeyan or Benino-Togolese basement, composed of very ancient volcanic rocks. These are followed by layers of quartzites, schists, micaschists, and deposits from the Buem series (UNEP/GEF/Volta/NR Benin, 2010). The water resources in Copargo include both groundwater and surface water.

The local economy is largely based on agriculture, fishing, hunting, trade, manufacturing, and other industries. The population is predominantly agricultural, with farming as the main economic activity, employing over 90% of the working population. The three primary sectors contributing to the local GDP are yam (80.12%), maize (14.95%), and cashew nuts (7.43%). Other crops that could further contribute to local economic growth include chili peppers, rice, and cotton.

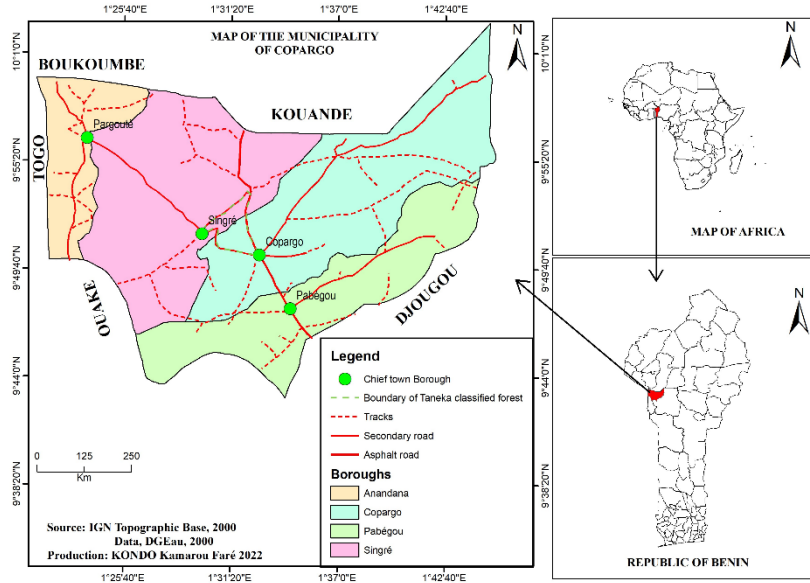


Figure 1: Geographical location of the study area

Method for delimiting and characterizing watershed heads

Understanding the concept of watershed heads

The definition of Watershed Heads (WSH) varies depending on the approaches and regions around the world. However, most definitions refer to Strahler's (1952) classification or ordination. This method classifies watercourses based on their significance from the source to the outlet of a watershed, assigning ranks that increase from upstream to downstream. The Strahler ordination method, summarized in Figure 2, follows these rules: a) the watercourse at the source is assigned rank 1, b) any watercourse without tributaries is of order 1, c) the confluence of two watercourses of order n results in a watercourse of order $n+1$, and d) any watercourse that receives a tributary of a lower order retains its original order (Strahler, 1952). For some authors, WSH corresponds to watersheds delineated by watercourses of ranks 1 and 2 according to Strahler (Clarke et al., 2008; Freeman et al., 2007; Rasmussen et al., 2013). Others extend the definition to include rank 3 or, in some cases, restrict it to rank 1 (Krecek & Haigh, 2006; Wallace & Eggert, 2009). WSH can also be defined based on the width and discharge of the watercourses, considering them as upstream areas devoid of fish (Wipfli et al., 2007).

According to the Agence de l'Eau Loire-Bretagne (2018), in its Water Development and Management Master Plan (2016-2021), WSH is "watersheds delineated by watercourses of Strahler rank equal to or less than 2 (Figure 3) and having a slope greater than 1%." This slope criterion may be

adapted locally for watercourses with low specific power, which present a risk of failing to meet environmental objectives.

In Benin, in her study on the identification of WSH in the Mékrou River, Dourotimy (2020) defines WSH as the watersheds of watercourses with a Strahler rank less than or equal to 2 and a slope greater than 1%. However, this slope criterion is often contested in the delineation of watershed heads for several reasons (Henner, 2013; LE Bihan, 2009).

In the context of this study, the slope criterion was not retained for the following reasons: a) applying the slope criterion would exclude fragile watercourses from WSH; b) the 1% slope criterion is not substantiated in the scientific literature; c) applying this criterion results in the exclusion of meandering watercourses; d) within the same WSH, slopes can vary both above and below 1%, leading to inconsistencies (LE Bihan, 2017); e) the slope criterion is not relevant and can be counterproductive, as it overlooks environments vulnerable to anthropogenic pressures and fails to address lowland and plateau watersheds adequately (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2018; LE Bihan, 2009); f) mapping rivers according to Strahler's ordination method shows that the watercourses in the WSH are not necessarily located upstream of the entire hydrographic basin.

For this reason, this study defines and delimits WSH as the small watersheds drained by watercourses of Strahler ranks 1 and 2. Thus, in the present study, WSH are considered as the areas drained by the watercourses of order 1 and 2 according to the Strahler classification.

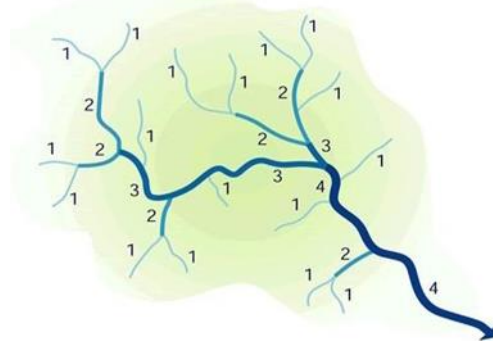


Figure 2: Strahler hydrographic network classification
(Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2020)



Figure 3: Hydrographic network showing watershed heads
(Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2020)

Cartographic and GIS Tools

The delineation of WSH requires a cartographic approach (Cirou, 2017; Dourotimy Rachel et al., 2020).

Delineation of Watershed heads (WSH)

The delineation of the WSH in Copargo was carried out using a cartographic approach. To achieve this, it was first necessary to inventory and validate the watercourses by referencing those surveyed in the field. Subsequently, the watercourses were classified, followed by the delineation of the WSH based on the Strahler classification.

a. Inventory of streams (watercourses) of the watershed heads of Copargo

This involved a series of operations to identify the hydrographic network, from the main rivers to the smaller creeks and streams in the Copargo municipality. Using the Digital Elevation Model (DEM), raster layers were generated, and through vectorization, linear layers representing the hydrographic networks of the Ouémé and Pendjari rivers in Copargo were obtained. The chosen discretization threshold was 350, which provided the maximum level of detail for the hydrographic networks. Additional fieldwork was also conducted to validate the hydrographic network that was generated.

b. Ordination of the hydrographic network according to the Strahler method

Using the Strahler method, each watercourse in the hydrographic network was assigned a rank based on its order of significance, from source to outlet. In this process, watercourses at the source, as well as those without tributaries, were assigned rank 1. The confluence of two rank 1 watercourses resulted in a rank 2 watercourse. Similarly, the confluence of two rank 2 watercourses resulted in a rank 3 watercourse, and the confluence of two rank

3 watercourses produced a rank 4 watercourse. Watercourses receiving tributaries of a lower rank retained their original rank. As a result, at the end of this ordination process, the hydrographic network was classified into four ranks according to Strahler classification

c. Delineation of the Watershed heads of Copargo

Based on the definition of WSH adopted in this study (areas drained by and delineated by watercourses of Strahler ranks 1 and 2), the delineation process involved identifying the outlets of the rank 2 watercourses across all watersheds. From each of these outlets, the WSH was delineated by aggregating the areas across all the watersheds.

Watershed head characterization

The characterization aimed to describe the WSH based on several criteria, with the goal of contributing new knowledge about their morphometric characteristics and enhancing understanding of the condition of the WSH.

Criteria relating to the physical and geographical context

These criteria pertain to general morphological characteristics, as well as specific elevation and altitude at the crest and downstream.

General morphology index

The general morphology index of the WSH includes area, perimeter, the linear extent of the watercourses within the WSH, the Gravelius compactness index (KG), the density of channels, the density of the low point network, and the time of concentration.

Area and Perimeter

The area and perimeter are directly determined from the watershed head map using GIS software.

Gravelius Compactness Index (KG)

The Gravelius compactness index provides information about the shape of the WSH and indicates its responsiveness following a rainfall event. The Gravelius compactness index is calculated using the following formula:

$$KG = \frac{\textit{Perimeter of the watershed head}}{2\sqrt{\pi(\textit{Area of watershed head})}} \quad (1)$$

KG = Compactness Index

If KG is close to 1, the WSH has a diffuse (or irregular) shape, resulting in a strong hydrological response.

If KG is greater than 1, the WSH takes on an elongated shape, which results in a weaker hydrological response (Gravelius, 1914).

Average slope of the watershed head

The average slope can provide insights into the topography of the valley (whether it is more or less rugged) within the WSH. A pronounced slope may also correspond to increased runoff. In this study, the slope is derived from a slope raster of each WSH through the processing of the DEM of the municipality of Copargo. The resulting values thus represent the average slope.

Time of concentration (Tc)

The time of concentration is the time it takes for a raindrop, falling at the furthest point of a watershed, to reach the watershed outlet. In other words, it is the maximum time needed for runoff, generated by uniform rainfall, to reach the outlet. This parameter is crucial in hydrology, as it helps estimate a watershed's response time to precipitation, thereby influencing flood forecasting and stormwater management (Critchely & Siegert, 1991; Giandotti, 1934; Kirpich, 1940; McCuen, 2004; Te Chow et al., 1988). In this study, the time of concentration was calculated using the following formula:

$$T_c = 0,108 \frac{\sqrt[3]{\text{WSH area (km}^2\text{)} * \text{Length of the longest flow path (km)}}}{\sqrt{\text{Slope of the longest flow path}}} \text{ (hour)} \quad (2)$$

Density of inventoried channels

The density of inventoried channels allows for estimating the importance of the surface area in contact with terrestrial environments, where potential functional hyporheic zones (areas where groundwater and surface water mix, contributing to self-purification processes) may exist (Meyer et al., 2007). The density is calculated using the following formula:

$$\text{Dens_IC} = \frac{\text{Extent of the Watercourse}}{\text{watershed head area (ha)}} \quad (3)$$

Density of low point network

The low point network density indicates the density of identified thalwegs within the WSH. A higher density reflects a favorable context for runoff, as more low points facilitate the movement of water. The low point network density is calculated using the following formula (Cirou, 2017):

$$\text{Dens_Lpn} = \frac{\text{Length of the low-point network}}{\text{Watershed head area (ha)}} \quad (4)$$

Dens_Lpn = Density of low point network

Specific relief, crest elevation, and downstream elevation

Specific relief, crest elevation, and downstream elevation are determined directly from the map using GIS tools. The specific relief classifies the WSH relief into seven categories (DGEAU, 2013) (Table 1, summarized below).

Table 1: Classification of watershed heads relief

Specific relief	<10	10-25	25-50	50-100	100-250	250-500	>500
Class	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Relief	Very weak	Weak	Fairly strong	Moderate	Relatively low	Strong	Very strong

Risk and Stake Criteria

The risk and stake criteria adopted in this study include land use criteria (such as agricultural, and urban areas), land cover criteria (such as forests), as well as criteria specific to wetlands.

Land use and land cover

Land use and land cover, representing the different activities in the study area, required calculating the percentage of land by typology (urban areas, agricultural land, forested areas). The study of land use in the WSH was conducted using remote sensing via Google Earth Engine, employing a supervised classification with the ESA WorldCover classifier (Zanaga et al., 2022). In this context, the percentage of land occupation for each typology in the WSH was calculated using the following formula:

$$\%Land_Use = \frac{Typological\ area}{Watershed\ head\ area} \times 100 \tag{5}$$

Wetlands density

The wetland density (W-Dens) within the WSH, defined as the proportion of wetland area relative to the total area of the watershed, is calculated using the following formula (Cirou, 2017):

$$W_Dens = \frac{Wetland\ area}{Watershed\ head\ area} \times 100 \tag{6}$$

Statistical analysis

Data processing resulting from the characterization and statistical analysis was performed using Excel 2013 and R software. Excel was used for performing various calculations, as well as for producing tables and graphs. Multivariate statistical analysis was carried out using R software (Husson et al., 2010; Lê et al., 2008). Using the compiled database that includes all characterization criteria, exploratory analyses were conducted to classify and differentiate the WSH based on their functions and associated issues. A Principal Component Analysis (PCA) was performed to examine the

distribution of the WSH according to their morphological characteristics. Additionally, a Hierarchical Ascending Classification (HAC), based on the PCA results, was used to identify groups of WSH exhibiting similar morphological traits. The morphological criteria were then used to characterize each group, with the objective of testing whether the mean of each group differed significantly from that of the overall population. An Analysis of Variance (ANOVA) was performed at the 0.1% significance level, assuming homoscedasticity (equal variances across groups).

Results

Inventory of watercourses

The results of the watercourse inventory conducted in the municipality of Copargo are shown in Figure 4 below. The figure illustrates that the hydrographic networks of both the Pendjari and Ouémé rivers consist of minor streams, secondary brooks, and main watercourses.

Ordination of the hydrographic network and identification of watershed heads

Figure 5 presented below illustrates the hydrographic networks of the Ouémé and Pendjari rivers classified according to Strahler's method. The figure shows that, within the municipality of Copargo, the hydrographic networks consist of watercourses of orders 1, 2, 3, and 4 according to Strahler's classification. In this study, the identified WSH correspond to small watersheds drained by order 1 and order 2 watercourses. Specifically, these small watersheds have outlets defined by either the confluence of two order 1 watercourses or the confluence of one order 1 and one order 2 watercourse.

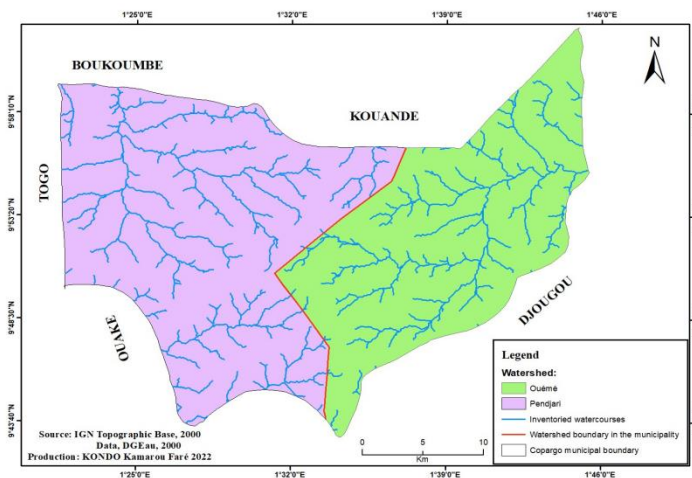


Figure 4: Map of the watercourses inventoried at the watershed heads within the municipality of Copargo

Delineation obtained for the Ouémé and Pendjari watersheds

Figure 6 below illustrate the various WSH delineated in the municipality of Copargo. A total of 25 WSH have been identified and delineated. Of these, 11 are located in the Ouémé watershed, and 14 in the Pendjari watershed. Each of these WSH has an outlet defined by either the confluence of two order 1 watercourses or the confluence of one order 1 and one order 2 watercourse, according to Strahler's classification.

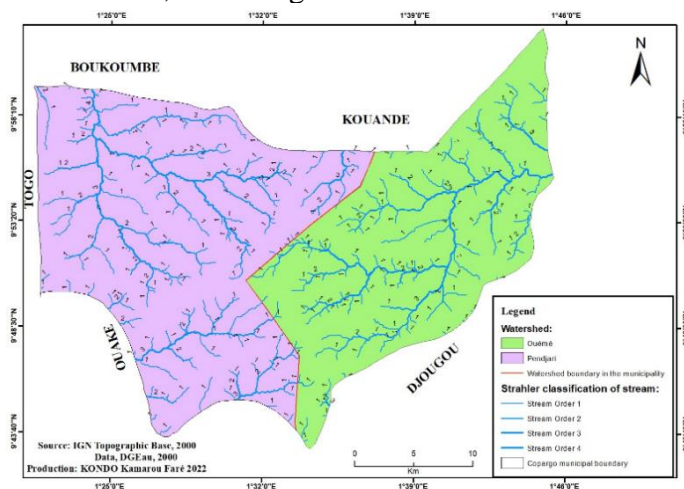


Figure 5 Ordination of the hydrographic network of Copargo according to Strahler's method

Characteristics of the watershed heads

Morphometric characteristics

Surface area

The areas of the delineated WSH in the municipality of Copargo are shown in Figure 7. The data reveals that the size of the WSH in the Ouémé watershed ranges from 9.3 km² (930 hectares) to 44.4 km² (4,440 hectares). In the Pendjari watershed, the WSH areas range from 7.1 km² (710 hectares) to 42 km² (4,200 hectares). The largest WSH is located in the Ouémé watershed.

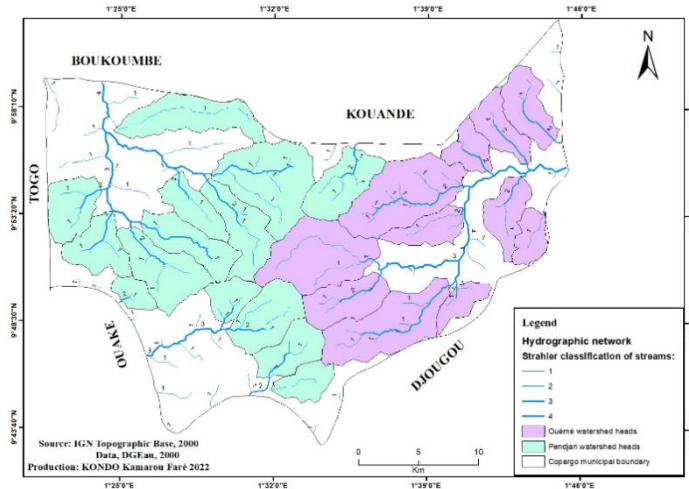


Figure 6: Map of the delineated watershed heads of the Ouémé and Pendjari rivers in the municipality of Copargo

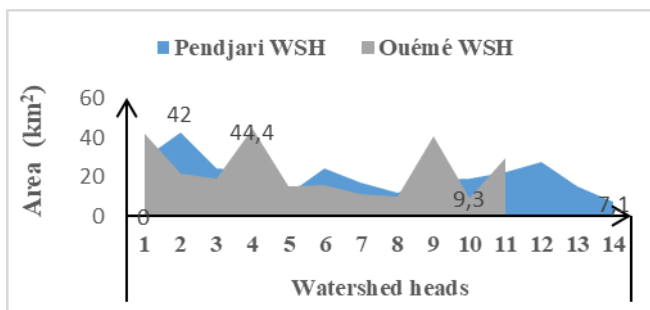


Figure 7: Surface area of the Pendjari and Ouémé watershed heads in Copargo

Perimeter

Figure 8 below shows the perimeter of each WSH, ranging from 14.8 km to 31.7 km for the Ouémé watershed and from 11.3 km to 31 km for the Pendjari watershed.

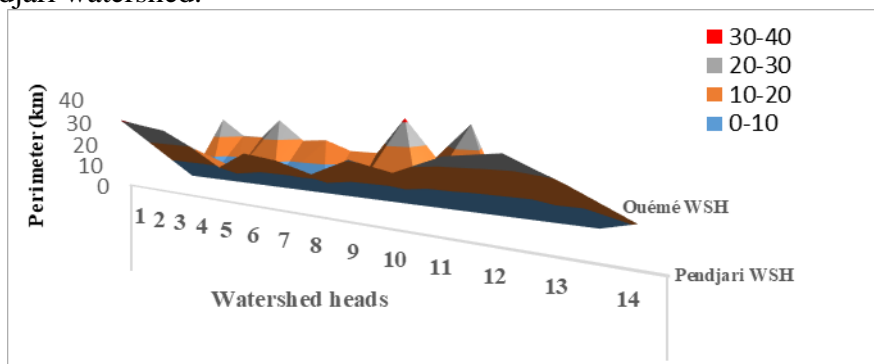


Figure 8: Perimeter of the Pendjari and Ouémé watershed heads in Copargo

Gravelius compactness index (KG)

The Gravelius compactness index, calculated for each WSH, is greater than 1. It ranges from 1.2 to 1.5 for the Ouémé watershed, while it fluctuates from 1.1 to 1.6 for the Pendjari watershed.

Linear of watercourses at the watershed heads

In Copargo, the watercourses of the Ouémé watershed extend over 132 km, accounting for 83.5% of the total length of the Ouémé hydrographic network. In contrast, the watercourses of the Pendjari watershed extend over 293.7 km, accounting for 59.4% of the total length of the Pendjari hydrographic network.

Average slope and area of watershed heads

Figure 9 below shows the variation in slope with respect to the area of the WSH. The slope varies between 1.5% and 4.2%. Relatively higher slopes are generally observed in the smaller WSH of the Ouémé watershed.

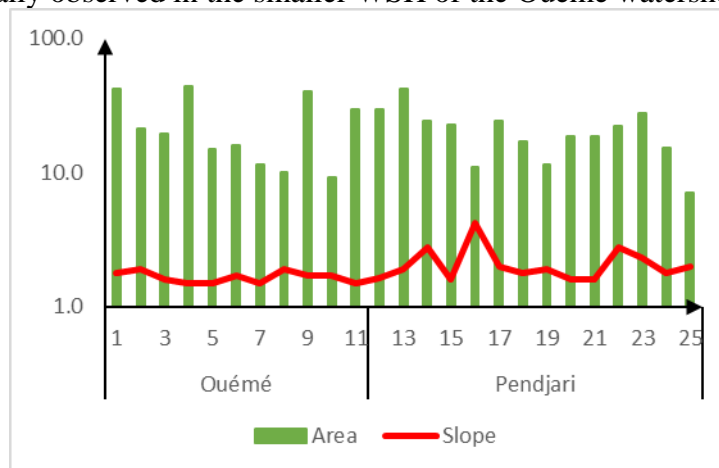


Figure 9: Area and average slope of watershed heads

Crest and downstream elevation

The elevations of the crest and downstream of the WSH are presented in Figure 10 below. In the Ouémé watershed, the crest elevation ranges from 432 m to 543 m, while the downstream elevation spans from 375 m to 453 m. In the Pendjari watershed, the crest elevation varies from 431 m to 644 m, and the downstream elevation ranges from 342 m to 432 m.

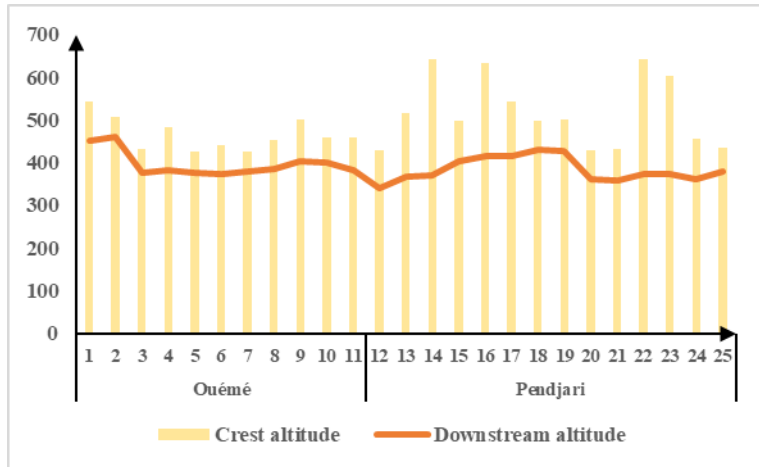


Figure 10: Crest and downstream elevation of Copargo watershed heads

Specific relief and average slope of the watershed heads

As shown in Figure 11 below, significant specific relief in the Ouémé WSH is typically associated with steeper slopes. A similar pattern is observed in the Pendjari WSH, where average slopes correspond to variations in specific relief.

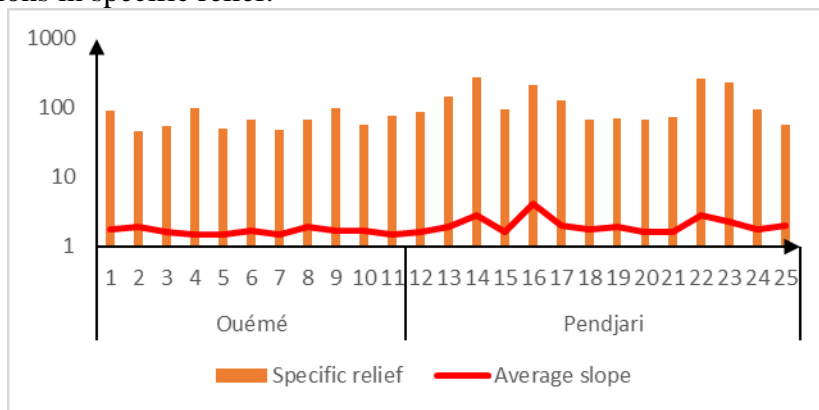


Figure 11: Specific relief and average slope of the Copargo watershed heads

The specific relief values allowed the classification of the WSH relief into four categories: R3, R4, R5, and R6. According to Figure 12, 64% of the WSH in Copargo exhibit moderate relief (R4), 8% show strong relief (R6), 20% exhibit fairly strong relief (R5), and 8% have relatively low relief (R3).

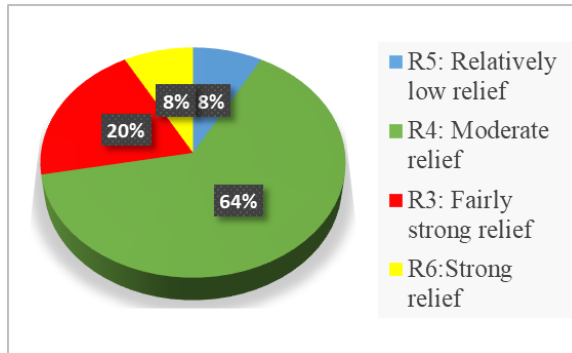


Figure 12: Relief classes of Copargo watershed heads

Specific relief and size of watershed heads

According to Figure 13, which illustrates the variation of specific relief of the WSH based on their size, it is the larger WSH that exhibit the highest specific relief. This trend is observed for both the headwaters of the Ouémé and those of the Pendjari.

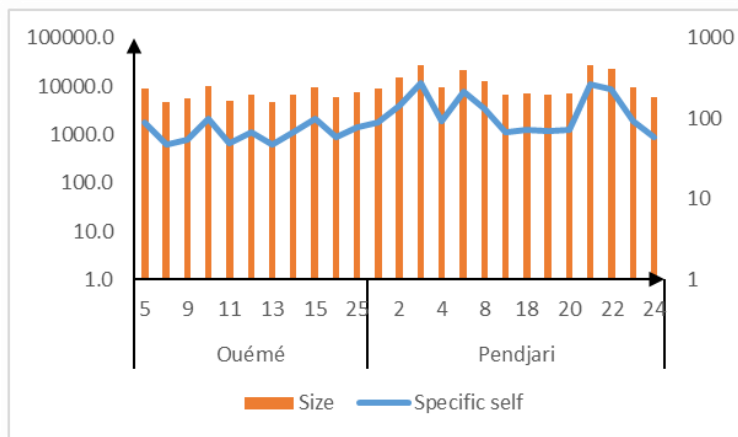


Figure 13: Size and specific elevation change of Copargo's watershed heads

Average morphometric characteristics of watershed heads by watershed

Table 2 summarizes the main average morphometric characteristics of the delineated WSH. The average area of the WSH in the Ouémé watershed is 23.6 km², while in the Pendjari watershed it is 21 km². The average unit perimeter is 22.3 km in the Ouémé watershed and 21 km in the Pendjari watershed. The total area of the WSH in the Ouémé watershed is 259.4 km², representing 69.4% of the total area of the Ouémé watershed. In contrast, the total area of the WSH in the Pendjari watershed is 293.7 km², corresponding to 59.4% of the total area of the Pendjari watershed.

Table 2: Morphometric characteristics of watershed head by watershed in Copargo

	Ouémé watershed	Pendjari watershed
Number of watershed heads	11	14
Min-Max area	9.3 – 44.4 km ²	7.1 - 42 km ²
Average area	23.6 km ²	21 km ²
Total area	259.4 km ² (69.4%)	293.7 km ² (59.4%)
Compactness index (KG)	1.2 – 1.5	1.1 – 1.6
Average perimeter	22.3 km	21 km
Length of hydrographic network	132 km (83.5%)	198 km (85.7%)

Relationship between the morphology of the watershed heads and their delineation

Figure 14 presents the results of the Principal Component Analysis (PCA) performed on the morphometric characteristics of the WSH. This analysis reveals that the first two dimensions of the correlation circle account for 57.83% of the total variance. The first dimension (Dim 1: 31.87%) is primarily positively influenced by the mean slope and specific relief. The second dimension (Dim 2: 25.96%) is driven, in its positive section, by density channel and, in its negative section, by the Gravelius compactness index and WSH area. This indicates that density channel is negatively correlated with both the Gravelius compactness index and WSH area.

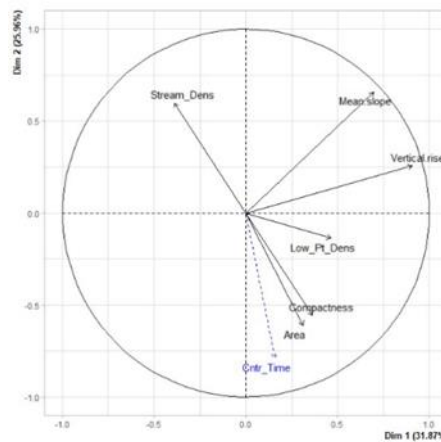


Figure 14: Graph of variables representing dimensions 1 and 2 of the PCA on the morphology of the WSH

Grouping of watershed heads into homogeneous morphology classes

Figure 15 shows the graph of the overlap between the WSH and the morphometric variables, illustrating those whose characteristics most contribute to the formation of the first two dimensions of the PCA. The graph reveals three distinct groups or classes of WSH. Morphological class 1 (MC1) consists exclusively of WSH from the Ouémé watershed (4%). Morphological class 2 (MC2) includes 32% of WSH from Ouémé and 48% from Pendjari.

Morphological class 3 (MC3) is made up of 8% of WSH from both Ouémé and Pendjari (table 3).

Table 3: Classes of watershed heads morphology based on their respective watersheds

Morphological class	Watershed	
	Ouémé	Pendjari
MC1	4%	0%
MC2	32%	48%
MC3	8%	8%

The statistical trends characterizing each class based on morphological criteria are summarized in Table 4. The mean values of each morphometric characteristic are provided for each morphological class. If a characteristic does not show a significant difference from the overall mean of all WSH, it is marked as 'NS' (Not Significant).

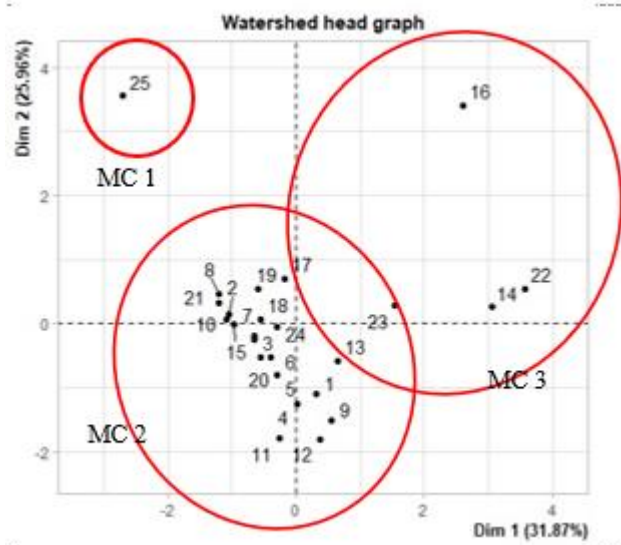


Figure 15: Graph of individuals representing dimensions 1 and 2 of the PCA on the morphology of the WSH

Table 4: Description of morphology classes by morphology criteria

		Area	Compactness	Dens_Ch	Dens_Lpn	Tc	Average slope	Vertical rise
MC1	Mean	2969,68	1,53	2,85	1,18	0,50	0,015	77,00
	σ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
MC2	Mean	2304,06	1,30	6,24	2,25	0,42	0,019	NS
	σ	868,13	0,10	2,42	0,50	0,11	0,004	51,03
MC3	Mean	1564,86	1,34	4,56	1,38	0,33	0,019	112,50
	σ	612,01	0,01	0,28	0,34	0,07	0,002	58,75
Total	Mean	2212,42	1,32	5,84	2,07	0,42	0,019	105,84
	σ	859,59	0,09	2,00	0,55	0,10	0,004	50,80

The information provided by the different morphology classes in Figure 15, Tables 3 and 4 is summarized below in table 5.

Table 5: Summary description of watershed heads morphology

Class	Description
MC1	Profile of an elongated WSH with a low average slope and elevation change, exhibiting a high concentration time.
MC2	Profile of a WSH with a steep slope, high watercourse density, and the presence of thalwegs.
MC3	Profile of small WSH with a less elongated shape, low concentration time, and significant slope and elevation change.

Environmental characteristics of the watershed heads

Direct observation and field analysis of the WSH in Copargo reveal several environmental characteristics. These include various crops such as maize, cotton, yam, beans, and soybeans. Fallow agricultural areas are also present in the WSH. Water infrastructure, such as wells and boreholes, is found at various locations within the WSH. The non-cultivated areas within the WSH are well forested. Crops, particularly maize, soybeans, millet, and sorghum, are found near watercourses. Rice cultivation is observed in the low-lying areas and wetlands. The area supports various types of vegetation, including trees, shrubs, tree-shrub-herbaceous associations, and herbaceous plants.

Classification of watershed heads according to their stakes

Specific stakes related to morphological classes

The different morphological classes are characterized by varying degrees of erosion and sedimentation risks. Class M1 is characterized by significant vertical transfer risks, particularly in terms of time of concentration, and a predominance of agricultural land use. In contrast, Class M2 is distinguished by a higher density of wetlands, especially thalwegs, lower erosion risk, and less urbanization. Finally, Class M3 is distinguished by its forested context and lower horizontal transfer risks, resulting from its low time of concentration.

Land use profile and associated stakes

The distribution of land use coverage percentages across the main categories is shown in three classes in Figure 16. As shown in the figure, Class 1 is dominated by agricultural land, Class 2 by urban areas, and Class 3 by forests. The histograms show that the majority of WSH (12 WSH) have a high proportion of agricultural land, while only a few WSH exhibit a low proportion (Class 1). The opposite trend is observed for forested areas, which dominate in Class 3. Class 2, which includes only a few watershed heads, has a relatively

high proportion of urbanized land, though it rarely exceeds 20% of the total area of the watershed head (Figure 16).

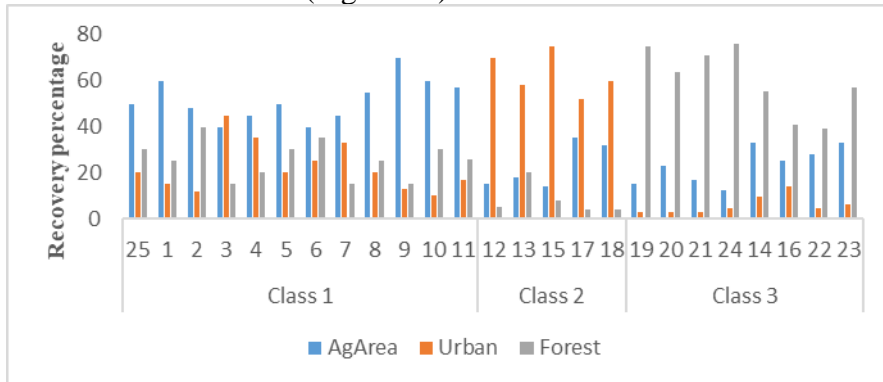


Figure 16: Distribution of the percentages of coverage of the main land uses of the watershed heads in Copargo

The PCA was performed on all WSH based on the three main types of land use. Based on the dendrogram, three classes were selected. The classification explains approximately 80% of the variance. This allowed us to categorize the WSH according to their predominant land use profile (agricultural, urban, or forestry), as shown in Table 6.

Table 6: Land use profiles obtained and associated land use percentages

	Class 1: Ag		Class 2: Ur		Class 3: Fr		Total	
Profile	Agricultural		Urban		Forestry			
Number of watershed heads	12		5		8		25	
	Mean	σ	Mean	σ	Mean	σ	Mean	σ
Agri	51,66	7,27	22,8	8,56	23,27	6,45	32,58	0,75
Urb	22,08	8,27	63	7,6	6,05	3,01	30,37	2,19
Forest	23,28	6,45	6,05	3,01	59,79	11,71	31,16	2,75

Discussion

Delineation obtained and morphometric characteristics

The municipality of Copargo is divided between two watersheds: the Ouémé and the Pendjari. In Copargo, WSH (watershed heads) account for 69.4% of the area of the Ouémé watershed and 59.4% of the Pendjari watershed. The minimum and maximum areas of WSH in the Ouémé watershed are 930 hectares and 4,440 hectares, respectively, while in the Pendjari watershed, they range from 710 hectares to 4,200 hectares. The streams associated with the WSH of the Ouémé extend over 132 km, representing 83.5% of the total length of the hydrographic network in this watershed. For the Pendjari, the streams of the WSH total 198 km, or 85.7% of the hydrographic network length. These results corroborate findings from

the literature, which indicate that the drainage network of WSH often constitutes more than two-thirds (66.66%) of the total hydrographic network (Choucard, 2011; Marchand, 2018). Various studies have reported that WSH represent between 60% and 85% of the area of watersheds (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2020; Alban, 2014), while other research estimates their coverage at around 50%, with streams accounting for 48% of the hydrographic network length (Choucard, 2011). However, in comparison to the results obtained by Dourotimy et al. (2020) in their study on the identification of watershed heads for sustainable water resource management in the Mékrou River, our findings appear significantly higher. In their study, they identified 415 watershed heads with minimum and maximum areas of 22.5 hectares and 2,421 hectares, respectively. The total area of the WSH in their study area was 2,472.064 km², representing 30% of the area of the Mékrou sub-watershed. Furthermore, the length of streams within the WSH in their study area was 1,963.59 km, accounting for 22% of the hydrographic network length. These differences underscore the importance of WSH in the hydrological context of Copargo and highlight the regional variability of watershed characteristics. The observed differences and variations can be attributed to disparities in the definition of WSH. Indeed, the conceptualization of WSH varies across regions and depends on the methods employed for their delineation. Among the criteria influencing the extent and number of streams within a WSH, slope plays a predominant role. Incorporating slope as a criterion can significantly reduce the area of a WSH. Additionally, the decision to include or exclude streams of order greater than two has a notable impact on the characteristics of WSH, thereby affecting the results of hydrological analyses. These methodological variations highlight the need for a clear and uniform definition of WSHs to ensure the comparability of studies in the field of hydrology.

In the United States, a WSH is generally defined as an area not exceeding 2 km², with a minor bed measuring less than 1 meter in width (Kavage Adams & Spotila, 2005). In Japan, WSH corresponds to upstream areas dominated by sedimentation processes (Uchida et al., 2005). In many countries, however, they are defined based on Strahler's stream order theory, as is the case in Benin, where the slope criterion may or may not be considered, depending on local context and delineation objectives. These observations highlight that the extent of WSH within a basin depends heavily on the adopted definition and identification approach. Consequently, results obtained in one country cannot be universally applied, as generalizing findings to other watersheds is inherently challenging.

The Principal Component Analysis (PCA) conducted on the morphological criteria of WSH reveals a low drainage density in WSH with high compactness and large areas. The second axis of the PCA, which distinguishes WSH based on slope and relief, indicates that WSH with steep

slopes also exhibit significant relief. Moreover, WSH with high stream density tend to have pronounced slopes, albeit to varying degrees. A notable correlation is observed between the density of low points and compactness, suggesting a strong presence of pronounced thalwegs in elongated WSH.

The Gravelius compactness index for each WSH in Copargo, which exceeds one (1), confirms their elongated shapes. This morphology directly impacts their hydrological response. After a rainfall event, water in elongated WSH takes longer to reach the outlet, resulting in a weaker hydrological response that promotes water infiltration.

Interestingly, variations in the average slopes of WSH do not seem to depend on their specific relief, which can be attributed to their elongated shapes. Based on specific relief, the WSH of Copargo can be categorized into four groups, ranging from fairly strong to strong relief.

Regarding their physical and geographical characteristics, the results obtained during the delineation align with reported values in the literature, both for the linear extent of watercourses and the corresponding areas (Alban, 2014; Clarke et al., 2008). The disparities in the area and number of WSH between the Ouémé and the Pendjari basins are attributed to differences in their characteristics, as well as geological and pedological factors. Notably, morphological classifications show that WSH of classes M1 and M2 (those with the largest areas) are predominantly found in the Ouémé basin, whereas those of class M3 (with the smallest areas and steepest slopes) are primarily located in the Pendjari basin. In both watersheds, the largest WSH are situated upstream.

Land use and associated issues

Issues related to WSH are strongly influenced by changes in land cover and land use. Land cover profiles are crucial for understanding the function and spatial organization of a watershed, as well as identifying the types of pressures that may affect it. This factor significantly impacts variations in water quality, often playing a more critical role than climate or watershed morphology (Dodds & Oakes, 2008).

The high proportion of agricultural land in the headwaters of Copargo highlights the intensity of anthropogenic pressure in the region, with notable repercussions on water and soil resources. Agriculture is a primary source of diffuse pollution, particularly affecting initial concentric flows (Kagan, 2017). From the source, an increase in nitrate concentrations can be observed. For instance, in France, 60% of the nitrate load in third-order streams originates from first-order streams (LE Bihan, 2009). The degradation of WSHs has significant consequences for the overall functioning of the watershed, with negative effects that propagate and amplify downstream.

Alterations in land cover profiles can significantly degrade the morphology of small watercourses (Roy & Sahu, 2016). WSH are particularly vulnerable to external pressures due to their low resilience. Their small size amplifies the impacts of these pressures and limits their capacity for recovery.

The reclassification of all headwaters based on their land cover profiles revealed that the majority face agricultural challenges, with agriculture occupying 60-70% of the watersheds in Copargo. Based on these characteristics, specific vulnerability classes can be identified:

- **Ecological continuity and waterbody impacts:** These vulnerabilities broadly affect the overall health and function of aquatic ecosystems.
- **Diffuse pollution:** Class M2, which includes the largest number of headwaters (8 WSH), is of particular concern. This category represents agricultural landscapes that are highly susceptible to degradation and subject to more intensive practices, characterized by a very high proportion of cropland.

Consideration of watershed heads in the future planning

The functional importance of, and the intense pressures on, the streams and wetlands within WSH highlight the need to incorporate these areas more thoroughly into future decision-making processes. The concept of WSH has gained traction primarily due to the desire for a holistic view that encompasses their entire recharge areas, as well as the anthropogenic practices and developments they host. This also reflects the need for an integrative approach that combines diverse issues such as biodiversity, diffuse pollution, ecological connectivity, and morphology, enabling more coherent management decisions.

In terms of area, WSH cover the majority of a territory. Therefore, before implementing decisions at a broader scale, it is essential to intensify awareness efforts among managers, stakeholders, policymakers, and the public. The first step in this process is to promote an understanding of the specific characteristics of these areas, their role, the current state of degradation, and the scale of land involved. This awareness is crucial for shifting perspectives on the importance of preserving their streams and wetlands, emphasizing that despite their small size, these areas are far from insignificant. By enhancing knowledge about the condition of these WSH, the extent of certain issues can be reassessed, and management priorities may shift accordingly. Beyond planning, work on WSH must also be approached operationally. The cartographic representation of characterization data can serve as a valuable tool to assist managers in adopting an integrated approach when assessing WSH.

Conclusion

This study has enabled the identification, delineation, and characterization of WSH in the municipality of Copargo based on morphological and land-use criteria. The characterized WSH correspond to the watersheds of first and second order streams according to Strahler's classification. Thus, for rivers such as the Ouémé and the Pendjari, a WSH encompasses an area defined by the watersheds of Strahler's first and second order streams. In Copargo, twenty-five (25) WSH have been delineated, including 14 within the Pendjari watershed and 11 within the Ouémé watershed. The delineated WSH cover more than 70% of the territory and generally exhibit elongated shapes with pronounced slopes. In Copargo, the streams of the WSH of the Ouémé represent 83.5% of the linear extent of the Ouémé river's hydrographic network, while those of the Pendjari account for 85.7% of the linear extent of the Pendjari river's hydrographic network. On the criterion of land use, majority of the WSH in Copargo are characterized by a high proportion of agricultural land, moderate forest cover, and a low proportion of urbanized areas. This predominance of agricultural surfaces has notable repercussions on water and soil resources in these hilly zones, where the slope increases vulnerability to diffuse pollution. The specific characteristics of WSH, particularly their connectivity to the entire hydrographic network, call for increased attention from managers for the sustainable management of these aquatic environments. The database created by this study thus serves as a valuable reference for current and future decision-makers. It is essential to continue efforts to deepen the understanding of these areas, where the condition of aquatic environments remains inadequately documented, either through the utilization of existing databases or through field diagnostics. This in-depth work will support a shift in practices toward a vision that more fully integrates the role of WSH and their current ecological status. In light of the results obtained, it would be beneficial to continue research to document the situation of WSH in Copargo more precisely, in order to better guide future actions for their protection and to easily identify priority intervention areas. It is in this perspective that after this characterization study based on the criteria of morphology and land use, a study will be carried out on the physico-chemical and bacteriological characterization of water resources in these watershed heads in the commune of Copargo.

Funding Statement: This work is carried out as part of doctoral research at the African Center of Excellence for Water and Sanitation (C2EA) financed in part by the World Bank program and the French Development Agency (AFD).

Conflicts of interest: The authors reported no conflict of interest.

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

References:

1. Agbanou, B. T. (2018). Dynamique de l'occupation du sol dans le secteur Natitingou-Boukombé (nord-ouest bénin): De l'analyse diachronique à une modélisation prospective [Thèse de Doctorat, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II; Université d'Abomey-Calavi (Bénin)]. <https://theses.hal.science/tel-02476241>
2. Agence de l'Eau Loire-Bretagne. (2018). Délimitation et caractérisation des têtes de bassin versant sur le périmètre du SAGE Sioule Phase 1: Identification et délimitation des têtes de bassin versant/Rapport. <https://urls.fr/GqNYeh>
3. Agence de l'Eau Loire-Bretagne. (2020). Les têtes des bassins versant, des zones essentielles pour la gestion des milieux aquatiques et de la biodiversité. <https://urls.fr/4Nr8hz>
4. Alban, J. (2014). Identification cartographique et hiérarchisation des têtes de bassin versant. <https://url-r.fr/TSqlz>
5. Barnaud, G. (2013). Spécificités des têtes de bassin cours d'eau et zones humides associées. <https://urls.fr/nptIlg>
6. Choucard, P. (2011). Elaboration d'une méthodologie d'inventaire cartographique et de hiérarchisation des têtes de bassin versant dans le contexte armoricain. Application au bassin versant du Couesnon | Observatoire de l'environnement en Bretagne. <https://url-r.fr/kJkkZ>
7. Cirou, J. (2017). Elaboration d'une méthode de délimitation et de caractérisation des têtes de bassin versant de la Vilaine par approche cartographique [Thèse de Doctorat, Institution d'aménagement de la Vilaine, boulevard de Bretagne, 56130 ...]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01631603/document>
8. Clarke, A., Mac Nally, R., Bond, N., & Lake, P. S. (2008). Macroinvertebrate diversity in headwater streams: A review. *Freshwater Biology*, 53(9), 1707-1721. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02041.x>
9. CREDEL. (2019, juillet 29). Protection de la « Dimma », tête de source du fleuve Gambie: Priorité et défi pour le CREDEL. *Guineematin.com*. <https://guineematin.com/2019/07/29/protection-de-la-dimma-tete-de-source-du-fleuve-gambie-priorite-et-defi-pour-le-credel/>
10. Critchely, W., & Siegert, K. (1991). A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome. www.fao.org/docrep/u3160e/u3160e07.htm

11. DGEAU. (2013). Réalisation du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux du bassin de l'Ouémé (SDAGE) ; rapport SDAGE Studi International. <https://urls.fr/98dkyb>
12. Dodds, W. K., & Oakes, R. M. (2008). Headwater influences on downstream water quality. *Environmental management*, 41, 367-377.
13. Dourotimy Rachel, A., Ahouansou, M. M., & Vissin, E. (2020). Identification des Têtes de Bassin Versant pour une Gestion Durable des Ressources en Eau de la Rivière Mékrou. 22, 248-257.
14. Freeman, M. C., Pringle, C. M., & Jackson, C. R. (2007). Hydrologic Connectivity and the Contribution of Stream Headwaters to Ecological Integrity at Regional Scales ¹. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 43(1), 5-14. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00002.x>
15. Giandotti, M. (1934). Formula per il calcolo della portata di piena. *Genio Civile*, 12, 1-6. <https://urls.fr/yIWAnk>
16. Gnonhoue, G. K. (2020). Étude des contraintes liées à l'adoption de la motorisation agricole dans la Commune de Copargo. GRIN Verlag.
17. Gouv-Bénin. (2021). Destination Bénin: Copargo, Au cœur de l'envoûtant décor de la cité des Yoas au pied du mont Tanéka. Gouvernement de la République du Bénin. <https://urls.fr/4Gyohw>
18. Gravelius, H. (1914). "Flusskunde. <https://urls.fr/swIm2t>
19. Henner, R. (2013). Les têtes de bassin versant, des espaces à considérer pour une gestion durable et intégrée de la ressource en eau. Mémoire de Master en Géographie. Université de Caen, Caen.
20. Husson, F., Josse, J., & Pages, J. (2010). Principal component methods-hierarchical clustering-partitional clustering: Why would we need to choose for visualizing data. *Applied Mathematics Department*, 17.
21. Kagan, R. (2017). Cours d'eau de tête de bassin versant en bon état: Quels enjeux et quelles actions de non dégradation? https://www.oieau.fr/eaudoc/system/files/kagan_fr.pdf
22. Kavage Adams, R., & Spotila, J. (2005). The form and function of headwater streams based on field and modeling investigations in the Southern Appalachian Mountains. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 1521-1546. <https://doi.org/10.1002/esp.1211>
23. Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering*, 10(6), 362.
24. Krecek, J., & Haigh, M. (2006). Environmental role of wetlands in headwaters (Vol. 63). Springer Science & Business Media. <https://url-r.fr/NuplH>

25. LE Bihan, M. (2009). L'enterrement des cours d'eau en tête de bassin en Moselle (57). Rapport de stage, ONEMA/Université Paul Verlaine Metz.
26. LE Bihan, M. (2017). Comment étudier les têtes de bassin versant? " Méthodes de cartographie, caractérisation et hiérarchisation des têtes de bassin versant sur un territoire.
27. Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R package for multivariate analysis. *Journal of statistical software*, 25, 1-18.
28. Maman, L. (2007). La préservation des têtes de bassin: SDAGE Loire-Bretagne et 9ème programme de l'agence de l'eau, présentation dans le cadre de la plateforme «Eau, espaces, espèces», Plan Loire Grandeur Nature, 17 p. <https://url-r.fr/aUtCT>
29. Marchand, P. (2018). Rencontres des naturalistes et gestionnaires d'espaces naturels des Pays de la Loire Atelier C. <https://urls.fr/BR4-mv>
30. Mathieu, H. B., & Bernard, A. (2020). Importance Socioéconomique de la Mise en Valeur Hydro- Agricole des Bas-Fonds au Bénin: Cas du bas-fond de Kamougou, commune de Copargo. <https://urls.fr/k9umJf>
31. McCuen, R. H. (2004). *Hydrologic Analysis and Design* (3rd Edition) (3 edition). Prentice Hall.
32. Meyer, J. L., Strayer, D. L., Wallace, J. B., Eggert, S. L., Helfman, G. S., & Leonard, N. E. (2007). The contribution of headwater streams to biodiversity in river networks 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 43(1), 86-103.
33. Meyer, J. L., & Wallace, J. B. (2001). Lost linkages and lotic ecology: Rediscovering small streams. *Ecology: achievement and challenge: the 41st Symposium of the British Ecological Society sponsored by the Ecological Society of America held at Orlando, Florida, USA, 10-13 April 2000*, 295-317.
34. Rasmussen, J. J., McKnight, U. S., Loinaz, M. C., Thomsen, N. I., Olsson, M. E., Bjerg, P. L., Binning, P. J., & Kronvang, B. (2013). A catchment scale evaluation of multiple stressor effects in headwater streams. *Science of the Total Environment*, 442, 420-431.
35. République du Bénin, A. D. (2019). Etude d'impact environnemental et social du Projet d'électrification de 100 localités rurales du Bénin. Rapport final. Banque africaine de développement ; African Development Bank Group. <https://url-r.fr/ydMzl>
36. Roy, S., & Sahu, A. S. (2016). Effect of land cover on channel form adjustment of headwater streams in a lateritic belt of West Bengal (India). *International Soil and Water Conservation Research*, 4(4), 267-277.

37. Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142.
38. Te Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill. <https://books.google.tg/books?id=cmFuQgAACAAJ>
39. Uchida, T., Asano, Y., Onda, Y., & Miyata, S. (2005). Are headwaters just the sum of hillslopes? *Hydrological Processes*, 19(16), 3251-3261. <https://doi.org/10.1002/hyp.6004>
40. UNEP/GEF/Volta/NR Benin. (2010). *Analyse Diagnostique Transfrontalière du bassin versant de la Volta: Rapport National Bénin*. UNEP/GEF/Volta/NR Benin. <https://url-r.fr/EltGg>
41. Wallace, J. B., & Eggert, S. L. (2009). Benthic invertebrate fauna, small streams.
42. Wipfli, M. S., Richardson, J. S., & Naiman, R. J. (2007). Ecological Linkages Between Headwaters and Downstream Ecosystems: Transport of Organic Matter, Invertebrates, and Wood Down Headwater Channels ¹. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 43(1), 72-85. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00007.x>
43. Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsendbazar, N.-E., Xu, P., Ramoino, F., & Arino, O. (2022). *ESA WorldCover 10 m 2021 v200 (Version v200) [Jeu de données]*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221>