

European Scientific Journal, *ESJ*

June 2024

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

June 2024 edition vol. 20, No. 18

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

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

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

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

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

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

Sincerely,

Daniel B. Hier, MD

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

Editor in Chief

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Robert Szucs,
University of Debrecen, Hungary

Dragica Vujadinovic,
University of Belgrade, Serbia

Pawel Rozga,
Technical University of Lodz, Poland

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

Rashmirekha Sahoo,
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Faranak Seyyedi,
Azad University of Arak, Iran

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

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

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Noor Alam,
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

Rashad A. Al-Jawfi,
Ibb University, Yemen

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

Hans W. Giessen,
Saarland University, Saarbrucken, Germany

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Lodz, Poland

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Anita Lidaka,
Liepaja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

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

Lydia Ferrara,
University of Naples, Italy

Byron A Brown,
Botswana Accountancy College, Botswana

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

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

Cinaria Tarik Albadri,
Trinity College Dublin University, Ireland

Mahammad A. Nurmamedov,
State Pedagogical University, Azerbaijan

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

Assem El-Shazly,
Zagazig University, Egypt

Saltanat Meiramova,
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

Rajasekhar Kali Venkata,
University of Hyderabad, India

Ruzica Loncaric,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Stefan Vladutescu,
University of Craiova, Romania

Anna Zelenkova,
Matej Bel University, Slovakia

Billy Adamsen,
University of Southern Denmark, Denmark

Marinella Lorinzi,
University of Cagliari, Italy

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

N. K. Rathee,
Delaware State University, USA

Michael Ba Banutu-Gomez,
Rowan University, USA

Adil Jamil,
Amman University, Jordan

Habib Kazzi,
Lebanese University, Lebanon

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Henry J. Grubb,
University of Dubuque, USA

Daniela Brevenikova,
University of Economics, Slovakia

Genute Gedviliene,
Vytautas Magnus University, Lithuania

Vasilika Kume,
University of Tirana, Albania

Mohammed Kerbouche,
University of Mascara, Algeria

Adriana Gherbon,
University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania

Pablo Alejandro Olavegogeochea,
National University of Comahue, Argentina

Raul Rocha Romero,
Autonomous National University of Mexico, Mexico

Driss Bouyahya,
University Moulay Ismail, Morocco

William P. Fox,
Naval Postgraduate School, USA

Rania Mohamed Hassan,
University of Montreal, Canada

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

Tilahun Achaw Messaria,
Addis Ababa University, Ethiopia

George Chiladze,
University of Georgia, Georgia

Elisa Rancati,
University of Milano-Bicocca, Italy

Alessandro Merendino,
University of Ferrara, Italy

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

Anastassios Gentzoglani,
University of Sherbrooke, Canada

Awoniyi Samuel Adebayo,
Solusi University, Zimbabwe

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

Berenyi Laszlo,
University of Miskolc, Hungary

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

Omar Arturo Dominguez Ramirez,
Hidalgo State University, Mexico

Bupinder Zutshi,
Jawaharlal Nehru University, India

Pavel Krpalek,
University of Economics in Prague, Czech Republic

Mondira Dutta,
Jawaharlal Nehru University, India

Evelio Velis,
Barry University, USA

Mahbubul Haque,
Daffodil International University, Bangladesh

Diego Enrique Baez Zarabanda,
Autonomous University of Bucaramanga, Colombia

Juan Antonio Lopez Nunez,
University of Granada, Spain

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

Ashgar Ali Ali Mohamed,
International Islamic University, Malaysia

A. Zahoor Khan,
International Islamic University Islamabad, Pakistan

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Andrzej Palinski,
AGH University of Science and Technology, Poland

Jose Carlos Teixeira,
University of British Columbia Okanagan, Canada

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

Martin Gomez-Ullate,
University of Extremadura, Spain

Nicholas Samaras,
Technological Educational Institute of Larissa, Greece

Emrah Cengiz,
Istanbul University, Turkey

Francisco Raso Sanchez,
University of Granada, Spain

Simone T. Hashiguti,
Federal University of Uberlandia, Brazil

Tayeb Boutbouqalt,
University, Abdelmalek Essaadi, Morocco

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

Ismail Ipek,
Istanbul Aydin University, Turkey

Olena Kovalchuk,
National Technical University of Ukraine, Ukraine

Oscar Garcia Gaitero,
University of La Rioja, Spain

Alfonso Conde,
University of Granada, Spain

Jose Antonio Pineda-Alfonso,
University of Sevilla, Spain

Jingshun Zhang,
Florida Gulf Coast University, USA

Rodrigue V. Cao Diogo,
University of Parakou, Benin

Olena Ivanova,
Kharkiv National University, Ukraine

Marco Mele,
Unint University, Italy

Okyay Ucan,
Omer Halisdemir University, Turkey

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

Matti Raudjarv,
University of Tartu, Estonia

Cosimo Magazzino,
Roma Tre University, Italy

Susana Sousa Machado,
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

Jelena Zascerinska,
University of Latvia, Latvia

Umman Tugba Simsek Gursoy,
Istanbul University, Turkey

Zoltan Veres,
University of Pannonia, Hungary

Vera Komarova,
Daugavpils University, Latvia

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

Stephane Zingue,
University of Maroua, Cameroon

Pierluigi Passaro,
University of Bari Aldo Moro, Italy

Georges Kpazai,
Laurentian University, Canada

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

Natalia Sizochenko,
Dartmouth College, USA

Michele Russo,
University of Catanzaro, Italy

Nikolett Deutsch,
Corvinus University of Budapest, Hungary

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

Brian Sloboda,
University of Maryland, USA

Yassen Al Foteih,
Canadian University Dubai, UAE

Marisa Cecilia Tumino,
Adventista del Plata University, Argentina

Luca Scaini,
Al Akhawayn University, Morocco

Aelita Skarbaliene,
Klaipeda University, Lithuania

Oxana Bayer,
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

Onyeka Uche Ofili,
International School of Management, France

Aurela Saliaj,
University of Vlora, Albania

Maria Garbelli,
Milano Bicocca University, Italy

Josephus van der Maesen,
Wageningen University, Netherlands

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

Francisco Gonzalez Garcia,
University of Granada, Spain

Mahgoub El-Tigani Mahmoud,
Tennessee State University, USA

Daniel Federico Morla,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Valeria Autran,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Muhammad Hasmi Abu Hassan Asaari,
Universiti Sains, Malaysia

Angelo Viglianisi Ferraro,
Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy

Roberto Di Maria,
University of Palermo, Italy

Delia Magherescu,
State University of Moldova, Moldova

Paul Waithaka Mahinge,
Kenyatta University, Kenya

Aicha El Alaoui,
Sultan My Slimane University, Morocco

Marija Brajčić,
University of Split, Croatia

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

Belen Martinez-Ferrer,
Univeristy Pablo Olavide, Spain

Rachid Zammar,
University Mohammed 5, Morocco

Fatma Koc,
Gazi University, Turkey

Calina Nicoleta,
University of Craiova, Romania

Shadaan Abid,
UT Southwestern Medical Center, USA

Sadik Madani Alaoui,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Patrizia Gazzola,
University of Insubria, Italy

Krisztina Szegedi,
University of Miskolc, Hungary

Liliana Esther Mayoral,
National University of Cuyo, Argentina

Amarjit Singh,
Kurukshetra University, India

Oscar Casanova Lopez,
University of Zaragoza, Spain

Emina Jerkovic,
University of Josip Juraj Strossmayer, Croatia

Carlos M. Azcoitia,
National Louis University, USA

Rokia Sanogo,
University USTTB, Mali

Bertrand Lemennicier,
University of Paris Sorbonne, France

Lahcen Benaabidate,
University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco

Janaka Jayawickrama,
University of York, United Kingdom

Kiluba L. Nkulu,
University of Kentucky, USA

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

George C. Katsadoros,
University of the Aegean, Greece

Elena Gavrilova,
Plekhanov University of Economics, Russia

Eyal Lewin,
Ariel University, Israel

Szczepan Figiel,
University of Warmia, Poland

Don Martin,
Youngstown State University, USA

John B. Strait,
Sam Houston State University, USA

Nirmal Kumar Betchoo,
University of Mascareignes, Mauritius

Camilla Buzzacchi,
University Milano Bicocca, Italy

EL Kandoussi Mohamed,
Moulay Ismai University, Morocco

Susana Borrás Pentinat,
Rovira i Virgili University, Spain

Jelena Kasap,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Massimo Mariani,
Libera 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 Katarska,
National Military University, Bulgaria

Carmen Maria Zavala Arnal,
University of Zaragoza, Spain

Francisco Gavi Reyes,
Postgraduate College, Mexico

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

Patricia Randrianavony,
University of Antananarivo, Madagascar

Roque V. Mendez,
Texas State University, USA

Kesbi Abdelaziz,
University Hassan II Mohammedia, Morocco

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

Ilknur Bayram,
Ankara University, Turkey

Elenica Pjero,
University Ismail Qemali, Albania

Gokhan Ozer,
Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Turkey

Veronica Flores Sanchez,
Technological University of Veracruz, Mexico

Camille Habib,
Lebanese University, Lebanon

Larisa Topka,
Irkutsk State University, Russia

Paul M. Lipowski,
Creighton University, USA

Marie Line Karam,
Lebanese University, Lebanon

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

Mohamed Berradi,
Ibn Tofail University, Morocco

Visnja Lachner,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Sangne Yao Charles,
University Jean Lorougnon Guede, Ivory Coast

Omar Boubker,
University Ibn Zohr, Morocco

Kouame Atta,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Patience Mpanzu,
University of Kinshasa, Congo

Devang Upadhyay,
University of North Carolina at Pembroke, USA

Nyamador Wolali Seth,
University of Lome, Togo

Akmel Meless Simeon,
Ouattara University, Ivory Coast

Mohamed Sadiki,
IBN Tofail University, Morocco

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

Gamal Elgezeery,
Suez University, Egypt

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

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

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

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

Alla Manga,
University Cheikh Anta Diop, Senegal

Lalla Aicha Lrhorfi,
University Ibn Tofail, Morocco

Ruth Adunola Aderanti,
Babcock University, Nigeria

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

Aka Koffi Sosthene,
Research Center for Oceanology, Ivory Coast

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

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

Sophia Barinova,
University of Haifa, Israel

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

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

Aderewa Amontcha,
Université d’Abomey-Calavi, Benin

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

Rene Mesias Villacres Borja,
Universidad Estatal De Bolívar, Ecuador

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

Qamil Dika,
Tirana Medical University, Albania

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

Hariti Hakim,
University Alger 3, Algeria

Emel Ceyhun Sabir,
University of Cukurova, Turkey

Salomon Barrezueta Unda,
Universidad Tecnica de Machala, Ecuador

Belkis Zervent Unal,
Cukurova University, Turkey

Elena Krupa,
Kazakh Agency of Applied Ecology, Kazakhstan

Carlos Angel Mendez Peon,
Universidad de Sonora, Mexico

Antonio Solis Lima,
Apizaco Institute Technological, Mexico

Roxana Matefi,
Transilvania University of Brasov, Romania

Bouharati Saddek,
UFAS Setif1 University, Algeria

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

Serigne Modou Sarr,
Universite Alioune DIOP de Bambey, Senegal

Nina Stankous,
National University, USA

Lovergine Saverio,
Tor Vergata University of Rome, Italy

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

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

Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

Stefan Cristian Gherghina,
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

Aristide Yemmafouo,
University of Dschang, Cameroon

Gabriel Anibal Monzón,
University of Moron, Argentina

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

Arburim Iseni,
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

Raoufou Pierre Radji,
University of Lome, Togo

Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,
Universidad de Almeria, Spain

Satoru Suzuki,
Panasonic Corporation, Japan

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

Russell Kabir,
Anglia Ruskin University, UK

Nasreen Khan,
SZABIST, Dubai

Luisa Morales Maure,
University of Panama, Panama

Lipeng Xin,
Xi'an Jiaotong University, China

Harja Maria,
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

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

Bertin Desire Soh Fotsing,
University of Dschang, Cameroon

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

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

Abdelfettah Maouni,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Alina Stela Resceanu,
University of Craiova, Romania

Alilouch Redouan,
Chouaib Doukkali University, Morocco

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

Sufi Amin,
International Islamic University, Islambad Pakistan

Sanja Milosevic Govedarovic,
University of Belgrade, Serbia

Elham Mohammadi,
Curtin University, Australia

Andrianarizaka Marc Tiana,
University of Antananarivo, Madagascar

Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,
Udayana University, Indonesia

Yue Cao,
Southeast University, China

Audrey Tolouian,
University of Texas, USA

Asli Cazorla Milla,
Centro de Estudios Universitarios Madrid, Spain

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

Tabou Talahatou,
University of Abomey-Calavi, Benin

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

Hamidreza Izadi,
Chabahar Maritime University, Iran

Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,
Ain Shams University, Egypt

Rachid Ismaili,
Hassan 1 University, Morocco

Tamar Ghutidze,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Emine Koca,
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

David Perez Jorge,
University of La Laguna, Spain

Irma Guga,
European University of Tirana, Albania

Jesus Gerardo Martínez del Castillo,
University of Almeria, Spain

Mohammed Mouradi,
Sultan Moulay Slimane University, Morocco

Marco Tulio Ceron Lopez,
Institute of University Studies, Mexico

Mangambu Mokoso Jean De Dieu,
University of Bukavu, Congo

Hadi Sutopo,
Topazart, Indonesia

Priyantha W. Mudalige,
University of Kelaniya, Sri Lanka

Emmanouil N. Choustoulakis,
University of Peloponnese, Greece

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

Pinnawala Sangasumana,
University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

Abdelali Kaaouachi,
Mohammed I University, Morocco

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

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

Amaya Epelde Larranaga,
University of Granada, Spain

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

Saly Sambou,
Cheikh Anta Diop University, Senegal

Daniela Di Berardino,
University of Chieti-Pescara, Italy

Dorjana Klosi,
University of Vlore “Ismail Qemali, Albania

Abu Hamja,
Aalborg University, Denmark

Stankovska Gordana,
University of Tetova, Republic of Macedonia

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

Maria Leticia Bautista Diaz,
National Autonomous University, Mexico

Bruno Augusto Sampaio Fuga,
North Parana University, Brazil

Anouar Alami,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Vincenzo Riso,
University of Ferrara, Italy

Janhavi Nagwekar,
St. Michael’s Hospital, Canada

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

Xi Chen,
University of Kentucky, USA

Fateh Mebarek-Oudina,
Skikda University, Algeria

Nadia Mansour,
University of Sousse, Tunisia

Jestoni Dulva Maniago,
Majmaah University, Saudi Arabia

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

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

Enriko Ceko,
Wisdom University, Albania

Laura Fischer,
National Autonomous University of Mexico, Mexico

Mauro Berumen,
Caribbean University, Mexico

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

Maria Carlota,
Autonomous University of Queretaro, Mexico

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

Bhupendra Karki,
University of Louisville, Louisville, USA

Evens Emmanuel,
University of Quisqueya, Haiti

Iresha Madhavi Lakshman,
University of Colombo, Sri Lanka

Francesco Scotognella,
Polytechnic University of Milan, Italy

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

Rawaa Qasha,
University of Mosul, Iraq

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

Hani Nasser Abdelhamid,
Assiut University, Egypt

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

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

Ilenia Farina,
University of Naples "Parthenope, Italy

Luisa Zanolla,
Azienda Ospedaliera Universitaria Verona, Italy

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

Adriana Burlea-Schiopoiu,
University of Craiova, Romania

Alejandro Palafox-Munoz,
University of Quintana Roo, Mexico

Fernando Espinoza Lopez,
Hofstra University, USA

Ammar B. Altemimi,
University of Basrah, Iraq

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

Davide Calandra,
University of Turin, Italy

Nicola Varrone,
University of Campania Luigi Vanvitelli, Italy

Luis Angel Medina Juarez,
University of Sonora, Mexico

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

Sameer Algburi,
Al-Kitab University, Iraq

Braione Pietro,
University of Milano-Bicocca, Italy

Mounia Bendari,
Mohammed VI University, Morocco

Stamatios Papadakis,
University of Crete, Greece

Aleksey Khlopytskyi,
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

Sung-Kun Kim,
Northeastern State University, USA

Nemanja Berber,
University of Novi Sad, Serbia

Krejsa Martin,
Technical University of Ostrava, Czech Republic

Magdalena Vaverkova,
Mendel University in Brno, Czech Republic

Jeewaka Kumara,
University of Peradeniya, Sri Lanka

Antonella Giacosa,
University of Torino, Italy

Paola Clara Leotta,
University of Catania, Italy

Francesco G. Patania,
University of Catania, Italy

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

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

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

Usama Konbr,
Tanta University, Egypt

Branislav Radeljic,
Necmettin Erbakan University, Turkey

Anita Mandaric Vukusic,
University of Split, Croatia

Barbara Cappuzzo,
University of Palermo, Italy

Roman Jimenez Vera,
Juarez Autonomous University of Tabasco, Mexico

Lucia P. Romero Mariscal,
University of Almeria, Spain

Pedro Antonio Martin-Cervantes,
University of Almeria, Spain

Hasan Abd Ali Khudhair,
Southern Technical University, Iraq

Qanqom Amira,
Ibn Zohr University, Morocco

Farid Samir Benavides Vanegas,
Catholic University of Colombia, Colombia

Nedret Kuran Burcoglu,
Emeritus of Bogazici University, Turkey

Julio Costa Pinto,
University of Santiago de Compostela, Spain

Satish Kumar,
Dire Dawa University, Ethiopia

Favio Farinella,
National University of Mar del Plata, Argentina

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

Salwa Alinat,
Open University, Israel

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

Rasool Bukhsh Mirjat,
Senior Civil Judge, Islamabad, Pakistan

Samantha Goncalves Mancini Ramos,
Londrina State University, Brazil

Mykola Nesprava,
Dnoproterovsk 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 Esoh Jean Eudes Yves,
Universite Nangui Abrogoua, Cote d'Ivoire

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

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

Oumar Bah,
Sup' Management, Mali

Angelica Selene Sterling Zozoaga,
Universidad del Caribe, Mexico

Josephine W. Gitome,
Kenyatta University, Kenya

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

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

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

Desara Dushi,
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

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

Aziz Dieng,
University of Portsmouth, UK

Ruth Magdalena Gallegos Torres,
Universidad Autonoma de Queretaro, Mexico

Atanga Essama Michel Barnabé,
Université de Bertoua, Cameroun

Alami Hasnaa,
Universite Chouaid Doukkali, Maroc

Emmanuel Acquah-Sam,

Wisconsin International University College, Ghana

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

Hicham Chairi,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Noureddine El Aouad,
University Abdelmalek Essaady, Morocco

Samir Diouny,
Hassan II University, Casablanca, Morocco

Gibet Tani Hicham,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

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

Abderrahim Ayad,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Sara Teidj,
Moulay Ismail University Meknes, Morocco

Gbadamassi Fousséni,
Université de Parakou, Benin

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

Haounati Redouane,
Ibn Zohr Agadir, Morocco

Hicham Es-soufi,
Moulay Ismail University, Morocco

Imad Ait Lhassan,
Abdelmalek Essaâdi University, Morocco

Givi Makalatia,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Adil Brouri,
Moulay Ismail University, Morocco

Noureddine El Baraka,
Ibn Zohr University, Morocco

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Oussama Mahboub,
Queens University, Kingston, Canada

Markela Muca,
University of Tirana, Albania

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

Kledi Xhaxhiu,
University of Tirana, Albania

Saleem Iqbal,
University of Balochistan Quetta, Pakistan

Dritan Topi,
University of Tirana, Albania

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

Adil Youssef Sayeh,
Chouaib Doukkali University, Morocco

Zineb Tribak,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Ngwengeh Brendaline Beloke,
University of Biea, Cameroon

El Agy Fatima,
Sidi Mohamed Ben Abdelah University, Morocco

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

Nato Durglishvili,
University of Georgia, Georgia

Abdelkrim Salim,
Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

Omar Kchit,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Isaac Ogundu,
Ignatius Ajuru University of Education, Nigeria

Giuseppe Lanza,
University of Catania, Italy

Monssif Najim,
Ibn Zohr University, Morocco

Luan Bekteshi,
“Barleti” University, Albania

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

Oudani Hassan,
University Ibn Zohr Agadir, Morocco

Merita Rumano,
University of Tirana, Albania

Mohamed Chiban,
Ibn Zohr University, Morocco

Tal Pavel,
The Institute for Cyber Policy Studies, Israel

Jawad Laadraoui,
University Cadi Ayyad of Marrakech, Morocco

El Mourabit Youssef,
Ibn Zohr University, Morocco

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

Krzysztof Nesterowicz,
Ludovika-University of Public Service, Hungary

Laamrani El Idrissi Safae,
Ibn Tofail University, Morocco

Suphi Ural,
Cukurova University, Turkey

Emrah Eray Akca,
Istanbul Aydin University, Turkey

Selcuk Poyraz,
Adiyaman University, Turkey

Ocak Gurbuz,
University of Afyon Kocatepe, Turkey

Umut Sener,
Aksaray University, Turkey

Mateen Abbas,
Capital University of Science and Technology, Pakistan

Muhammed Bilgehan Aytac,
Aksaray University, Turkey

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

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

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

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

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

Atif Ali,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Shahzda Adnan,
Pakistan Meteorological Department, Pakistan

Waqar Ahmed,
Johns Hopkins University, USA

Faizan ur Rehman Qaiser,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Choua Ouchemi,
Université de N'Djaména, Tchad

Syed Tallataf Hussain Shah,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Saeed Ahmed,
University of Management and Technology, Pakistan

Hafiz Muhammad Arshad,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

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

Mujeeb Ur Rehman,
York St John University, UK

Noshaba Zulfiqar,
University of Wah, Pakistan

Muhammad Imran Shah,
Government College University Faisalabad, Pakistan

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

Titilayo Olotu,
Kent State University, Ohio, USA

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

Sajjad Ali,
Karakoram International University, Pakistan

Hiqmet Kamberaj,
International Balkan University, Macedonia

Sanna Ullah,
University of Central Punjab Lahore, Pakistan

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

Heba Mostafa Mohamed,
Beni Suef University, Egypt

Abdul Basit,
Zhejiang University, China

Karim Iddouch,
International University of Casablanca, Morocco

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

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

Dolantina Hyka,
Mediterranean University of Albania

Yaya Dosso,
Alassane Ouattara University, Ivory Coast

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

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

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

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

Rafael Antonio Estevez Ramos,
Universidad Autónoma del Estado de México

Mohamed El Mehdi Saidi,
Cadi Ayyad University, Morocco

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

Murry Siyasiya,
Blantyre International University, Malawi

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

Emmanuel Gitonga Gicharu,
Mount Kenya University, Kenya

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

Foldi Kata,
University of Debrecen, Hungary

Elda Xhumari,
University of Tirana, Albania

Daniel Paredes Zempual,
Universidad Estatal de Sonora, Mexico

Jean Francois Regis Sindayihebura,
University of Burundi, Burundi

Luis Enrique Acosta Gonzzlez,
University of Holguin, Cuba

Table of Contents:

Conductas Sexuales de Riesgo en Jóvenes Universitarios.....1

Mayra Susana García-Duarte

Sarket Gizeh Juárez Nilo

Adriana Martínez Díaz

René Rico Sánchez

María Carlota García Gutiérrez

Ruth Magdalena Gallegos-Torres

Correlation of OPG/RANKL in patients with thalassemia major at the center of Haemoglobinopathy Lushnje, Albania.....13

Jorida Zoga

Majlinda Kallco

Etleva Refatllari

Evaluation of Free Cooling Technique at the Telecom Cell Site in Ghana.....23

Kojo Boakye

Shiphrah Ohene Adu

Solomon Nunoo

Kwaku Boakye

Design Proposal of a Smoker-Dryer for Chicken.....49

Alphonse Sawalda Guidzavai

Ngasop Ndjiya

Jean Hilaire Tchami

Nicolas Njintang

**Seasonal variation in contamination of fish flesh of smoked and dried
Chrysichthys nigrodigitatus (Lacépède, 1803) with polycyclic aromatic
hydrocarbons in the locality of Guessabo (Ivory Coast).....68**

Aya Pauline Miessan

Yolande Amino Aké Assi

Offianan André Touré

Gnamien Willy Taunin Gooré Bi

**Changement climatique : recherche des signaux au Tchad à travers
l'étude des villes de Bol, Fianga, Moundou et N'Djamena.....82**

Semingar Ngaryamngaye

Franklin Bouba Djourdebbe

Mbaiguedem Miambaye

**Formes topographiques des arthroses des membres en consultation
rhumatologique à Abidjan.....112**

Kollo Nzima Brice

Bamba Aboubakar Aboubakar

Dangui Eric

Diomandé Mohamed

Eti Edmond

Koffi Joseph Enoch

Kouakou Ehaulier Christian Louis

Ngon Nzima Hilary Brenda

Ada Kanbaye Medom Hadia

**Importance socioéconomique de l'exploitation des ressources naturelles
de l'Aire de Patrimoine Communautaire (APAC) de Mangagoulack,
Sénégal.....121**

Amadou Faye Diedhiou

Ngor Ndour

Maurice Dasylya

Antoine Sambou

**Étude des propriétés physico-chimiques et microbiologiques d'un
biofertilisant élaboré à partir d'un mélange de résidus de récolte, d'un
consortium bactérien et de roche phosphatée.....148**

Boueunan Wongbe Beralex

Bongoua-Devisme Affi Jeanne

Bahan Lemonou Franck Michaël

Aptitudes des principaux porte-greffes de *Mangifera indica* L. à supporter les variétés primeurs comme Kent, Papaye et Ateudj en Casamance au Sénégal.....178

Omar Boun Atab Diedhiou

Ousmane Ndiaye

Ngor Ndour

Étude ethnomédicinale des plantes utilisées dans le traitement de quelques maladies du foie dans la sous-préfecture de Bengassou (Centre-Est de la Côte d’Ivoire).....195

Akpo Siallou Amoin Prisca

Kouakou Donthy Kouakoubah Richard

N’guessan Bla Ghislaine

Koné Mamidou Witabouna

Tra Bi Fézan Honora

Aspects épidémiologique et itinéraire thérapeutique de la Comorbidité Hypertension artérielle et le Diabète dans le Département du Littoral au Bénin en 2023.....216

Kakpo Zannou Sèmèvo Rodrigue

Damien Barikissou Georgia

Codjo Léopold

Tokpanoude Coovi Nonwanou Ignace

Djossou Sègnon E. Elvire

Zinsalo S. Lorens

Saizonou Fortuné

Ponti N’tcha Jules

Aguemon Badirou

Evaluation de la qualité de l'eau du lac Azili et risques sanitaires associés à sa consommation dans le village lacustre d'Agonvè (commune de Zagnanado, Sud Bénin).....233

Flavien Edia Dovonou

Antoinette Adjagodo

Luc Enangnon Gnonlonsa

Wilfrid Noudéhouéno Atchichoe

Dansou Sourou Barthélémy

Utilisation régulière du préservatif par les couples sérodiscordants au VIH au Bénin.....256

Djossou Sègnon Eurydice Elvire

Tokpanoude Coovi Nonwanou Ignace

Georgia Damien Barikissou

Ahanhanzo-Glele Rhonel

Agossoukpe Benoît Sedegnon

Chabi Boum Orou Bodeidjo Méré

Agbokpela Blaise Gildas

Etchiha Koudénoukpo Fulgence Pédis

Gnonlonfoun Raphael

Ponou Amalia Nicole

Aguemon Badirou

A Review of Water Pollution in Israel and Palestine.....285

Miruna-Amalia Nica

Mihnea-Stefan Costache

Maria-Ioana Marin

Valentina-Mariana Manoiu

**Dynamique spatio-temporelle des écosystèmes de la Réserve de Biosphère
de Gadabédji dans la zone Nord Sahélienne au centre du Niger.....310**

Abdoulaye Abdou Siradji

Inoussa Maman Maarouhi

Mansour Mahamane

Assoumane Guero Ousseini

Hamani Noma Abdoul Latif

Douma Soumana

Bakasso Yacoubou

Mahamane Ali

Conductas Sexuales de Riesgo en Jóvenes Universitarios

Mayra Susana García-Duarte, Pasante de la Licenciatura en Enfermería

Sarket Gizel Juárez Nilo, Maestra en Enfermería

Adriana Martínez Díaz, Maestra en Ciencias de Tecnología de los Alimentos

René Rico Sánchez, Maestro en Ciencias de Enfermería

María Carlota García Gutiérrez, Doctora en Ciencias

Ruth Magdalena Gallegos-Torres, Doctora en Ciencias de la Salud

Universidad Autónoma de Querétaro, México

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p1](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p1)

Submitted: 08 January 2024

Accepted: 16 April 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

García-Duarte, M. S., Juárez Nilo, S. G., Martínez Díaz, A., Rico Sánchez, R., García Gutiérrez, M. C., & Gallegos-Torres, R. M. (2024). *Conductas Sexuales de Riesgo en Jóvenes Universitarios*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p1>

Resumen

Introducción: Las conductas sexuales de riesgo se han vuelto cotidianas sobre todo en los jóvenes; esto genera un problema de salud pública en el que se compromete su salud sexual. **Objetivo:** Describir la prevalencia de las conductas sexuales de riesgo en jóvenes universitarios según se curse o no, alguna carrera del área de la salud dentro de Querétaro. **Métodos:** Estudio cuantitativo, transversal y descriptivo, muestreo por conveniencia de 85 jóvenes universitarios, de las carreras de Enfermería e Ingeniería Civil. Se aplicó el cuestionario de Conducta Sexual Segura (CSS) mediante un Formulario de Google. La duración del estudio fue de aproximadamente 14 meses a partir de mayo del 2021. Se utilizaron medidas de tendencia central y el estudio se elaboró con base en la Ley General de Salud. **Resultados:** De manera global, el 44.7% de los estudiantes a veces tienen relaciones sexuales sin usar condón y el 5.9% siempre. Se identificó que más de la mitad de los alumnos (50.6%) toma bebidas alcohólicas antes de una relación sexual. 45.7 % de los alumnos de ingeniería tiene sexo oral sin uso del preservativo, en contraste con 22% de enfermería y tienen relaciones sexuales sin condón, algunas veces, el 48.5 % los alumnos de ingeniería y 42 % de enfermería. **Conclusión:** Las conductas sexuales de riesgo son un problema aún presente

en la actualidad. Se identificó una alta prevalencia en ambas carreras, siendo las de mayor importancia la falta de uso de barreras protectoras y el consumo de sustancias previo a la relación sexual.

Palabras clave: Conductas sexuales, jóvenes, salud sexual

Sexual Risk Behaviors in University Students

Mayra Susana García-Duarte, Pasante de la Licenciatura en Enfermería

Sarket Gizeh Juárez Nilo, Maestra en Enfermería

Adriana Martínez Díaz, Maestra en Ciencias de Tecnología de los Alimentos

René Rico Sánchez, Maestro en Ciencias de Enfermería

María Carlota García Gutiérrez, Doctora en Ciencias

Ruth Magdalena Gallegos-Torres, Doctora en Ciencias de la Salud

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Abstract

Introduction: Risky sexual behaviors have become a daily occurrence especially in young people; this generates a public health problem in which their sexual health is compromised. **Objective:** To describe the prevalence of sexual risk behaviors in young university students according to their health careers or not, in Queretaro. **Methods:** Qualitative, cross-sectional and descriptive study, convenience sampling of 85 university students, studying nursing and civil engineering. The Safe Sexual Behavior (CSS) questionnaire was applied using a Google Form. The duration of the study was approximately 14 months from May 2021. Central tendency measures were used and the study was developed based on the General Health Law. **Results:** 44.7% of the students sometimes have sex without using a condom and 5.9% always. It was identified that more than half of the students (50.6%) drink alcoholic beverages before sexual intercourse. 44.7 % of the engineering students have oral sex without condom, and 22 % nursing students. Have sex without condom, sometimes, 48.5 % engineering students and 42 % nursing students. **Conclusion:** Risky sexual behaviors are a problem still present today. A high prevalence was identified in both careers, the most important being the lack of use of protective barriers and the consumption of substances prior to sexual intercourse.

Keywords: Sexual behaviors, young people, sexual health

Introducción

El uso de métodos anticonceptivos evita el contagio de infecciones de transmisión sexual (ITS) y embarazos no deseados (Gutiérrez de Alarcón et al., 2019). Sin embargo, las conductas sexuales de riesgo se han vuelto cotidianas sobre todo en los jóvenes. Estas conductas se definen como todo lo que implique una exposición al daño a la salud de la persona (Uribe Rodríguez et al., 2016).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada día, más de un millón de personas contraen una ITS y se estima que anualmente unos 376 millones de personas adquieren ya sea clamidiasis, gonorrea, sífilis o tricomoniasis (Organización Mundial de la Salud, 2021). Sin importar el actual fácil acceso a la información a través de los medios, continúa la prevalencia de conductas de riesgo (Leon-Larios & Gómez-Baya, 2018). Esto genera un problema en el que se compromete la salud sexual de los jóvenes, especialmente los adolescentes, considerados la población de riesgo, ya que es común encontrar que inicien su vida sexual a temprana edad, en donde generalmente no se realizan las acciones de prevención correspondientes (Alfonso Figueroa & Figueroa Pérez, 2017).

Es frecuente que los universitarios realicen el acto sexual sin utilizar condón y que mantengan relaciones de manera casual o con múltiples parejas, por lo que el autocontrol es fundamental para disminuir sus conductas no responsables (Contreras-Landgrave et al., 2020). Los jóvenes regularmente recurren a la utilización de la pastilla del día siguiente en caso de la presencia de algún riesgo de embarazo, sin embargo, en ocasiones es utilizada como método anticonceptivo regular sin tomar en cuenta las consecuencias que esto conlleva (Contreras-Landgrave et al., 2020).

Debido a que las conductas sexuales de riesgo representan un problema de salud pública y tienen una alta prevalencia en jóvenes universitarios, es que se han realizado varios estudios relacionados. De acuerdo a una investigación, uno de los factores sociales que influye en las conductas sexuales de los jóvenes es el ámbito familiar, lo cual refiere que no solo se necesita de una formación académica en tema de salud sexual (Contreras-Landgrave et al., 2020). Una de las principales variables que se ha estudiado como factor que genera una conducta de riesgo es el consumo del alcohol, ya que incrementa las actitudes irresponsables en los jóvenes universitarios y es considerada una de las sustancias más consumidas (García et al., 2017).

La consecuencia más frecuente de las conductas sexuales de riesgo es un embarazo no planificado. Al respecto, un estudio concluyó que uno de los factores que influye en la prevalencia de embarazos no deseados en universitarios es el estado civil, debido a que las mujeres solteras son más propensas a éstos. La actitud de rechazo frente a esta situación genera la necesidad de interrupción del embarazo mediante un aborto, presentando una

amplia prevalencia en la población universitaria (Sánchez Arevalo et al., 2019).

Otra investigación realizada en Barcelona encontró que se atribuyen actitudes de riesgo a universitarios en carreras de educación social, en los cuales sería esperable una conducta responsable que concuerde con su perfil profesional (García et al., 2017). Se considera que por más que los estudiantes tengan información en salud, esto no garantiza la realización de conductas preventivas frente a la salud sexual (Uribe Rodríguez et al., 2016).

Con base en lo anteriormente planteado es que se buscó realizar una comparativa de las conductas sexuales de riesgo en universitarios de una universidad pública de la ciudad de Querétaro, procedentes de distintas disciplinas.

Materiales y métodos

El presente estudio se trata de una investigación con un enfoque metodológico cuantitativo; transversal y descriptivo (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018). Se llevó a cabo dentro de una universidad pública en Querétaro durante el periodo de mayo del 2021 a julio del 2022. El universo se conformó por 507 universitarios de la Licenciatura en Enfermería y 494 de Ingeniería Civil; dicha información se obtuvo a partir de los registros estadísticos de la página web de la universidad. Debido a las limitaciones en el acceso a los grupos, se estableció un tamaño de muestra mínimo de 30 sujetos por grupo, con base a lo establecido para estudios descriptivos (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018). Se utilizó un tipo de muestreo no probabilístico, con una estrategia por conveniencia, en donde se excluyeron alumnos dentro del servicio social y a los que no tenían vida sexual activa.

La recolección de los datos se obtuvo mediante la aplicación del Cuestionario de Conducta Sexual Segura (CCSS), el cual fue publicado en un estudio donde se realizó una adaptación cultural y evaluación psicométrica en jóvenes universitarios chilenos (Hernández Cortina et al., 2020). Este cuestionario es una adaptación del instrumento *Safe Sex Behavior Questionnaire* (SSBQ) aplicado en estudiantes universitarios de Estados Unidos en el año 2011. Consta de 23 preguntas estructuradas en 7 factores: uso del condón (4 preguntas), asertividad (2 preguntas), comportamiento riesgoso (3 preguntas), consumo de sustancias (3 preguntas), evitar el sexo anal (2 pregunta), evitar fluidos corporales (5 preguntas) y comunicación en la pareja (4 preguntas). Utiliza una escala de respuesta tipo Likert, en donde el valor máximo es de 92 puntos, sinónimo de conductas sexuales seguras, mientras que el valor mínimo es de 23 puntos que se traduce en conductas sexuales de alto riesgo.

Los cuestionarios se aplicaron mediante un Formulario de Google ya que el acceso a los alumnos aún se encontraba limitado por la situación sanitaria y las clases estaban en línea. Se utilizaron medidas de tendencia central para su análisis, debido a que el tratamiento de los datos fue puramente descriptivo; en este sentido, se manejaron promedios, y DE. El estudio fue aprobado por el Sub-Comité de Investigación de la Licenciatura en Enfermería de la Universidad Autónoma de Querétaro y se elaboró con base en la Ley General de Salud, el Código de Nuremberg y la Declaración de Helsinki de la AMM- Principios Éticos para las Investigaciones Médicas en Seres Humanos.

Resultados

Se procesaron los datos de una muestra de 85 alumnos, de ambas carreras, de los cuales predomina el género femenino con un porcentaje del 68.8% (n=58). El estado civil evidencia que en un importante 89.4% (n=76), los encuestados se encuentran solteros. El estatus económico reflejó que un 80% se considera de clase media. Del total de la muestra, se identificó un mayor porcentaje de estudiantes de la Licenciatura en Enfermería con 58.8% (n=50), y menor de Ingeniería Civil con 41.2% (n=35). Relacionado al consumo de sustancias, el alcohol es el más común entre los estudiantes, con un 82.8% de alumnos de Ingeniería y un 74% de Enfermería.

De acuerdo a los resultados del cuestionario de Conducta Sexual Segura (CSS), el 34.1% (n=29) del total de los alumnos encuestados sólo a veces preguntan sobre las historias sexuales de sus potenciales parejas sexuales.

El 37.6% (n=32) de los estudiantes a veces evitan el contacto directo con el semen o las secreciones vaginales de su pareja sexual (tabla 1).

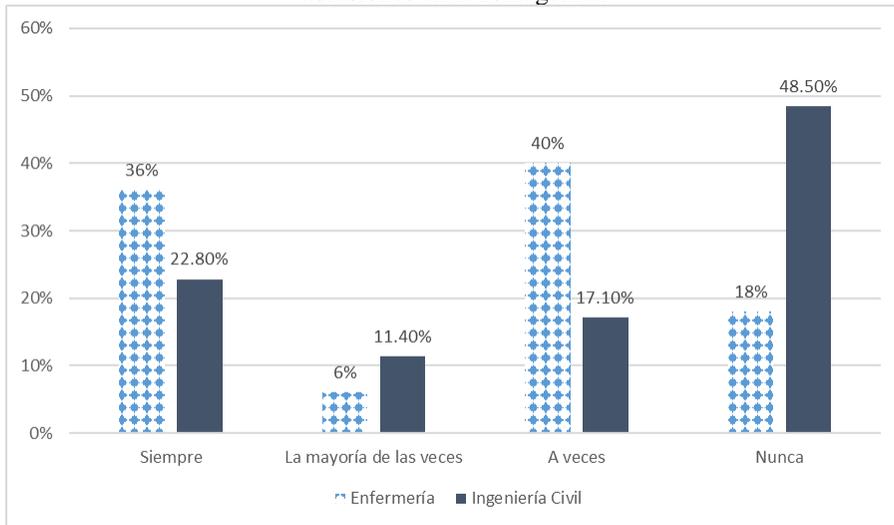
Tabla 1. Señalamiento de evitar el contacto directo con el semen o las secreciones vaginales de la pareja sexual

Respuestas	Frecuencia	Porcentaje
A veces	32	37.6
La mayoría de las veces	20	23.5
Nunca	23	27.1
Siempre	10	11.8
Total	85	100.0

Fuente: Cuestionario de Conducta Sexual Segura (CCSS)

Del total de la muestra, el 30.6% (n=26) nunca examinan a su pareja sexual para detectar posibles heridas, cortes o abrasiones en la zona genital (gráfica 1).

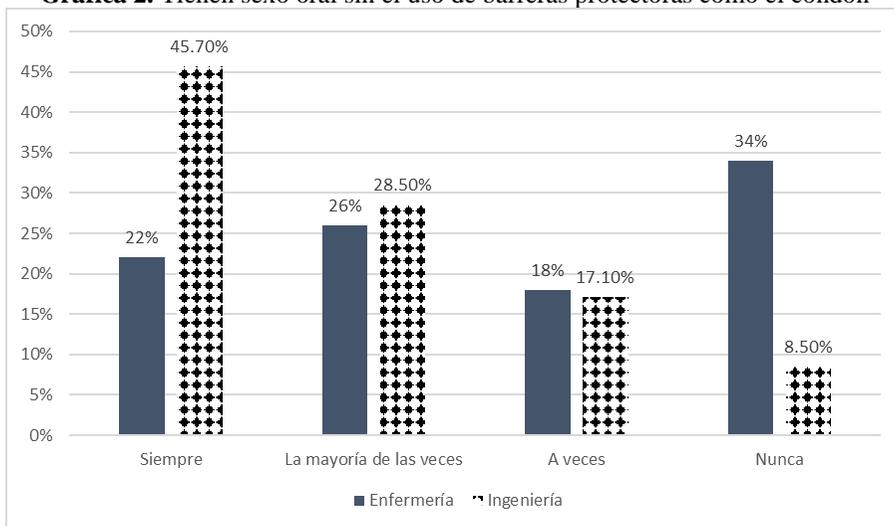
Gráfica 1. Señalamiento sobre examinar a la pareja sexual para detectar heridas, cortes o abrasiones en la zona genital



Fuente: Cuestionario de Conducta Sexual Segura (CCSS)

De igual manera, el 23.5% (n=20) nunca usan barreras protectoras como el condón cuando tienen sexo oral (gráfica 2).

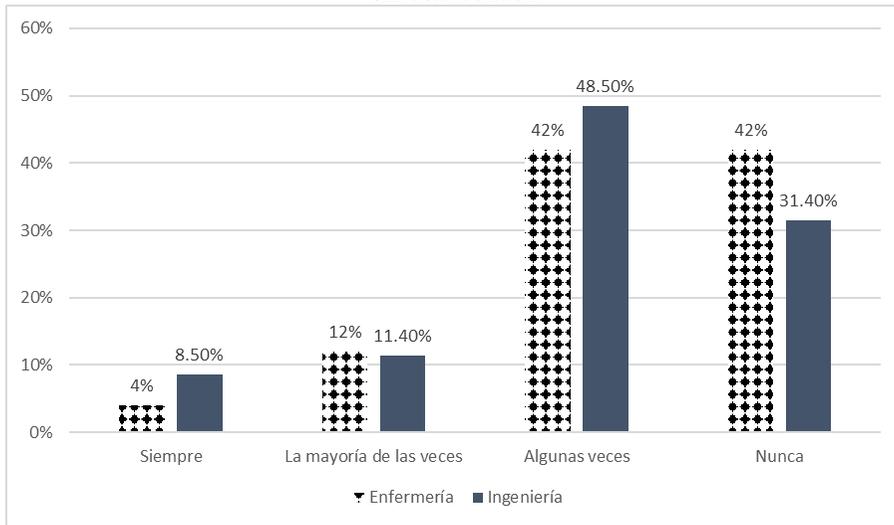
Gráfica 2. Tienen sexo oral sin el uso de barreras protectoras como el condón



Fuente: Cuestionario de Conducta Sexual Segura (CCSS)

Se preguntó si se dejan llevar por la pasión del momento y tienen relaciones sexuales sin usar condón, de los cuales el 44.7% refiere que a veces, mientras que el 5.9% refiere que siempre (gráfica 3).

Gráfica 3. Indicación de dejarse llevar por la pasión del momento y tener relaciones sexuales sin usar condón



Fuente: Cuestionario de Conducta Sexual Segura (CCSS)

El 24.7% (n=21) de los estudiantes respondieron que solo a veces, si su pareja insiste en tener relaciones sexuales sin condón, se niegan a tener relaciones sexuales. Más de la mitad de la muestra, con un 69.4% (n=59), siempre evitan el contacto directo con la sangre de su pareja sexual. Relacionado a los alumnos de Enfermería, el 12% respondieron que nunca.

En la pregunta que menciona: tengo relaciones sexuales anales sin usar condón, el 12.9% contestaron que a veces, y el 4.7% la mayoría de las veces. Un poco más de la mitad de los alumnos respondieron que a veces toman bebidas alcohólicas antes de tener una relación sexual (tabla 2).

Tabla 2. Señalamiento de consumir bebidas alcohólicas antes de tener una relación sexual

	Frecuencia	Porcentaje
A veces	43	50.6
La mayoría de las veces	3	3.5
Nunca	39	45.9
Total	85	100.0

Fuente: Cuestionario de Conducta Sexual Segura (CCSS)

Con respecto a los datos más relevantes de la CCSS por carrera, estos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Descripción, por carrera, de algunos aspectos relevantes de las respuestas de los alumnos, en función de cada cuánto realizan cada aspecto evaluado

Aspectos	Licenciatura en Enfermería	Ingeniería Civil
Insisten en el uso del condón a tener relaciones sexuales	50% siempre	54.2% siempre
Consumen marihuana u otras drogas previo a las relaciones sexuales	12% a veces	17.14% a veces
Evitan el contacto con el semen o las secreciones vaginales de su pareja sexual	34.2% Siempre o la mayoría de las veces	36% Siempre o la mayoría de las veces
Preguntar a las potenciales parejas sobre sus historias de prácticas sexuales u homosexuales	48.57% nunca	34% Nunca
Dejarse llevar por la pasión del momento y tener relaciones sexuales sin usar condón	20% Siempre y la mayoría de las veces	16% Siempre y la mayoría de las veces
Evitar el contacto directo con la sangre de la pareja sexual	74.2% Siempre y la mayoría de las veces	78% Siempre y la mayoría de las veces

Fuente: Cuestionario de Conducta Sexual Segura (CCSS)

Dentro de los datos globales, se encontró, que en general, los alumnos tuvieron en la valoración, un puntaje mínimo de 56 y un máximo de 92, siendo el promedio 71, con una DE de ± 8.3 puntos y la moda de 67. Por carrera, Ingeniería Civil tuvo un puntaje promedio de 69 y la Licenciatura en Enfermería de 73.

Discusión

La conducta sexual de riesgo implica actitudes que ponen en peligro la salud de los individuos (Palacios-Delgado & Ortego-García, 2020). Los adolescentes son más propensos a incurrir en comportamientos sexuales de riesgo debido a que es común que en esta etapa decidan iniciar su vida sexual y, en ocasiones, presenten falta de conocimientos sobre la salud sexual. Incluso en universitarios aún se registran conductas de riesgo, siendo un problema preocupante para la sociedad. Esta situación compromete la salud en los jóvenes y puede llegar a tener un daño de por vida. De acuerdo a una investigación, la realización de estas conductas disminuye cuando los estudiantes pertenecen a carreras relacionadas a la salud (Badillo-Viloria et al., 2020).

De acuerdo a los datos sociodemográficos de los encuestados, se observa que la mayoría son mujeres con un 68.2% del total de la muestra, la edad media es de 22.02 años y la mayoría se encuentran solteros. Dichos datos

son similares a los encontrados en otros estudios (Badillo-Viloria et al., 2020). Es importante considerar esta información ya que de esta manera se podrán abordar otros factores que propicien las conductas sexuales de riesgo y también a conocer la población a la que se está trabajando, vinculados a aspectos personales, experiencias, etc.

Relacionado al cuestionario de Conducta Sexual Segura (CCSS), se identificó en un estudio que el 55% del total de alumnos ha ingerido bebidas alcohólicas previo a una relación sexual (Villafañe-Ferrer & González-Navarro, 2017), lo cual se relaciona con nuestro estudio, en el que el 50.6% de la muestra toma bebidas alcohólicas antes de tener una relación sexual. Es común en los jóvenes el consumo de sustancias psicoactivas y que esto se realice sin responsabilidad, muchas veces en consecuencia a problemas de la vida diaria, para divertirse o es utilizado como nueva experiencia.

Se observó que el 44.7% a veces se dejan llevar por la pasión del momento y tienen relaciones sexuales sin condón, mientras que el 5.9% siempre lo hacen. Así, los datos son similares a los resultados de Herrera (Herrera Zuleta et al., 2018), donde el 49% de los estudiantes refirió que no siempre utilizan el condón en sus relaciones sexuales. Debido a que en ocasiones algunos jóvenes no piensan en las consecuencias de sus actos o las minimizan, de igual manera, no todos tienen los conocimientos suficientes sobre salud sexual.

En un estudio se refleja que el 60% de los alumnos ha realizado sexo oral sin condón en más de una ocasión, en el que es contrario a lo encontrado en este estudio, al ser de un poco más del 20% quienes tienen esta práctica, lo que representa una conducta de riesgo presente y significativa (Badillo-Viloria et al., 2020). El resultado fue que el 27.1% lo realiza la mayoría de las veces, mientras que el 31.8% siempre. Un problema a considerar es que en ocasiones los jóvenes tienen una perspectiva errónea acerca del sexo oral relacionada a que mantiene presente la virginidad, que así evitan el embarazo e incluso que es menos riesgoso para contraer una ITS, lo cual es erróneo ya que es muy posible contraer una infección por transmisión sexual mediante sexo oral por las secreciones de la pareja e incluso por el contacto de los genitales con la cavidad oral (Badillo-Viloria et al., 2020).

De acuerdo a Bouniot-Escobar (Bouniot-Escobar et al., 2017), el 1% del total de universitarios practica sexo anal, lo cual difiere con nuestro estudio debido a que se registra una mayor prevalencia con el 24.7% que lo practican a veces, el 4.7% la mayoría de las veces y el 1.2% siempre. Las relaciones sexuales anales pueden comprometer la salud del área anal, especialmente si no se utiliza alguna barrera protectora o en el caso de que se introduzca algún objeto o las manos puede ocasionar lesiones que pueden llegar a ser graves. También es posible el contagio de ITS, sobre todo porque al no haber riesgo

de embarazo se confía en la falta de uso de condón o alguna otra barrera (Contreras-Landgrave et al., 2020).

Se identificó que el 5.9% del total de la muestra siempre tienen relaciones sexuales con alguien que es una persona bisexual u homosexual, en cambio, en otro estudio realizado en Chile (Bouniot-Escobar et al., 2017) menciona que el 3.26% de los estudiantes son homosexuales y el 0.54% son bisexuales. Las preguntas en cada cuestionario no son iguales, sin embargo, no se encontró artículo en el que se especificara la cuestión contenida en el Cuestionario de Conducta Sexual Segura (CCSS). El análisis de la pregunta ha sido añadido debido a que es considerada en otros estudios como prácticas sexuales de riesgo, pero, cabe mencionar que en este estudio es indistinta la preferencia sexual debido a que se consideran otros factores de conductas de riesgo como la falta de protección al tener relaciones sexuales, lo que ocasionan los embarazos no deseados y las ITS (Contreras-Landgrave et al., 2020).

Conclusión

Se han realizado estudios de manera internacional sobre el tema, incluso existen algunas investigaciones efectuadas en zonas dentro de México, pero dentro de Querétaro no se ha desarrollado este tema en específico.

Al respecto, se identificó que ambas carreras, Licenciatura en Enfermería e Ingeniería Civil, presentan conductas sexuales de riesgo, principalmente la falta del uso de barreras protectoras como el condón y el consumo de sustancias psicoactivas antes de una relación sexual, siendo la de mayor prevalencia el alcohol, entonces en estos sujetos, no hay en esta primera aproximación, diferencias en las prácticas en función de la carrera. En este sentido, se sugiere realizar estudios con más variables, aumentando el tamaño de la muestra y estableciendo investigaciones de correlación.

Valdría el esfuerzo volver a replantear el levantamiento de datos, de manera tal que al ampliar el tamaño de la muestra, se pueda tener un panorama más amplio post pandemia. Los datos de esta primera aproximación mostraron que sí hay aspectos de la salud sexual y conductas de riesgo de los que es necesario reforzar la información y orientar los jóvenes, resaltando que el hecho de tener un embarazo no planeado, es la “complicación” menos seria que se puede tener, que es importante que no pierdan de vista las Infecciones de Transmisión Sexual.

Conflicto de intereses: Ninguno de los autores de este escrito presentó conflicto de intereses.

Financiamiento: Los autores del proyecto financiaron el mismo con sus recursos personales.

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

Declaración para participantes humanos: La investigación fue aprobada por el Subcomité de Investigación y Bioética de la Universidad Autónoma de Querétaro, quienes determinaron que cumplía con las pautas establecidas en el Código de Nuremberg, Declaración de Helsinki y Ley General de Salud (Secretaría de Salud, 2014) para la realización de la misma.

References:

1. Alfonso Figueroa, L., & Figueroa Pérez, L. (2017). Conductas sexuales de riesgo en adolescentes desde el contexto cubano. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar Del Río*, 21(2), 193–301. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpr/v21n2/rpr20217.pdf>
2. Badillo-Viloria, M., Mendoza Sánchez, X., Barreto Vásquez, M., & Díaz-Pérez, A. (2020). Comportamientos sexuales riesgosos y factores asociados entre estudiantes universitarios de Barranquilla, Colombia, 2019. *Enfermería Global*, 59, 422–449. <https://doi.org/10.6018/eglobal.412161>
3. Bouniot-Escobar, S. V., Muñoz-Vigueras, C. A., Norambuena-Vergara, N. R. M., Pinto-Ulloa, C. F., & Muñoz-Pareja, M. A. (2017). Prevalencia de conductas sexuales de riesgo en estudiantes de primer año de pregrado de la Universidad San Sebastián, Concepción, Chile, 2016: Estudio descriptivo. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología*, 68(3), 176–185. <https://doi.org/10.18597/rcog.2799>
4. Contreras-Landgrave, G., Ibarra-Espinosa, M. L., Casas-Patiño, Ó. D., Camacho-Ruiz, E. J., & Velasco-Cañas, D. F. (2020). El conocimiento sobre métodos anticonceptivos y la conducta sexual en jóvenes universitarios. *Hacia La Promoción de La Salud*, 25(2), 70–83. <https://doi.org/10.17151/hpsal.2020.25.2.9>
5. García, C., Calvo, F., Carbonell, X., & Giralt, C. (2017). Consumo intensivo de alcohol. *Health and Addictions*, 17(1), 63–71. <https://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/14197>
6. Gutiérrez de Alarcón, R. D., Alarcón Gutiérrez, R., Cuadra Moreno, M. L., Alarcón Gutiérrez, J., & Rodríguez, N. P. (2019). Conocimientos, actitudes y prácticas en el uso de métodos anticonceptivos en ingresantes a una universidad de Trujillo. *Revista de Investigación Estadística*, 2(1), 34–43.
7. Hernández Cortina, A., Vásquez Osses, M. A., Jiménez-Paneque, R., & Zapata Aqueveque, C. A. (2020). Adaptación cultural y evaluación psicométrica del cuestionario de conducta sexual segura en jóvenes universitarios chilenos. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 19(6),

- 1–13.
<http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/2976>
8. Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación : las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.
 9. Herrera Zuleta, I. A., Reyes Salazar, J. F., Rojas Velasco, K. P., Tipán, M. L., Torres López, C. A., Vallejo Trujillo, L. M., & Zemanate Ordoñez, L. F. (2018). Salud sexual reproductiva en estudiantes universitarios: conocimientos y prácticas. *Revista Ciencia y Cuidado*, 15(1), 58–70. <https://doi.org/10.22463/17949831.1224>
 10. Leon-Larios, F., & Gómez-Baya, D. (2018). Diseño y validación de un cuestionario sobre conocimientos de sexualidad responsable en jóvenes. *Rev Esp Salud Pública*, 92, 1–15. www.msc.es/resp
 11. Organización Mundial de la Salud. (2021, November). *Infecciones de transmisión sexual*. Notas Descriptivas. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sexually-transmitted-infections-\(stis\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sexually-transmitted-infections-(stis))
 12. Palacios-Delgado, J. R., & Ortego-García, N. (2020). Diferencias en los estilos de negociación sexual y autoeficacia en el uso del condón en hombres y mujeres universitarios de Querétaro, México, 2018. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología*, 71(1), 9–20. <https://doi.org/10.18597/RCOG.3327>
 13. Sánchez Arevalo, S., Bastidas Tello, G., Alfonso González, I., & Labrada González, E. (2019). Embarazo no deseado y sus factores asociados en estudiantes universitarias. *Revista Espacios*, 40(39), 1–11. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n39/a19v40n39p09.pdf>
 14. Uribe Rodríguez, A. F., Castellanos Barreto, J., & Cabán Huertas, M. (2016). Conductas sexuales de riesgo y comunicación sobre sexualidad entre padres e hijos universitarios. *Revista de Psicología Universidad de Antioquia*, 8(2), 27–47. <https://doi.org/10.17533/udea.rpsua.v8n2a03>
 15. Villafañe-Ferrer, L. M., & González-Navarro, R. M. (2017). Comportamientos de riesgo y nivel de conocimiento de infecciones de transmisión sexual en estudiantes universitarios. *Duazary*, 14(2), 160–168. <https://doi.org/10.21676/2389783x.1964>

Correlation of OPG/RANKL in patients with thalassemia major at the center of Haemoglobinopathy Lushnje, Albania

Jorida Zoga

Majlinda Kallco

University “Aleksander Moisiu”,
Department of Medical Sciences, Durres, Albania

Etleva Refatllari

University of Medicine, Department of Laboratory, Tirane, Albania

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p13](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p13)

Submitted: 21 April 2024

Accepted: 04 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Zoga, J., Kallco, M., & Refatllari, E. (2024). *Correlation of OPG/RANKL in patients with thalassemia major at the center of Haemoglobinopathy Lushnje, Albania*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 13. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p13>

Abstract

Osteoporosis is an important cause of morbidity in hemoglobinopathy patients. It is characterized by low bone mass and disruption of bone architecture, resulting in reduced bone strength and increased risk of fractures. Osteoprotegerin (OPG) and receptor activator of NF-kappa-B ligand (RANKL) have recently been implicated in the pathogenesis of various types of osteoporosis. Our study aimed to determine the correlation between OPG/RANKL and patients affected by thalassemia major at the Center of Hemoglobinopathy in Lushnje. Methods: We measured serum OPG and RANKL levels in 70 patients with Thalassemia major and 67 healthy controls, determining correlations with BMD. Results: Serum OPG levels were significantly lower in thalassemic patients compared to the control group. Serum RANKL levels were higher in β -thalassemia patients compared to controls. 31.1% of our patients with Thalassemia major had osteoporosis and 21.6 % had osteopenia. We found a correlation between OPG-BMD ($r=-0.768$, $p=0.000$), and RANKL-BMD ($r=0.468$; $p=0.000$). Conclusion: OPG and RANKL in Thalassemia major patients should be considered as the main factors responsible for osteoclast activation.

Keywords: Thalassemia, osteoporosis, OPG/RANKL

1. Introduction

Our study aimed to determine if there is any correlation between OPG/RANKL and the patients affected by thalassemia major in the Center of Haemoglobinopathy in Lushnje, Albania. Lushnja is a town in the west of Albania and it's very well known for thalassemia. The data obtained in 2006, on the screening of thalassemia carriers in the high school of the Lushnja district, showed that the transferability of thalassemia was quite high in the entire district. The prevalence of thalassemia was higher in plain and coastal areas 10-11%. (Refatllari et al 2008).

Beta thalassemia syndromes are mostly autosomal recessive disorders characterized by beta-globin chain synthesis genetic deficiency. (Oğuz et al., 2023) Osteoporosis is an important cause of morbidity in thalassemia patients. (Oğuz et al., 2023) It is characterized by low bone mass and disruption of bone architecture, resulting in reduced bone strength and increased risk of fractures. Over the last decade, studies have described a high prevalence of osteopenia and osteoporosis in well-treated thalassaemias, reaching up to 50%. (Tari et al., 2018) Osteoprotegerin (OPG) and receptor activator of NF-kappa-B ligand (RANKL) have recently been implicated in the pathogenesis of various types of osteoporosis. (Schündeln et al., 2014)(Yu et al., 2019)

1.1. Methods:

We measured serum OPG and RANKL levels in 70 patients(35 male and 35 female, mean age 28.3 ± 13.6 years)with Thalassemia major and in 67 healthy controls, determining correlations with BMD. Patients presented at the Thalassemia Center every 21 days to receive transfusions. They were diagnosed with thalassemia by electrophoresis of hemoglobin when they were 2 years old. The control group consisted of 67 patients admitted to the hospital for the routine control (38 female and 29 male) with a mean age of 32 ± 14 years. Five milliliters of fasting pre-transfusion venous blood was collected and serum was stored at -20°C after separation. BMD (bone mineral density) was determined by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA). We measured biochemical markers of bone metabolism (calcium, phosphorus, ALP-DEA, osteocalcin, β -CrossLaps, vitamin D, PTH), hemoglobin and ferritin.

1.2. Data analysis:

BMD values were compared with reference values from healthy people with similar age, sex, and ethnicity to calculate a Z score, the number of SDs from the expected mean. Z scores lower than -2.5 were accepted as "low bone mineral density" or osteoporosis. Z-scores <2.5 were accepted as osteopenia and z-score -1 to $+1$ were accepted as normal.

Osteoprotegerin (OPG) and the receptor activator of nuclear factor-kappa B (RANK)/receptor activator of nuclear factor-kappa B ligand

(RANKL) are the major cytokines related to the regulation of bone resorption (Jafari et al., 2019). The receptor activator of the nuclear factor-kappa B (RANK)/RANK ligand (RANKL)/osteoprotegerin (OPG) pathway has been recently recognized as the final, dominant mediator of osteoclast proliferation and activation (Koochmanee et al., 2021) (AbdAllah et al., 2010).

A commercially available kit measured serum osteoprotegerin(OPG) (Biovendor ELISA, version 17131204). Intra-assay (n=5) $\leq 5\%$ as provided by the manufacturer. The assay for measuring OPG in serum used the sandwich method in ELISSA format with a monoclonal capture and polyclonal antibody detection. The median value, according to the company Biomedical, Vienna is 2.7 pmol/L. OPG is stable at -20 0 in serum and EDTA, citrate, and heparin plasma at +4 0 for 14 days. The assay for measuring RANKL in serum uses the sandwich method in Elissa format with a monoclonal capture and polyclonal antibody detection (Biomedical). The lower limit of detection for this assay is 0.08 pmol/L. Accuracy for RANKL (Biomedical) is intraassay CV from 3% (at 3.2 pmol/L) to 5% (at 1 pmol/L) and interassay CV from 6% (at 1.78 pmol/L) to 9% (at 0.8 pmol/L). The Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) 22 program was used for statistical analysis. Variables were found to be statistically significant at $p < 0.0$

2. Results:

The study group included 70 β -TM patients (35 female, 35 male) and 67 controls (38 female and 29 male). The mean age of β -TM group was 25 ± 13.1 (18-64) years, while in control group was 32.3 ± 14 (19-65) years. The mean age and sex distribution of the groups were not significantly different ($p > 0.05$). Serum calcium, phosphorus, PTH, and Vitamin D levels were within normal limits and didn't differ between patients and control groups. Comparisons of major cytokines (OPG/RANKL) related to the regulation of bone resorption between patients with thalassemia major and healthy controls were presented in Table 1.

Table 1. Comparisons of OPG/RANKL levels between Thalassemia major and controls

	β -TM(n=70)	Control(n=67)	p
age(years) (mean \pm SD)	25 \pm 13.1	32.3 \pm 14	>0.05
OPG(pmol/L) (mean \pm SD)	3.2 \pm 1.48	10.2 \pm 7.5	<0.01
RANKL(pmol/L) (mean \pm SD)	0.26 \pm 0.17	0.11 \pm 0.89	<0.01

Serum OPG was significantly lower in thalassemic patients compared to the control group. Serum RANKL was higher in β -thalassemia compared to controls.

Table 2. Correlation OPG/RANKL levels and BMD

Variable		OPG	RANKL	BMD
OPG	Coefficient of correlation	1	-0.491**	-0.768**
	significance	0.000	0.000	0.000
RANKL	Coefficient of correlation	-0.491**	1	0.468**
	significance	0.000	0.000	0.000
BMD	Coefficient of correlation	-.0768**	0.468**	1
	significance	0.000	0.000	0.000

** . Correlation is significant at level 0.01

Table 2 shows a strong correlation between OPG-BMD ($r=-0.768$; $p=0.000$) and OPG-RANKL ($r=-0.491$; $p=0.000$).

Table 3, presents the distribution of BMD between thalassemic patients and the control group. We found that 31.1% (22 from 70) of our patients with Thalassemia major had osteoporosis 21.6 % (15 from 70) had osteopenia and 48% (33 from 70) presented normal BMD. The normal group had 5% (3 from 67) osteoporosis, 12% (8 from 67) osteopenia, and 83% (49 from 67) had normal BMD.

Table 3. Distribution of BMD between thalassemic patients and control group

	Osteoporosis	Osteopenia	Normal
Thalassemic patients (70 patients)	22	15	33
Control group (67 person)	3	8	49

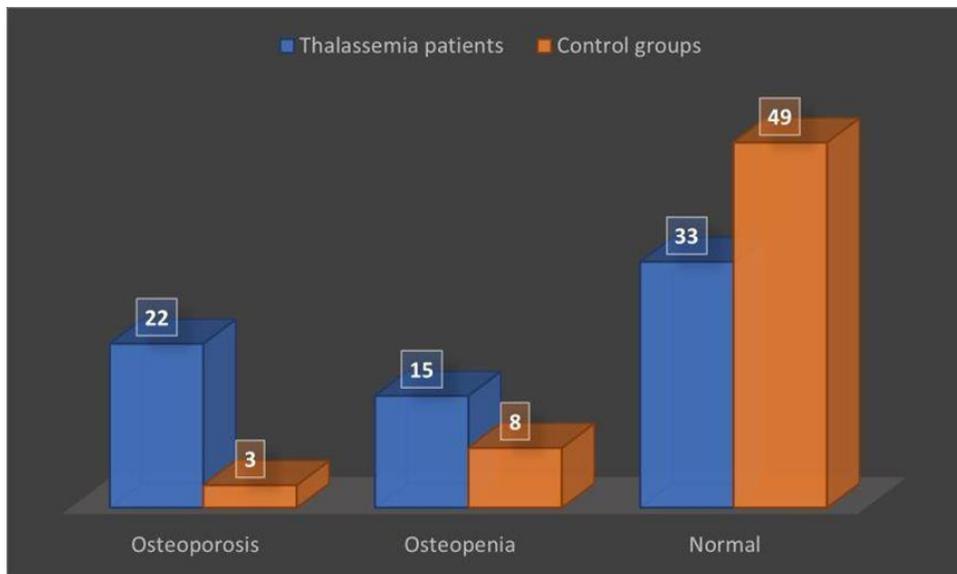


Figure 1: BMD in thalassemic patients and control group

3. Discussion:

Hemoglobinopathies are a common cause of skeletal morbidity and increased bone fracture risk in hemoglobinopathies patients (Tombak et al., 2020). Its pathogenesis is multifactorial and mainly includes bone marrow expansion, endocrine dysfunction, and iron overload (Pietrapertosa et al., 2009). In this study, we investigated the OPG and RANKL values of our patients diagnosed with β -TM. We compared these values with BMD (bone mineral density) to observe whether there was a correlation between them. The OPG/RANKL system plays an important role in the activation and proliferation of osteoclast precursors. Upon analyzing our data, the levels of OPG and RANKL cytokines were compared through the analysis of variance ANOVA. We noticed that we had a lower mean value of OPG in thalassemia compared to the control group. (OPG in TM 3.2 ± 1.48 pmol/L: control 10.2 ± 7.5 pmol/L and a higher level of RANKL in TM 0.26 ± 0.17 ; control 0.11 ± 0.89). In our study, a negative correlation was noted between OPG and BMD ($r = -0.768$; $p = 0.000$) and a positive correlation between OPG and T-score ($r = 0.729$; $p = 0.000$), as in the study of (Rogers & Eastell, 2005). In our study, it was observed that patients with hemoglobinopathy associated with osteopenia/osteoporosis had lower OPG levels and a lower OPG/RANKL ratio compared to patients with normal BMD. In the study of (Morabito et al., 2004) as far as the OPG/RANKL system is concerned, thalassemic patients showed no differences in plasma levels of OPG compared with controls that are not the same as our study and significantly higher plasma levels of RANKL, as we found in ours. (Tsartsalis et al., 2019) showed that sixty-four patients with TM (32 men and 32 women) participated in the study, almost the same number of patients were in our study (35 men and 35 women). The statistical analysis of the biochemical markers of bone metabolism revealed overall significant differences between the three groups only for RANKL and OPG/RANKL ($p = 0.049$ and $p = 0.009$). RANKL was higher and OPG/RANKL was lower in TM patients compared to the osteoporosis group. In our study, RANKL was higher too. (Hamidpour et al., 2022) showed the biochemical parameters in the (patients/ controls) including calcium and alkaline phosphatase (ALK) $9.1/10.2$ mg/dL and $171.1/310$ IU, respectively indicating a significant decrease ($P < 0.05$) compared to the controls. In our study, the level of calcium was 8.8 mg/dl, and alkaline phosphatase (ALP-DEA) was 180 IU/ml, the same as in our study. On the contrary, the mean levels of Ferritin and Zinc were 1914.18 μ g/L and 113.92 mg/mL, respectively which were significantly increased ($P = 0.015$ and $P = 0.045$, respectively). We measured the level of ferritin, which was high too. (Koohmanae et al., 2021) showed the mean age of patients was 14.86 ± 3.72 years. Normal bone density, osteopenia, and osteoporosis were noted in 2 (5.4%), 21 (56.8%), and 14 (37.08%) patients, respectively. Our study showed that 48% of patients were normal,

21% had osteopenia and 31% had osteoporosis. The number of girls ($P=0.042$), mean age ($P=0.045$), and MRI T2* heart ($P=0.033$) in patients with osteopenia was significantly higher than in patients with osteoporosis. We had more females than males with osteopenia and osteoporosis too. The BMD Z-score was not significantly associated with OPG regarding the total number of participants, whereas in patients with osteoporosis, this association was significant ($P=0.001$). In all effect-modified models, BMD remained statistically non-significant except for body mass index modification ($P=0.046$). (AbdAllah et al., 2010) showed that β -TM patients presented an altered bone turnover, with an increased resorption phase. The thalassemic patients showed significantly lower serum levels of OPG ($P=0.0001$). In contrast, RANKL levels were significantly higher in β -TM patients ($P=0.001$), who consequently showed a lower OPG/RANKL ratio ($P=0.001$), the same as in our study. (Pietrapertosa et al., 2009) showed that all the thalassemic patients had reduced BMD, and 35.5% presented osteoporosis. The thalassemic patients had significantly higher serum levels of OPG than the controls, while their higher RANKL levels were at the threshold of significance. The OPG/RANKL ratio showed a higher level of respect for the controls. No statistically significant correlation was observed between the T-score and RANKL neither between the T-score and OPG nor between T-score and OPG/RANKL ratio. In our study, 31.1 % presented osteoporosis OPG was lower than in the control group and RANKL was higher. (Schündeln et al., 2014) showed vitamin D deficiency with 25 OH-vitamin D serum levels below 20 ng/ml was a common finding (80.5%) in this cohort, we met the same results in our study. Analysis of RANKL, osteoprotegerin (OPG), and osteocalcin levels indicated an alteration in bone modeling with significantly elevated RANKL/OPG ratios (control: 0.08 ± 0.07 ; patients: 0.26 ± 0.2 , $P = 0.0007$). Our study showed (control: 0.01 ± 0.12 ; patients 0.08 ± 0.11 , $P=0.002$). (Youssry et al., 2022) showed the mean of spine dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) Z-score in patients was -1.66 ± 1.02 standard deviation (SD). Twenty-four of them had low spine DXA Z-scores. The patients showed significantly lower OPG levels and OPG/RANKLs ratios than the control group (3.28 ± 9.11 ng/ml and 11.38 ± 14.93 ng/ml, and 0.01 ± 0.03 and 0.07 ± 0.09 , respectively), in our study we had lower OPG levels too compared to the control group (3.2 ± 1.48 pmol/L and 10.2 ± 7.5 pmol/L). (Çelik et al., 2022) showed serum OPG levels were significantly lower in thalassemic than in controls. The mean ratio of RANKL/OPG was significantly higher in the thalassemic patients than in the control group, which was the same in our study. Osteoporosis was detected in 10 (3 female and 7 male) of 38 patients (26.3%) according to the femur Z score and in 6 of them (4 male and 2 female) (15.8%) according to the spine Z score.

Conclusions

Serum OPG/RANKL concentrations can be used as a biochemical marker in screening patients with hemoglobinopathy for the development of osteoporosis. Osteoporosis is a multifactorial disease and may occur early, especially in chronic diseases such as thalassemia. Because of the difficulties in diagnosis and follow-up, screening with DEXA and measuring ferritin level and RANKL/OPG ratios regularly is essential. It should be kept in mind that osteoporosis may develop with advancing age in both sexes. According to the 2021 guidelines for the management of transfusion-dependent thalassemia by the Thalassemia International Federation (TIF)(Farmakis et al., 2022), assessment of BMD by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) should be performed every 24 months after the age of 10 years, accompanied by vertebral fracture assessment. In addition, annual assessment of bone health should include measurement of serum calcium, phosphate, alkaline phosphatase, 25 (OH) vitamin D, PTH (parathyroid hormone), and, ideally, one marker of bone formation, and one marker of bone resorption.

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 has been approved by the Ethical Board of Alexander Moisiu University Durres and the principles of the Helsinki Declaration were followed.

References:

1. Refatllari E, Bulo A. The prevalence of beta-thalassemia in students screening in Lushnja district, Albania. BCLF, Antalya 2008
2. AbdAllah, N., Galal, A., Hamed, H. M., Adolf, S., Ragab, S. H., Mawgoud, S. A. el, & Rasheed, M. A. (2010). The roles of osteoprotegerin and RANKL in the pathogenesis of osteoporosis in Egyptian beta-thalassemia major patients. *Journal of Applied Sciences Research*, 6(8).
3. Amer, O. E., Wani, K., Ansari, M. G. A., Alnaami, A. M., Aljohani, N., Abdi, S., Hussain, S. D., Al-Daghri, N. M., & Alokail, M. S. (2022). Associations of Bone Mineral Density with RANKL and Osteoprotegerin in Arab Postmenopausal Women: A Cross-Sectional Study. *Medicina (Lithuania)*, 58(8). <https://doi.org/10.3390/medicina58080976>

4. Çelik, T., Sangün, Ö., Ünal, Ş., Balcı, A., & Motor, S. (2022). Assessment of biochemical bone markers of osteoporosis in children with thalassemia major. *Italian Journal of Pediatrics*, 48(1). <https://doi.org/10.1186/s13052-022-01290-x>
5. Chuang, M. H., Chuang, T. L., Koo, M., & Wang, Y. F. (2019). Low Hemoglobin Is Associated With Low Bone Mineral Density and High Risk of Bone Fracture in Male Adults: A Retrospective Medical Record Review Study. *American Journal of Men's Health*, 13(3). <https://doi.org/10.1177/1557988319850378>
6. di Paola, A., Marrapodi, M. M., di Martino, M., Giliberti, G., di Feo, G., Rana, D., Ahmed, S., Argenziano, M., Rossi, F., & Roberti, D. (2024). Bone Health Impairment in Patients with Hemoglobinopathies: From Biological Bases to New Possible Therapeutic Strategies. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 25, Issue 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ijms25052902>
7. Farmakis, D., Porter, J., Taher, A., Cappellini, M. D., Angastiniotis, M., Eleftheriou, A., Alassaf, A., Angastiniotis, M., Angelucci, E., Aydinok, Y., Bou-Fakhredin Rayan, R., Brunetta, L., Cappellini, M. D., Constantinou, G., Daar, S., de Sanctis, V., Dusheiko, G., Elbard, R., Eleftheriou, A., ... Yardumian, A. (2022). 2021 Thalassaemia International Federation Guidelines for the Management of Transfusion-dependent Thalassemia. *HemaSphere*, 6(8). <https://doi.org/10.1097/HS9.0000000000000732>
8. Gaudio, A., Morabito, N., Catalano, A., Rapisarda, R., Xourafa, A., & Lasco, A. (2018). Pathogenesis of Thalassemia Major–Associated Osteoporosis: Review of the Literature and Our Experience. *Journal of Clinical Research in Pediatric Endocrinology*. <https://doi.org/10.4274/jcrpe.0074>
9. Hamidpour, M., Jafari, F., Mehrpouri, M., Azarkyvan, A., Bashash, D., & Maboudi, A. A. K. (2022). Evaluation of the relationship between biochemical parameters and osteoporosis in patients with β -thalassemia major. *Iranian Journal of Pediatric Hematology and Oncology*, 12(1). <https://doi.org/10.18502/ijpho.v12i1.8360>
10. Jafari, F., Azarkeivan, A., Bashash, D., Maboodi, A. A. K., & Hamidpour, M. (2019). Correlation between serum levels of RANKL with osteoporosis in patients with beta-thalassemia major. *Koomesh*, 21(1).
11. Koohmanae, S., Dabandi, B., Baghersalimi, A., Zare, R., Zoroufi, M. A., MirMonsef, S. G., Rad, A. H., Akhavan, A., Golshekan, K., Moamer, F., Medghalchi, A., & Dlili, S. (2021). The probability of indicating Osteoprotegerin as a biomarker for osteoporosis in patients

- with thalassemia major. *Iranian Journal of Pediatric Hematology and Oncology*, 11(1), 18–23. <https://doi.org/10.18502/ijpho.v11i1.5002>
12. Morabito, N., Gaudio, A., Lasco, A., Atteritano, M., Pizzoleo, M. A., Cincotta, M., la Rosa, M., Guarino, R., Meo, A., & Frisina, N. (2004). Osteoprotegerin and RANKL in the pathogenesis of thalassemia-induced osteoporosis: New pieces of the puzzle. *Journal of Bone and Mineral Research*, 19(5). <https://doi.org/10.1359/JBMR.040113>
 13. Oğuz, S. H., Okay, M., Fedai, A. B., Ünal, Ş., Gümrük, F., Sayınalp, N., & Ünlütürk, U. (2023). Endocrine Disorders in Adult Beta-Thalassemia Patients: Insights from a Long-Term Follow-Up. *Endocrinology Research and Practice*, 27(4). <https://doi.org/10.5152/erp.2023.23340>
 14. Pietrapertosa, A. C., Minenna, G., Colella, S. M., Santeramo, T. M., Renzi, I. R., & D'Amore, M. (2009). Osteoprotegerin and RANKL in the pathogenesis of osteoporosis in patients with thalassemia major. *Panminerva Medica*, 51(1).
 15. Schündeln, M. M., Goretzki, S. C., Hauffa, P. K., Wieland, R., Bauer, J., Baeder, L., Eggert, A., Hauffa, B. P., & Grasmann, C. (2014). Impairment of bone health in pediatric patients with hemolytic anemia. *PLoS ONE*, 9(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108400>
 16. Skordis, N., Efstathiou, E., Kyriakou, A., & Toumba, M. (2008). Hormonal dysregulation and bones in Thalassaemia - An overview. In *Pediatric Endocrinology Reviews* (Vol. 6, Issue SUPPL. 1).
 17. Tari, K., Valizadeh Ardalan, P., Abbaszadehdibavar, M., Atashi, A., Jalili, A., & Gheidishahran, M. (2018). Thalassemia an update: molecular basis, clinical features and treatment. *International Journal of Biomedicine and Public Health*, 1(1). <https://doi.org/10.22631/ijbmph.2018.56102>
 18. Tombak, A., Boztepe, B., Akbayir, S., Dogru, G., & Sungur, M. A. (2020). Receptor Activator of Nuclear Factor κ -B Ligand/Osteoprotegerin Axis in Adults with Hb S/ β -Thalassemia and β -Thalassemia Trait. *Hemoglobin*, 44(5). <https://doi.org/10.1080/03630269.2020.1811116>
 19. Toumba, M., & Skordis, N. (2010). Osteoporosis Syndrome in Thalassaemia Major: An Overview. *Journal of Osteoporosis*, 2010, 1–7. <https://doi.org/10.4061/2010/537673>
 20. Tsartsalis, A. N., Lambrou, G. I., Tsartsalis, D. N., Papassotiriou, I., Vlachou, E., Terpos, E., Chrousos, G. P., Kanaka-Gantenbein, C., & Kattamis, A. (2019). Bone Metabolism Markers in Thalassemia Major-Induced Osteoporosis: Results from a Cross-Sectional Observational Study. *Current Molecular Medicine*, 19(5). <https://doi.org/10.2174/1566524019666190314114447>

21. Youssry, I., Saad, N., Madboly, M., Samy, R. M., Hamed, S. T., Tawfik, H., Elbatrawy, S. R., Kaddah, N., & Abd Elaziz, D. (2022). Bone health in pediatric transfusion-dependent beta-thalassemia: Circulating osteoprotegerin and RANKL system. *Pediatric Blood and Cancer*, 69(1). <https://doi.org/10.1002/pbc.29377>
22. Yu, U., Chen, L., Wang, X., Zhang, X., Li, Y., Wen, F., & Liu, S. (2019). Evaluation of the vitamin D and biomedical statuses of young children with β -thalassemia major at a single center in southern China. *BMC Pediatrics*, 19(1), 375. <https://doi.org/10.1186/s12887-019-1744-8>
23. Rogers, A., & Eastell, R. (2005). Review: Circulating osteoprotegerin and receptor activator for nuclear factor κ B ligand: Clinical utility in metabolic bone disease assessment. In *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* (Vol. 90, Issue 11, pp. 6323–6331). <https://doi.org/10.1210/jc.2005-0794>

Evaluation of Free Cooling Technique at the Telecom Cell Site in Ghana

Kojo Boakye

Dr. Shiphrah Ohene Adu

Assoc. Prof. Solomon Nunoo

University of Mines and Technology, Ghana

Dr. Kwaku Boakye

Colorado State University, USA

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p23](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p23)

Submitted: 07 May 2024

Accepted: 07 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Boakye, K., Ohene Adu, S., Nunoo, S., & Boakye, K. (2024). *Evaluation of Free Cooling Technique at the Telecom Cell Site in Ghana*. *European Scientific Journal, ESJ*, 20 (18), 23.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p23>

Abstract

Air Conditioning (AC) is the primary source of cooling in a typical Cell Site (CS) although it consumes a large quantity of electricity. Excessive energy consumption due to air conditioning increases the operational expenses of telecommunication companies. Therefore, network operators have attempted various techniques to reduce the exorbitant cost of a cell site's high-power consumption. A Free Cooling (FC) System is one such approach. This paper uses computer modeling to investigate how the FC System will function at a CS in Ghana for 12 hours (from 6 pm to 6 am). A shelter with dimensions of 3 m × 2.47 m × 2.45 m (L × B × H) is used in the study, with three window positioning scenarios (different window heights), namely: (a) an inlet window 0.5 m high, and the outlet window 1.5 m high, (b) an inlet window and outlet window both 1.0 m high and (c) an inlet window 1.5 m high, and the outlet window 0.5 m high. The analysis revealed that the shelter with inlet and outlet windows at the same height has the most efficient heat dissipation potential. Furthermore, at a set temperature threshold of 25 °C, the annual percentage share for the two operating modes is approximately 67% for AC and 33% for FC in 2020, 76% for AC and 24% for FC in 2021, and 61% for AC and 39% for FC in 2022. However, when the set temperature threshold is increased from 25 °C to 30 °C, the annual percentage share is approximately 0.01% for AC

and 99.9% for FC in 2020, 0% for AC and 100% for FC in 2021, and 1% for AC and 99% for FC in 2022. Thus, the proportion of free cooling increases as the set temperature threshold is raised, indicating potential energy savings. It could be concluded that in Ghana, installing a cell site with an FC system and setting the temperature of its control system to 30 °C or higher will result in significant energy savings.

Keywords: Air Conditioning, Airflow Pattern, Cell Site, Cooling Load Factor, Cubic Feet Per Minute, Energy Savings, Free Cooling, Energy Savings, Free Cooling System, Indoor Set Temperature, Shelter Ambient Temperatures, Shelter Indoor Temperatures, Total Cooling Load

Introduction

Globally, the number of mobile phones and data usage has increased. According to Bhondge et al. (2016), there are approximately 12 billion cellular network subscribers across the world. In Ghana, as of January 2021, the total number of mobile connections had gotten to 41.69 million (Kemp, 2021). The increase in this sector has made mobile operators invest massively in their infrastructure for better service delivery. These infrastructures include the deployment of Cell Sites (CS) to ensure constant access to mobile networks and guaranteed Quality-of-Service (QoS) to network subscribers (Ayang et al., 2016). A Cell Site (CS) consists of the Baseband Unit (BBU), the Microwave Transmission (TXm) equipment, generators, masts, Backup Batteries (BB), shelters, the power conversion system, and other auxiliary electronic equipment.

The BBU, the TXm equipment, BB, and other electronic equipment generate large amounts of heat, so cooling systems are crucially needed to maintain the good performance of these units (Haghighi, 2016). The cooling systems help maintain a low-temperature range to deliver quality service. This equipment is either housed in outdoor cabinets or shelters. Outdoor cabinets employ fans to maintain the required temperature. Conversely, air conditioning (AC) systems are installed in shelters to keep them cool and maintain a high level of service quality.

In Ghana, major telecommunication backbone sites (the nerve centers of a high speed network) have their BBU, TXm units, and other auxiliary electronic equipment located in a shelter. These shelters are fitted with AC systems to dissipate the heat generated and maintain a constant temperature of about 25°C - 28°C.

Unfortunately, many electronic units found in the shelters are cooled unnecessarily as the AC systems run all year round and do not discriminate between the equipment that generates heat and those that do not. The impact of the AC systems running all year round on power consumption is so high

that it negatively affects the operating cost of the network operators. To reduce this massive amount of high-power consumption, network operators have evaluated a variety of different techniques. The techniques include modifying building envelopes, upgrading AC systems, installing monitoring/control systems, improving indoor airflow delivery, Free Cooling (FC), utilising renewable energy, and enhancing energy efficiency (Haghighi, 2015).

This study examines the use of an FC technique as an alternative to an AC system for cooling equipment in a cell site shelter, then conducts a techno-economic analysis of the power consumption associated with employing the free cooling technique.

FC system is made up of an inlet window and outlet window in an enclosure, a Fan Group (FG) mounted on the windows, sensors, and a control unit. It involves cool ambient air being transported into the enclosure and the heat removed by an exhaust system. Compared with traditional coolers, this system can save energy. Unfortunately, active cooling is also needed in certain cases during times of extreme heat, as the fan group may not adequately cool the shelter. The simplest option will be to use a mixture of FC and AC units. It might be an expensive solution based on installation costs; however, it promises a high level of investment after the next few years of service by minimizing power prices. The intention is to operate an FC system as often as possible to the operation of the AC unit. This requires that the installed equipment operate at high temperatures (Ayang et al., 2016).

1.1 Review of Related Works

Many researchers have done valuable work to reduce the consumption of AC systems in CSs. Some of the work includes: Ayang et al. (2016) proposed a power usage model and conducted energy audits in selected telecom CSs where they categorized CSs based on their monthly power consumption in the Sahel area of Cameroon. The model savings were up to 17% for the Cameroon Radio Television (CRTV) cell site, about 24.4% for the Missinguileo cell site, and about 14.5% for the Maroua market cell site. Thermosyphon and its integrated system were analyzed by Zhang et al. (2018), who found loop thermosyphons more suitable for installation and suggested exploring the use of CO₂ as an alternative working fluid for experiment protection. In a study conducted by Haghighi (2016), free cooling was utilised in two distinct areas: dual-zone and single-zone. They observe that setting the internal temperature of the Free Cooling (FC) to 25°C can meet 21%-94% of the total cooling needs, depending on the region and methodology chosen. High indoor humidity can shorten the life cycle of IT/electronic devices in CS shelters, leading some operators to avoid using FC. Haghighi (2017b) proposed an analytical model to reduce humidity in outside air for FC. The model suggests that increasing the temperature of highly humid air can

decrease humidity to 85% with low risk. Methods include mixing low-temperature outside air with warm shelter air, adjusting FC unit volume flow rate, and upgrading telecommunication equipment. In 2018, an air-cooled CS in Helsinki-Finland was transformed into a liquid-cooled telecommunication equipment, it resulted in 70% annual energy savings and an 80% reduction in CO₂ emissions compared to air cooling, with the potential to use 80% of total dissipated energy for heating (Huttunen et al., 2020). The study by Gözcü and Erden (2019), examines the energy consumption of data centres using free cooling systems like the direct air-side economizer , indirect air-side economizer , indirect evaporative cooler , indirect water-side economizer integrated with the existing cooling infrastructure of a typical 1 MW IT load centres. Results showed that indirect evaporative cooler IEC had the most energy-saving potential, reducing chiller hours by less than 10% across Turkey and by 1% in half of the cities studied. Zhou et al. (2013) developed an energy utilization model for indoor thermal building specifications based on a combined AC and thermosiphon heat exchanger device. Approximately 87% of Chinese cities are in cool and mild climates, making thermosiphon heat exchangers ideal for usage and saving more than 30% of energy annually.

A solar chimney with an earth-air heat exchanger is introduced in a paper by Dokkar et al. (2016), which suggested that rising inlet flow contributes greatly to the cooling change. Their findings showed a substantial decrease in energy usage due primarily to a decreased cooling energy. Venkatesan and Ramachandraiah (2016) modelled and simulated a CS shelter envelope with EnergyPlus for energy efficiency. In comparing the energy consumption during simulations, the proposed EnergyPlus model-based control had a saving of about 2.69% and 1.37%, respectively, for fixed and variable-capacity AC over the model. The overall energy saving was increased from 12.04% to 14.41% by using the EnergyPlus model-based control proposed. Petraglia et al. (2015) also investigated the energy consumption of a CS for mobile communication as well as conditioning functions. The investigation suggested annual energy savings between 10% and 30%.

Haghighi and Ghanbarpour (2016) proposed a hybrid cooling system that circulates indoor air through a closed loop with minimal interaction with outdoor air. The system can operate in three modes: AC, thermosiphon (TS), and dual (DU). The model was used to estimate the share of each operating mode for a typical base station in four locations with a set point temperature adjusted to 25 °C. Their results revealed that by increasing the set point temperature, the share of AC mode was reduced while the share of thermosiphon and the dual mode was increased. Silva et al. (2017) analyzed the thermal performance of an Outdoor Telecommunication Cabinet (OTC) using DesignBuilder. The simulation results showed that the model predicted air temperature closer to actual measurements, especially when weather data

was similar. They observed that mechanical ventilation effectively extracted heat, but increased airflow rate did not significantly decrease temperature. Radiant properties and cabinet location also impacted performance.

1.2 Power Usage and Energy Conservation Strategies

According to Fabbri et al. (2011), the radio operators and AC are the primary energy consumers in a CS, so reducing their usage will reduce the CS's overall consumption. Reducing the amount of time AC is used for cooling is thus a potential method for reducing the power consumption of a CS. FG (FG)

1.3 Cooling Loads Calculation

The cooling and heating load calculations are normally made during Heating, Ventilating, and Air Conditioning (HVAC) system sizing. Figure 1 is a schematic diagram that expresses the necessary cooling load, Q_{COOL} , in a shelter. The cooling and heating load is expressed in Equation 1 (Haghighi, 2015) as:

$$Q_{COOL} = Q_{IT} + Q_{EVN} + Q_{SOL} + Q_{INF} \quad (1)$$

where, Q_{IT} = heat emission from indoor electrical appliances

Q_{EVN} = conduction and convection across the ceiling and walls of the shelter

Q_{SOL} = solar radiation absorption on the walls and roof of the shelter

Q_{INF} = infiltration of warm outdoor air through openings in a shelter

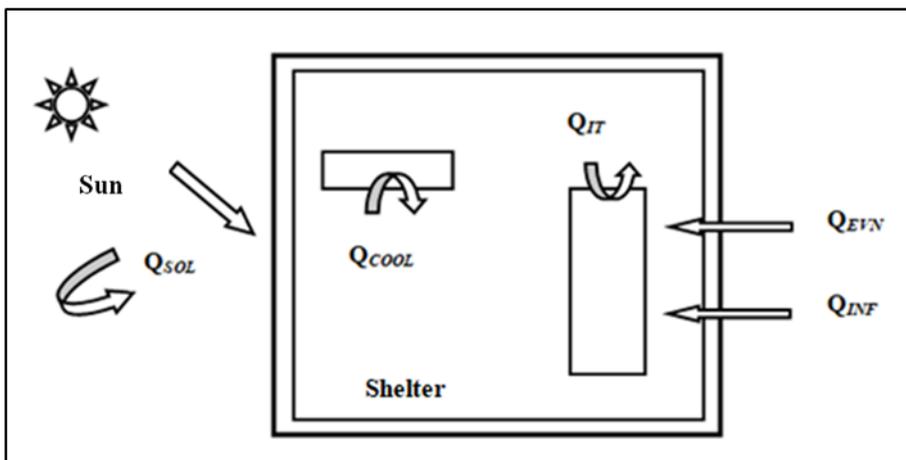


Figure 1: Key Thermal resources in a typical shelter of a CS

From Equation 1, the overall cooling load of a shelter can be split between an FC and an AC based on the following assumptions: if $T_{SET} \leq T_o$,

the AC system works, and if $T_{SET} > T_O$, then the FC system takes over (Haghighi, 2017a). T_{SET} and T_O represent the indoor and outdoor set temperatures, respectively.

1.4 Energy Savings

The yearly Energy Savings (ES) can also be obtained by using Equation (2) (Zhou et al., 2013):

$$ES = C_1 - C_2 \quad (2)$$

where, ES = yearly savings on electricity (kWh/yr)

C_1 = yearly energy consumption with AC (kWh/yr)

C_2 = yearly energy consumption with the FC (kWh/yr)

1.5 Computer Simulations

Computer simulations are used to test the performance of proposed solutions before actual implementation. They are computer-based mathematical modelling programs that are used to predict physical system patterns. The veracity of a computer simulation result can be determined by comparing it to the actual results that it seeks to predict. It aids in experimenting without disrupting existing systems, testing concepts before installation, detecting unexpected problems or glitches in a system, and so on. Computer simulations were used to test the performance of the proposed FC system in this work.

1.6 Electronic Monitoring and Control

For the system to work an electronic monitoring and control system monitors the internal and external temperatures using two temperature probes then with a preset temperature range set in the control unit, switches the cooling of the shelter between the FC and the AC.

2. Methodology

An AC is typically used to dissipate the heat in a shelter in a CS. However, it is one of the major contributors to energy consumption. A combined AC and FC system is one feasible approach for reducing this high energy use. This goal can be achieved if the FC mode is employed as often as possible, decreasing active air conditioning time to the absolute minimum. For FC to be particularly effective, installed equipment must have a wide range of operating temperatures. Conversely, active regulation and active air cooling are required more frequently when the equipment's working temperature range is narrow. The success of the FC system depends on the direction of airflow through the shelter and the uniformity of air temperature in the shelter (Schmidt and Shaukatullah, 2002).

2.1 Climate conditions of Ghana and location of adopted CS

Ghana has a tropical climate, with two seasons (the dry and rainy seasons). The rainy season lasts from May to September in the Northern part, from April to October in the Central part, and from April to November in the South. Ghana's average daily temperature range is between 25 °C and 35 °C. This study is conducted in Ejisu in the Ejisu-Juaben Municipal District in the Ashanti Region of Ghana. Ejisu has an average yearly temperature of 30 °C and receives about 608 mm of rain. With an average humidity of 80% and a UV index of 7, it is dry for 89 days a year. The highest average temperature is 31 °C, which occurs in March, and the lowest is 26 °C, which also occurs in August. Figure 2 is a monthly average climatic data graph for Ejisu obtained based on data collected over the last 30 years (Besttravelmonths.com - the Best Time to Visit Every Destination, 2023).

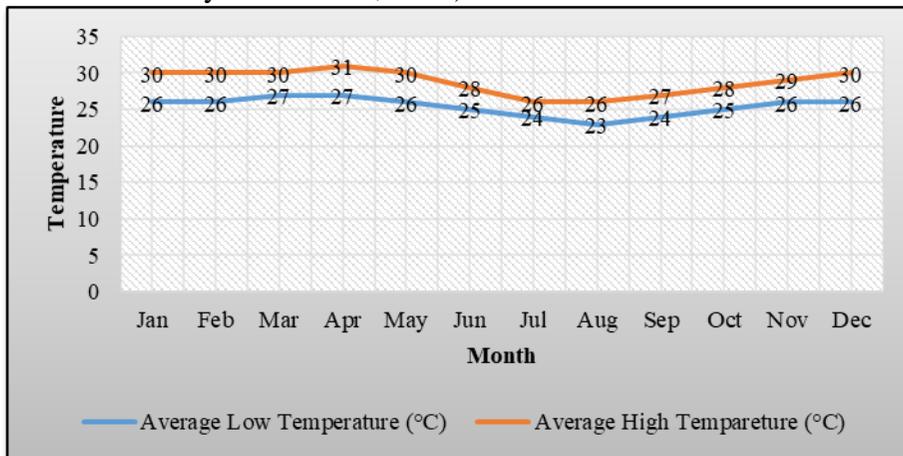


Figure 2: Monthly Average Temperature (°C) Graph for Ejisu

2.2 Adopted CS

Ejisu_1, an MTN cell site located in Ejisu, was chosen for the study. The dimension of the shelter is 3 m × 2.47 m × 2.45 m (L × B × H). The shelter is a movable sealed cabin consisting of sandwiched insulated panels between galvanised pre-coated steel sheets with polyurethane as a filling material. The floor is comprised of thick marine plywood with PVC antistatic flooring on top. A secondary slanting roof protects The primary roof from direct sunlight and moisture. Heavy-duty hinges hold the door in place. The shelter is mounted on a concrete pedestal and is supported by a galvanised I-beam base frame. The shelter has no windows; however, it does include a Roxtec access point for a cable. Two DC split air conditioners have been fitted for cooling. Figure 3 is a picture of the Ejisu_1 Cell Site Shelter.



Figure 3: Shelter in Ejisu_1 Cell Site

2.3 Design Concept and Criteria

Figure 4 (Zhang et al., 2014) depicts a sketch of the proposed FC system in action in a typical shelter. The external walls are where the fans and filters are mounted. The control system controls the fans and air conditioners in two ways:: the air conditioners are turned on while the fans are turned off, or the air conditioners are shut off while the fans are turned on.

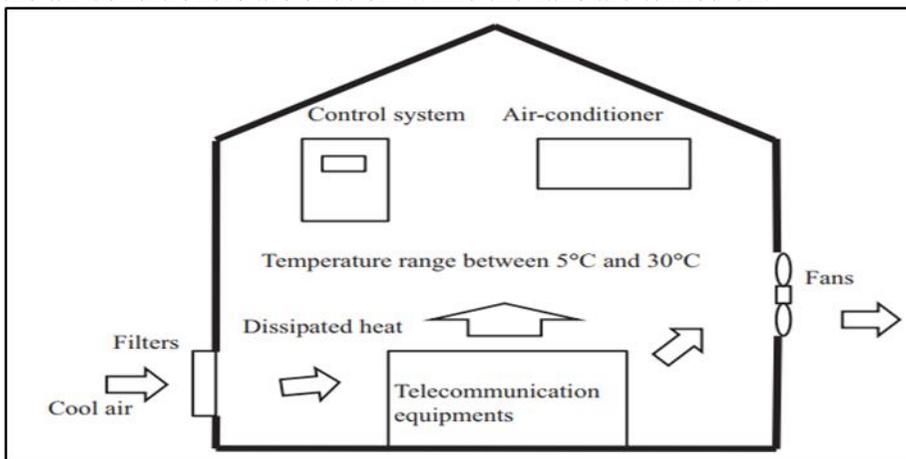


Figure 4: Sketch of the proposed AC and FC System

2.4 Creation of Shelter Geometry and Meshing

SOLIDWORKS 2017 Software was used to create the shelter (Figure 5). Then with ANSYS 19 workbench a mesh (Figure 6) is generated with 91922 nodes and 494779 elements. A set-up of the solver and physical models is done in the ANSYS 19 workbench to compute and monitor the solution after the meshing is finished.

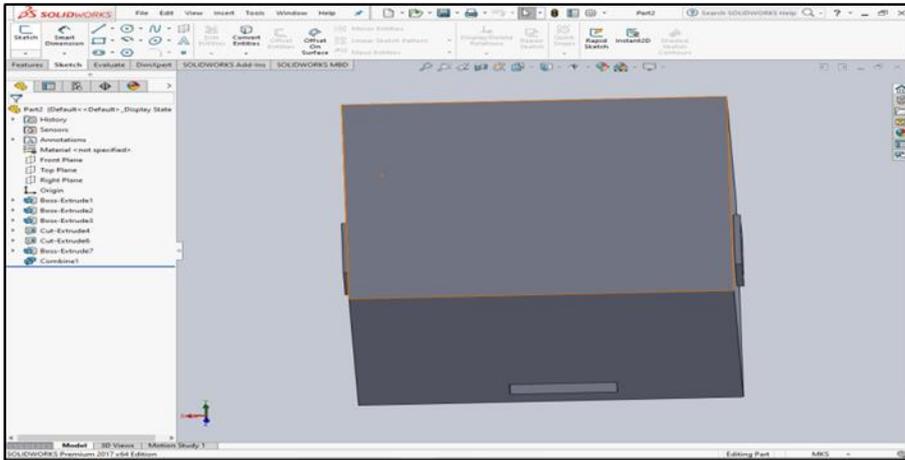


Figure 5: Geometry of the Shelter

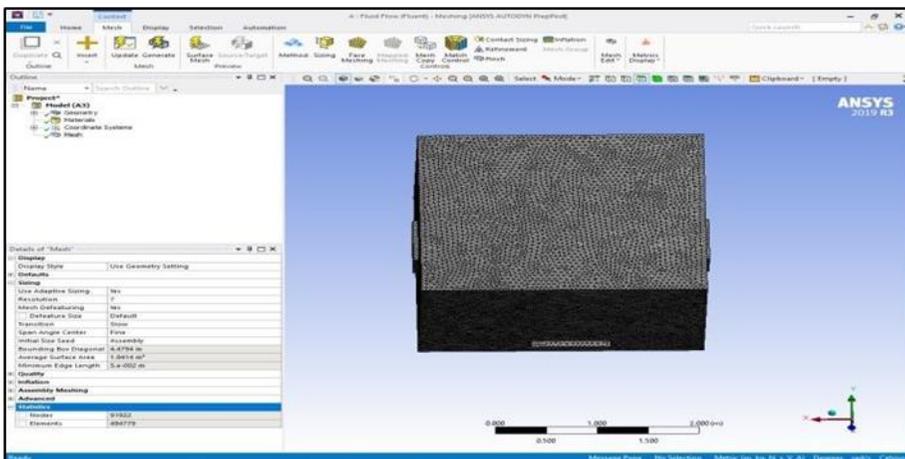


Figure 6: Generated Mesh

2.5 Positioning of the Inlet and Outlet Window

The location of the inlet and outlet window on the shelter plays a significant role in the efficiency of the dissipation of the heat generated by the installed equipment. Their location affects the air velocity distribution shelter's air velocity distribution (Chen et al., 2009). The positioning of the windows is analysed using a computational fluid dynamics simulation herein. With the shelter dimensions, three scenarios of different sets of window heights are examined, namely:

- i. The inlet window is 0.5 m high, and the outlet window is 1.5 m high;
- ii. The inlet window and outlet window are both 1.0 m high;
- iii. The inlet window is 1.5 m high, and the outlet window is 0.5 m high.

For the three aforementioned scenarios, the following assumptions were made to simulate the set of window heights where the best heat dissipation would be:

- i. The shelters will have at least three Aviat transmission equipment, one Huawei BBU, and auxiliary equipment;
- ii. There is no mixing of the hot air (generated in the shelter) with the cool air coming from outside into the shelter;
- iii. The amount of heat generated by all auxiliary equipment is negligible;
- iv. Temperature contours and Velocity contours for the shelter are simulated with velocity = 500 m/s; and
- v. The temperature in the shelter is 50 °C (323.15 K).

2.6 Size of Inlet and Outlet Window

Heat dissipation in the shelter is greatly influenced by the size and design of the inlet and outlet windows. The shape can affect the effectiveness of the airflow. Long horizontal strip windows can help to ventilate a space evenly. Tall windows with top and bottom openings can employ convection and outside breezes to take the hot air out through the top of the room while giving cool air at the bottom. A smaller inlet can, however, be combined with a bigger exit opening to improve cooling efficiency. In this setup, the velocity of the input air can be increased. Because the same amount of air must flow through both the larger and smaller apertures in the same amount of time, the smaller opening must pass through faster (Sacht and Lukiantchuki, 2017).

2.7 Equipment Installed in the Shelter

Tables 1, 2, and 3 give the power consumption and operating temperature ranges of the installed Converged Transport Router (CTR), Extended Intelligent Node Unit (INUe), and Huawei BBU in the shelter.

Table 1: Power Consumption and Operating Temperature of the Installed Equipment

Equipment	Power Consumption Range (W)	Operating Temperature Range (°C)
CTR	30 - 200	-5 ° to +55

(Source: Aviat Networks, 2018)

Table 2: Power Consumption and Operating Temperature of the Installed Equipment

Equipment	Power Consumption Range (W)	Operating Temperature Range (°C)
INUe	15 - 54	-5 to +55

(Source: Aviat Networks, 2010)

Table 3: Power Consumption and Operating Temperature of the Installed Equipment

Equipment	Power Consumption Range (W)	Operating Temperature Range (°C)
Huawei BBU3900	200 - 325	-20 to +55

(Source: Huawei Technologies, 2011)

2.8 Mathematical Modeling of Heat Generated

This study is conducted over 12 hours, from 6 pm to 6 am, using the day and night annual climatic data obtained from AccuWeather Inc (Local, National, & Global Daily Weather Forecast | AccuWeather, n.d.). This time was chosen because the outside temperature is at its lowest compared to the daytime and call traffic is at its lowest at night. With the 12 hours in mind, it is assumed that there will not be conduction and convection across the roof and walls of the shelter, thus, $Q_{EVN} = 0$, no solar radiation absorption on the walls and roof of the shelter, thus, $Q_{SOL} = 0$, and infiltration of warm outdoor air through openings in a shelter will not happen, thus, $Q_{INF} = 0$, rather heat will move out of the shelter through-hole and gaps in the shelter. Thus, Equation (1) can be simplified as Equation (3):

$$Q_{COOL} = Q_{IT} \quad (3)$$

2.8.1 Heat Gain from a Piece of Equipment

Also, the heat gain from a piece of equipment can be calculated using Equation (4) (Bhatia, 2001):

$$Q_E = Q_{in} \times Fu \times [CLF] \quad (4)$$

where, Q_E = heat gain from equipment
 Q_{in} = $3.14 \times$ Power rating (Watts) of equipment
 Fu = usage factor
 CLF = cooling load factor

The rated energy input from appliances (Q_{in}) is obtained from the power rating (Watts) of the appliance provided on the nameplate. Fu can be obtained from the ASHRAE handbooks. $CLF = 1.0$ and latent load = 0, if a piece of equipment runs continuously for 24 hours (Bhatia, 2001).

2.8.2 Power Consumption of Fan and Air Conditioners

Equation (5) (Electricity Calculator: Power Consumption kWh Estimator, 2023) is used to compute the power consumption of an electrical appliance based on the capacity of the appliance and the number of hours and days it has been working.

$$W_{kh} = N_h \times N_d \times W_k \quad (5)$$

where, W_{kh} = electrical appliance consumption (kWh)
 N_h = number of hours used
 N_d = number of days used
 W_k = capacity of appliance (kW)

2.9 Energy Saving Analysis

The system's savings are calculated by calculating the percentage of time the AC is turned off and the FC is turned on during the year. Since it is assumed that the system operates for 12 hours, the AC consumption to be considered is half of the annual AC consumption; thus, $C_{12} = 0.5A_{AC}$, and the energy savings are calculated using Equation (6), Equation (7) and Equation (8).

$$P_{AC} = A_{PAC} \times C_{12} = A_{PAC} \times 0.5A_{AC} \quad (6)$$

$$P_{FC} = A_{PFC} \times A_{FG} \quad (7)$$

$$\text{Energy Savings} = C_{12} - (P_{AC} + P_{FC}) \quad (8)$$

where, A_{AC} = annual AC consumption
 A_{FG} = annual FG consumption
 C_{12} = consumption within 12 hours
 P_{AC} = annual share of AC consumption
 P_{FC} = annual share of FC consumption
 A_{PAC} = annual percentage share of AC consumption
 A_{PFC} = annual percentage share of FC consumption

2.10 Cooling Load Simulation

The cooling load for a shelter is calculated by obtaining the sum of the heat generated by the baseband unit, transmission equipment, and other electronic equipment installed in the shelter. The temperature in the shelter is obtained from the mathematical relation in Equation (9):

$$\Delta T = \frac{Q}{C \times m} \quad (9)$$

where, ΔT = resulting temperature change ($^{\circ}\text{C}$ or $^{\circ}\text{K}$)
 Q = quantity of heat transferred (kWh)
 C = specific heat capacity of the material (kJ/kg/ $^{\circ}\text{K}$)
 m = mass of the object (kg)

2.11 Heat Removal Method and Number of Fans for FG

The objective of the FCS is to keep the internal temperature of the shelter low for an extended period before an AC takes over. To achieve this objective, several airflows - Cubic Feet Per Minute (CFM) - must move through the shelter to ensure heat is adequately dissipated.. In general, airflow can be computed using Equation (10) (Kingenuity (2022)).

$$CFM = \frac{BTUH}{\Delta T \times 1.08} \tag{10}$$

where, CFM = a measure of airflow in Cubic Feet per Minute

BTUH = British Thermal Units per Hour

1.08 = convenience factor

ΔT = change in temperature ($^{\circ}F$)

Once the CFM required to dissipate the quantity of heat in the shelter has been determined, it is compared to the CFM of a single fan to calculate the number of fans that can comprise the fan group using Equation (11).

$$N_f = \frac{CFM}{CFM_f} \tag{11}$$

where, CFM = a measure of airflow in Cubic Feet per Minute

N_f = number of fans required

CFM = stated CFM per fan

2.12 AC/FC Control System

MATLAB release 2015a simulates the control system for the switch between AC and FC. Two variable inputs, "shelter indoor temperature" and "shelter ambient temperature" and fuzzy controller output. A set of rules is chosen to relate the shelter temperature, ambient temperature, and fuzzy controller output. The combination of rule statements created is shown in Table 4.

Table 4: Set of Rules for the Created Fuzzy Controller

No.	Shelter Temperature	Ambient Temperature	Fuzzy Controller Output
1	Low	Low	FC
2	Low	Normal	FC
3	Low	Unfavorable	AC
4	Normal	Low	FC
5	Normal	Normal	FC
6	Normal	Unfavorable	AC
7	High	Low	FC
8	High	Normal	FC
9	High	Unfavorable	AC

3. Results

3.1 Inlet and Outlet Window Positioning

A plane is inserted into the meshed shelter geometry created to examine the velocity distribution of air in detail. The plane goes across the center of the shelter as seen in Figure 7.

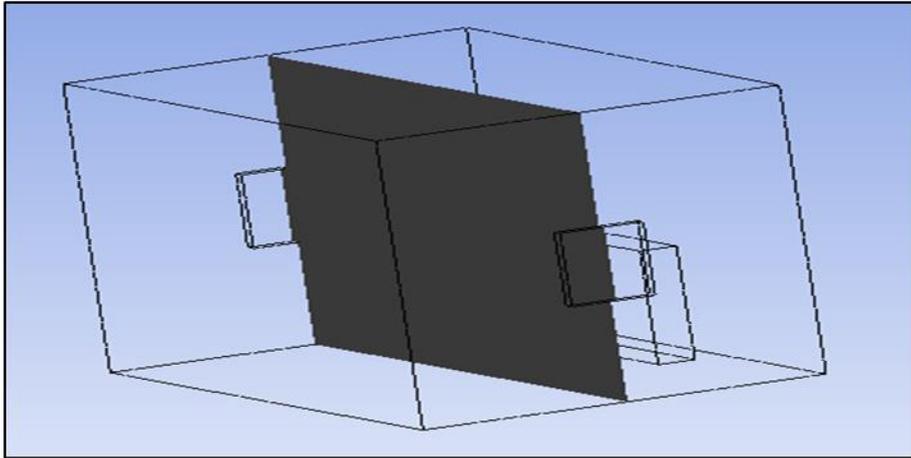
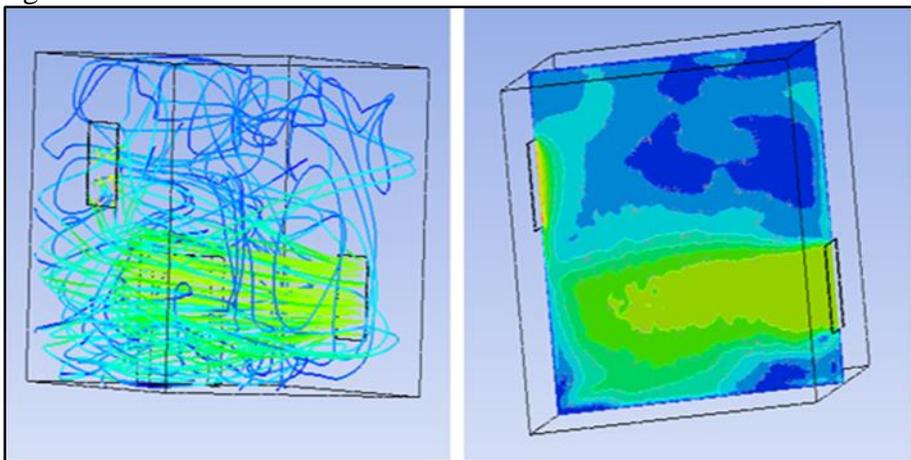


Figure 7: Plane in the Middle of the Geometry

3.1.1 Airflow Pattern

The airflow pattern, represented by Velocity Contours and Velocity Streams, through the input and output windows of the shelter, can be observed in Figure 8 for the inlet window at 0.5 m high and the outlet window at 1.5 m high, Figure 9 for the inlet window and outlet window are both 1.0 m high, and Figure 10 for the inlet window at 1.5 m high and the outlet window at 0.5 m high.



(a)

(b)

Figure 8: Velocity Contours (a) and Velocity Streams (b)

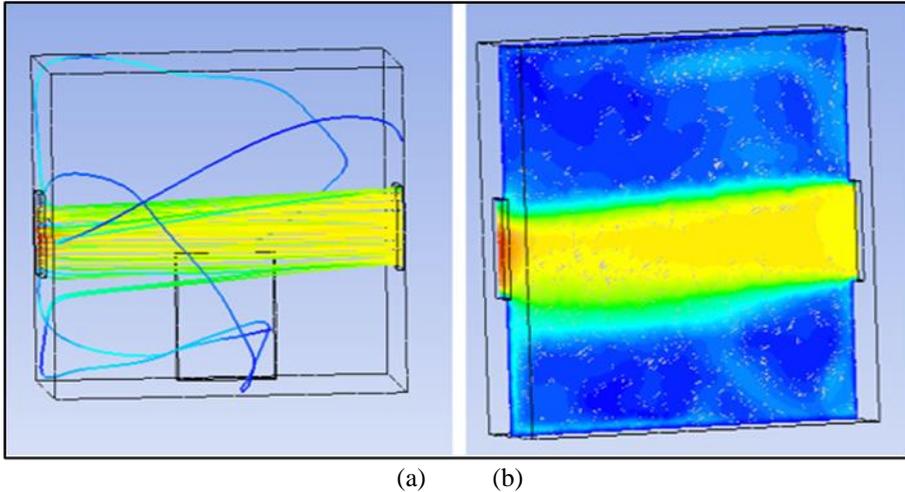


Figure 9: Velocity Contours (a) and Velocity Streams (b)

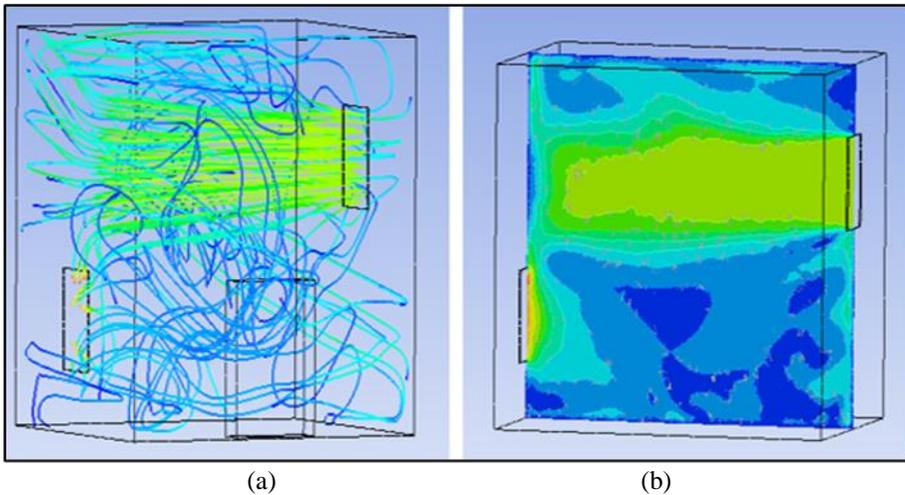


Figure 10: Velocity Contours (a) and Velocity Streams (b)

3.2 Heat Generated in the Shelter

The maximum power listed on the nameplate of installed equipment is used to calculate the heat generated when it is operating at full capacity. With Table 1, Table 2, and Table 3, the heat generated by Aviat CTR8540, Aviat INUe and Huawei BBU3900 is obtained as 628 W, 169.56 W and 1020.5 W, respectively.

3.3 Total Cooling Load (TCL)

The total quantity of heat generated in the shelter is given as the sum of heat generated by the total equipment installed in the shelter. This is obtained to be:

$$TCL = (2 \times 628 \text{ W}) + 169.56 \text{ W} + 1020.5 \text{ W} = 2446.06 \text{ W} \approx 8346.30 \text{ BTUH} \quad (12)$$

3.4 Number of Fans Proposed for FG

The specifications for an EBM 6448 DC fan utilised in the analysis are shown in Table 5 below.

Table 5: Features of the EBM 6448 DC Fan

Features	Values
Air Flow [m ³ /h]	410
CFM	241
Nominal Voltage [V]	48
Voltage Range [V]	28...60
Noise [db]	57
Power Input [W]	17
Min. Temperature Range [°C]	-20
Max. Temperature Range [°C]	72

(Source: EBM Papst., 2019)

With Equation (10), Equation (11) and Table 5 the number of fans necessary for an FG is obtained as:

$$N_f = \frac{858.67}{241} = 3.56 \approx 4 \quad (13)$$

3.5 Annual AC Power Consumption (A_{AC}) and FG Power Consumption (A_{FC})

Table 6 summarises the yearly power consumption and energy savings based on the rated input power of the installed equipment (AC and FG), the number of hours they run per day, and the number of days in a year.

Table 6: Summary of power consumption

Item	Rated Input Power (W)	Number of Hours	Number of Days	Annual Power Consumption (kWh)
AC	1800	24	365	15768
FC	68	24	365	595.68

3.6 Operation of AC and FC Systems Using 1989-2019 Data

The average monthly climatic data for Ejisu collected over the last 30 years obtained from AccuWeather (Local, National, & Global Daily Weather Forecast | AccuWeather, n.d.), is analyzed to ascertain the share of AC and FC for a set temperature threshold of 25 °C in the shelter and it is presented in Figure 11 and Figure 12.

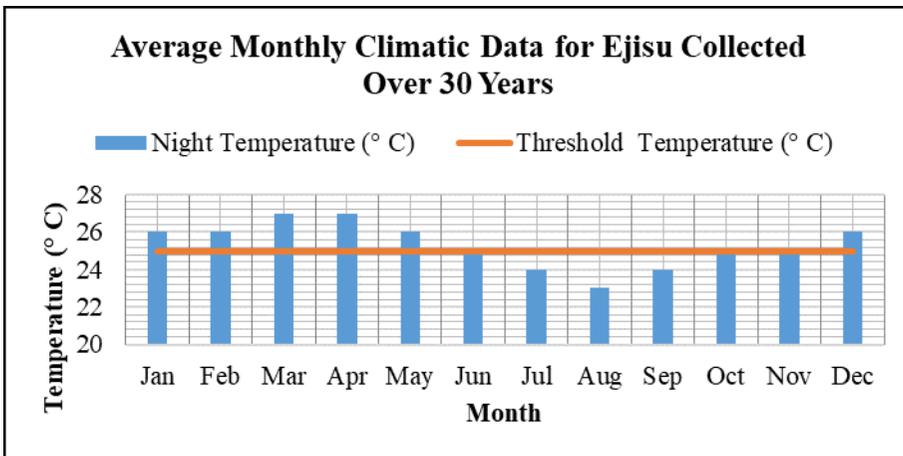


Figure 11: Graph of Average Temperature (°C) against Month

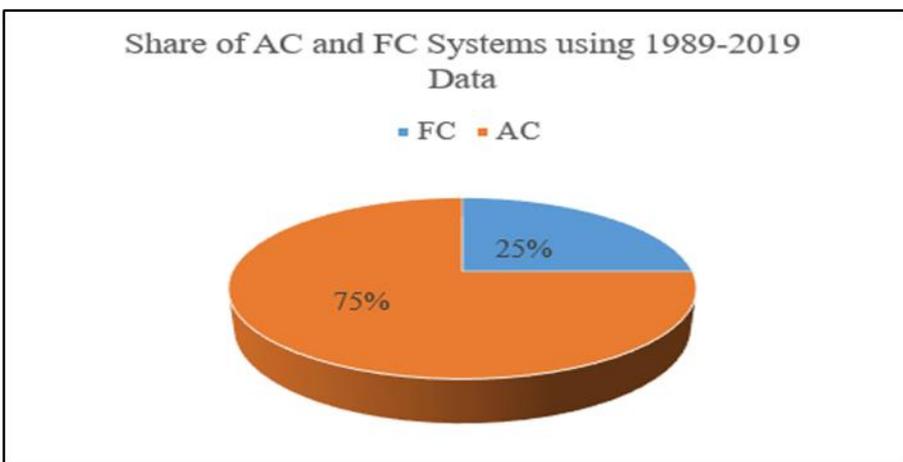


Figure 12: Share of AC and FC Systems using 1989-2019 Data

3.7 Operation of AC and FC Systems Using 2020, 2021 and 2022 Data

3.7.1 Share of AC and FC for 2020

Figure 13 displays the proportion of AC and FC at 25 °C and 30 °C in 2020, using weather data from AccuWeather.

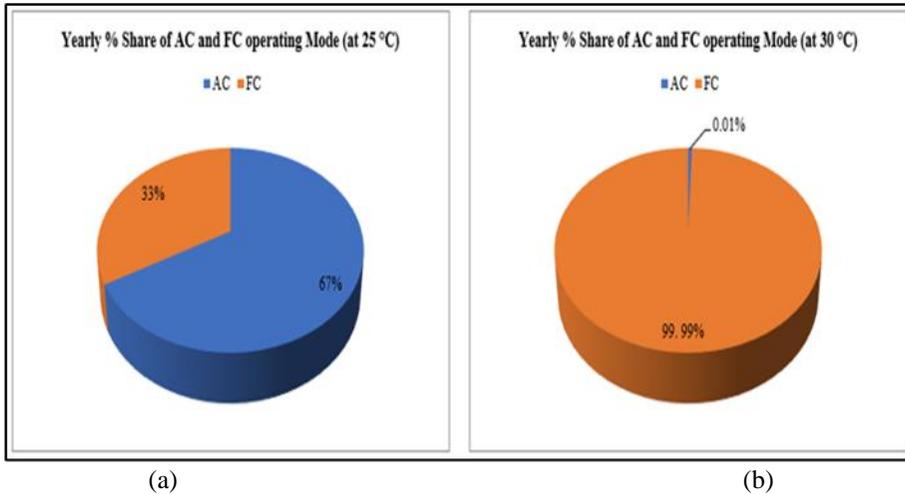


Figure 13: Share of AC and FC (a) at 25 °C and (b) at 30 °C in 2020

3.7.2 Share of AC and FC for 2021

Figure 14 displays the proportion of air conditioning (AC) and fan cooling (FC) at 25 °C and 30 °C in 2021, using weather data obtained from AccuWeather.

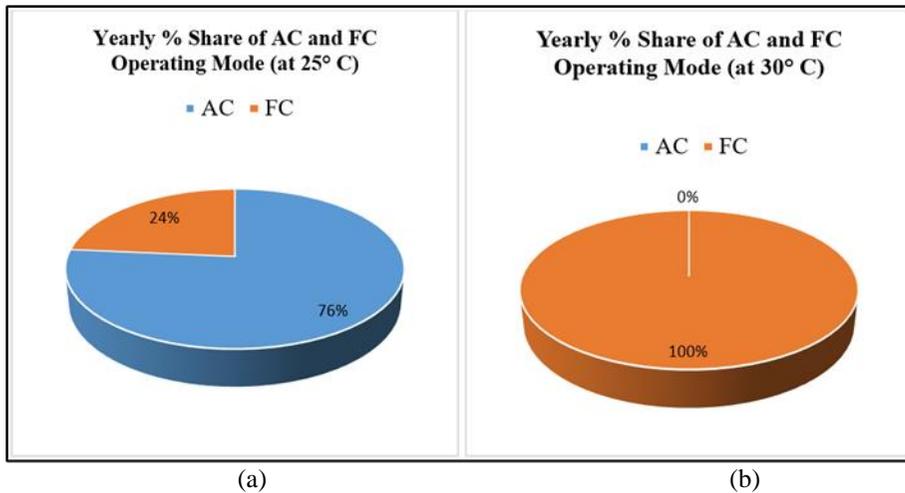


Figure 14: Share of AC and FC in 2021 (a) at 25 °C and (b) at 30 °C

3.7.3 Share of AC and FC for 2022

Figure 15 shows the percentage share of AC and FC at 25 °C and 30 °C in 2022 using weather information from AccuWeather.

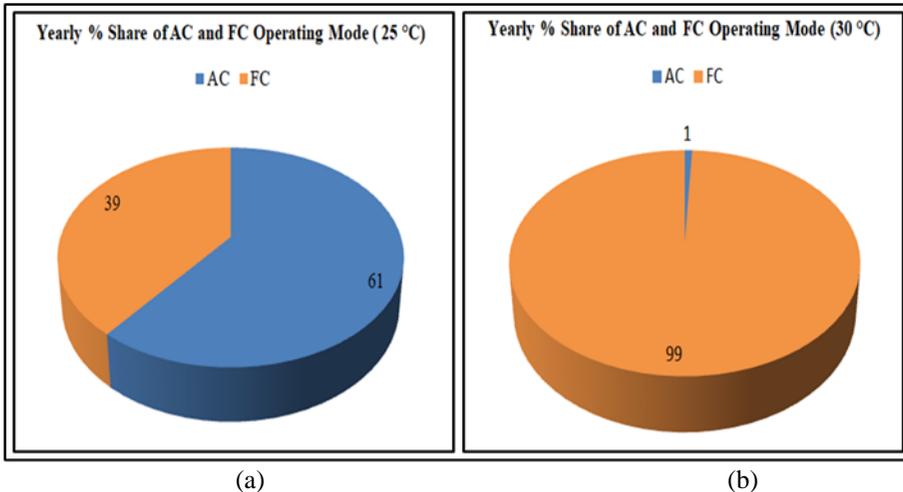


Figure 15: Share of AC and FC in 2022 (a) at 25 °C and (b) at 30 °C

3.8 Calculation of Energy Consumption and Savings for 2020, 2021 and 2022

The energy consumption and savings for 2020, 2021, and 2022 are summarized in Table 7 below.

Table 7: Summary of Approximate Energy Consumption and Energy Savings

Year	Temperature	A_{PAC}	A_{PFC}	C_{I2}	P_{AC}	P_{FC}	Approximate Energy Consumption	Approximate Energy Savings
2020	25 °C	67%	33%	7884 kWh	5282.28 kWh	196.57 kWh	5478.85 kWh	7287.59 kWh
	30 °C	0.01%	99.99%	7884 kWh	0.79 kWh	595.62 kWh	596.41 kWh	7287.59 kWh
2021	25 °C	76%	24%	7884 kWh	5991.84 kWh	142.96 kWh	6134.80 kWh	1749.20 kWh
	30 °C	0%	100%	7884 kWh	00.00 kWh	595.68 kWh	595.68 kWh	7288.32 kWh
2022	25 °C	61%	39%	7884 kWh	4809.24 kWh	232.32 kWh	5041.56 kWh	2842.44 kWh
	30 °C	1%	99%	7884 kWh	78.84 kWh	589.72 kWh	668.56 kWh	7215.44 kWh

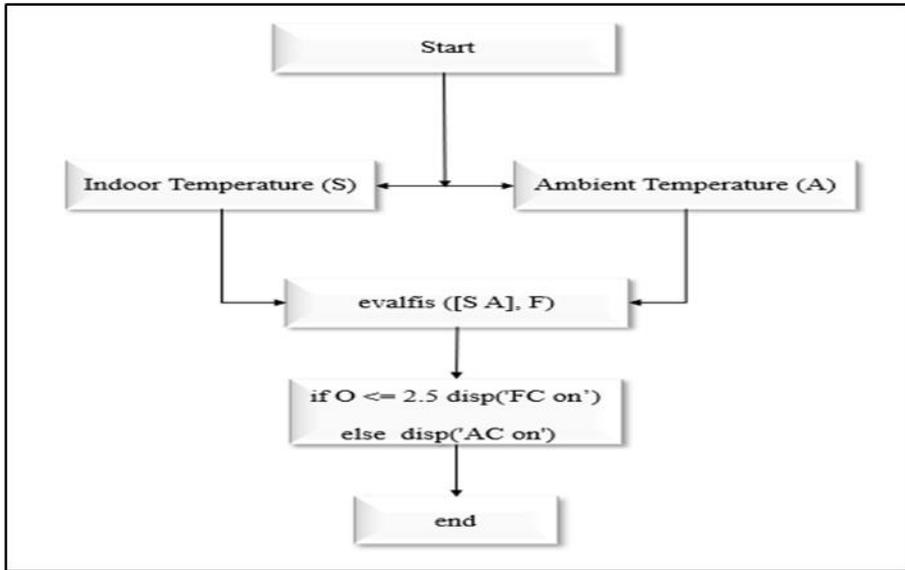


Figure 16: Flow Chart of Control Code

3.9 Control Strategy

Figure 16 above depicts the control code flowchart that compares the indoor and exterior shelter temperatures with the indoor set threshold temperature and sends a signal to activate or deactivate the AC/FC.

4. Discussion

4.1 Airflow Pattern Analyses

From section 3.1.1, the airflow pattern analysis is done. A jet-like flow of air is forced into the room by the inlet window. The airflow follows the path until it strikes the internal shelter wall surface, then bounces back into the shelter, as shown in Figures 3.3 and 3.5. It circulates for a short time throughout the space before exiting through the outlet window. Heat is recirculated in the shelter before some are transported out later. In Figure 3.4, the air flows into the shelter through the inlet window, then promptly moves out of the shelter and carries any heat on its passage through the outlet window. The shelter with an inlet window and an outlet window, both at 1.0 m high, has the most efficient heat dissipation potential compared to the shelter with an inlet window at 0.5 m high and an outlet window at 1.5 m high and the shelter with an inlet window 1.5 m high and an outlet window 0.5 m high.

4.2 Heat Generated in the Shelter

The heat produced when installed equipment runs at maximum capacity is determined using the maximum power indicated on the equipment nameplate. It is computed how much heat each unit produces. Following the

calculation of the total amount of heat produced in the shelter using the combined output of two CTRs, one INUe, and one Huawei BBU. It comes out to be approximately 8346.30 BTUH.

4.3 Number of Fans

At least four fan units are computed to be a part of the proposed fan group. The fans are arranged in parallel in the same fashion as in Figure 17 with dimensions of 344 mm × 300 mm × 51 mm (LWH). The fans are side-by-side to push air in the same direction so that their overall output increases the airflow volume.

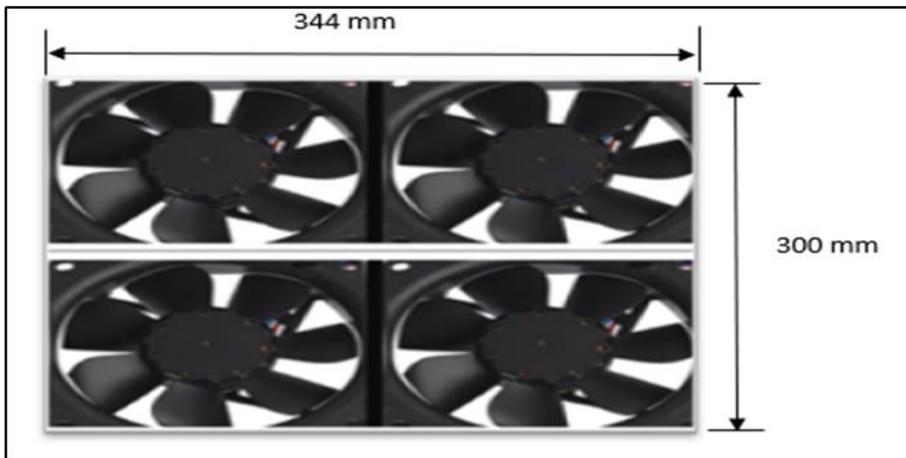


Figure 17: Proposed Fan Group

4.4 Annual Power Consumption

Annual AC power consumption is 15768 kWh, with the annual fan group consumption being 595.68 kWh. The AC consumes roughly 26 times the amount of energy the fan group uses.

4.5 Percentage Share of AC and FC Systems Using 1989-2019 Data

From section 3.7, It is observed from Figure 3.6 that FC operates in July, August, and September while AC operates for the remaining months. The percentage share of AC and FC operating modes is 75% and 25%, respectively, as shown in Figure 3.7. Thus, there will have been some savings in energy. At a set temperature threshold of 25 °C and the average monthly climatic data for Ejisu collected over the last 30 years, it is observed that FC is active only in July, August, and September, representing around 25% of the time, and AC runs about 75% of the time.

4.5.1 Operation of AC and FC Systems Using 2020, 2021 and 2022 Data

The share of AC and FC operating modes is analyzed using the weather data obtained from AccuWeather in 2020, 2021, and 2022 (Local, National, & Global Daily Weather Forecast | AccuWeather, n.d.). The analysis herein is done between 6 pm and 6 am. Initially, it is done for 25 °C, then considering the operating temperature range (-5 °C to +55 °C) of the installed equipment, the indoor temperature threshold is increased from 25 °C to 30 °C to help examine the change in share of AC and FC operating modes.

Percentage Share of AC and FC for 2020

It can be seen in Figure 3.8 that for a temperature threshold of 25 °C, the annual percentage share for the two operating modes is approximately 67% and 33% for AC and FC, respectively. When the temperature threshold is increased from 25 °C to 30 °C, the percentage share is approximately 0.01% for AC and 99.99% for FC. The percentage share of FC increases when the indoor set temperature threshold is increased from 25 °C to 30 °C

Percentage Share of AC and FC for 2021

Figure 3.9 reveals that, at a temperature threshold of 25 °C, the yearly percentage share for AC and FC are approximately 76% and 24%, respectively. When the temperature threshold is adjusted from 25 °C to 30 °C, the percentage share of AC decreases to 0% and FC increases to 100%.

Percentage Share of AC and FC for 2022

For the weather data obtained in 2022, the share of AC and FC are shown in Figure 3.10. At an indoor set temperature threshold of 25 °C, the yearly percentage share for AC and FC are approximately 61% and 39%, respectively. When the indoor set temperature threshold is adjusted from 25 °C to 30 °C, the percentage share of AC decreases to 1% and FC increases to 99%.

4.6 Energy Savings

With the calculated yearly power consumption of the split AC being 15768 kWh and FG estimated to be 1191.36 kWh, the energy consumption and savings are calculated for 2020, 2021, and 2022 in section 3.9.1, section 3.9.2 and section 3.9.3 respectively. Below is a Table summarizing the year, temperature and the approximate energy savings obtained.

Table 8: Summary of the Year, Temperature, and Approximate Energy Savings

Year	Temperature	Approximate Energy Savings
2020	25 °C	2405.15 kWh
	30 °C	7287.59 kWh
2021	25 °C	1749.20 kWh
	30 °C	7288.32 kWh
2022	25 °C	2842.44 kWh
	30 °C	7215.44 kWh

Conclusions

The shelter with the inlet and outlet windows at the same height has the most efficient heat dissipation potential. The air enters the shelter through the inlet window and exits through the outlet window without recirculating in the shelter.

The proportion of free cooling increases as the set temperature threshold is increased. As a result, operating telecom equipment at high temperatures while running FC can reduce a CS's energy consumption.

The proportion of free cooling increased during the cold months (June through to September) while decreasing during the warmer months.

Most CSs in Ghana will save significant energy when FC is run at a set temperature threshold of 30 °C or higher.

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. Aviat Networks (2010). *Eclipse Powers Wireless Backhaul Networks ETSI Datasheet*. Aviat Networks Inc. U.S. 1-12.
2. Aviat Networks (2018). *Aviat Networks CTR 8540 Microwave Router Aviat CTR8540 Data Sheet*. Aviat Networks Inc. U.S. 1-2.
3. Ayang, A., Ngohe-Ekam, P. S., Videme, B., & Temga, J. (2016). Power Consumption: Base Stations of Telecommunication in Sahel Zone of Cameroon: Typology Based on the Power Consumption—Model and Energy Savings. *Journal of Energy*, 2016, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2016/3161060>.
4. *Besttravelmonths.com - The best time to visit every destination*. (2023, December 26). Besttravelmonths.com. <https://www.besttravelmonths.com> Accessed: May 18, 2021.

5. Bhatia, A. (2001). Cooling load calculations and principles. *Continuing Education and Development, Inc. New York*, 877, 39.
6. Bhongde, S. K., Bhoyar, D. B., & Mohad, S. (2016, February). Strategy for power consumption management at base transceiver station. In *2016 World Conference on Futuristic Trends in Research and Innovation for Social Welfare (Startup Conclave)* (pp. 1-4). IEEE.
7. Chen, Y., Zhang, Y., & Meng, Q. (2009). Study of ventilation cooling technology for telecommunication base stations in Guangzhou. *Energy and Buildings*, 41(7), 738-744.
8. Dokkar, B., Chennouf, N., Dokkar, A., Gouareh, A., & Dokkar, M. (2016). Contribution in reducing energy consumption of telecom shelter. *Int. J. Energy Environ.*
9. EBM Papst. (2019). *Compact Fans for AC, DC and EC*, EBM Papst. St. Georgen GmbH & Co. KG. Germany, 69.
10. Electricity Calculator: Power Consumption kWh Estimator (2023), "SaveOnEnergy.com", <https://www.saveonenergy.com/resources/energy-consumption/> Accessed: September 27, 2023.
11. Fabbri, G., Cardoso, A. J. M., Boccaletti, C., & Girimonte, A. (2011, October). Control and optimisation of power consumption in Radio Base stations. In *2011 IEEE 33rd International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)* (pp. 1-6). IEEE.
12. Gözcü, O., & Erden, H. S. (2019). Energy and economic assessment of major free cooling retrofits for data centers in Turkey. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 27(3), 2097-2212.
13. Haghghi, E. B. & Ghanbarpour, M. (2016). A hybrid cooling system for telecommunication base stations," IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC), Austin, TX, USA, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/INTLEC.2016.7749149.
14. Haghghi, E. B. (2015, October). The effect of free cooling on reducing total energy consumption for telecommunication base stations. In *2015 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)* (pp. 1-5). IEEE.
15. Haghghi, E. B. (2016, October). Free cooling: A complete solution on reducing total energy consumption for telecommunication base stations. In *2016 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)* (pp. 1-6). IEEE.
16. Haghghi, E. B. (2017a, October). Displacement free cooling for telecommunication base stations. In *2017 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)* (pp. 54-58). IEEE.

17. Haghghi, E. B. (2017b, October). Free cooling and indoor humidity level in telecommunication base stations. In *2017 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)* (pp. 80-84). IEEE.
18. Huawei Technologies (2011). *GBSS9.0 DBS3900 Product Description*, Huawei Technologies Co. Ltd., No. V2.1, pp. 25-27.
19. Huttunen, J., Salmela, O., Volkov, T., & Pongrácz, E. (2020, September). Reducing the Cooling Energy Consumption of Telecom Sites by Liquid Cooling. In *Proceedings* (Vol. 58, No. 1, p. 19). MDPI.
20. Kemp, S. (2021, February 11). *Digital in Ghana: All the Statistics You Need in 2021 — DataReportal – Global Digital Insights*. DataReportal – Global Digital Insights. <https://datareportal.com/reports/digital-2021-ghana>. Accessed: April 18, 2022.
21. Kingenuity (2022, March 4). *HVAC AIR FLOW CALCULATIONS*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=6Z5ymsIdkh0>
22. *Local, National, & Global Daily Weather Forecast | AccuWeather*. (n.d.). AccuWeather. <https://www.accuweather.com>. Accessed: October 25, 2021.
23. Petraglia, A., Spagnuolo, A., Vetromile, C., D'Onofrio, A., & Lubritto, C. (2015). Heat flows and energetic behavior of a telecommunication radio base station. *Energy*, 89, 75-83.
24. Sacht, H., & Lukiantchuki, M. A. (2017). Windows size and the performance of natural ventilation. *Procedia engineering*, 196, 972-979.
25. Schmidt, R. R., & Shaukatullah, H. (2002, May). Computer and telecommunications equipment room cooling: a review of literature. In *ITherm 2002. Eighth Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (Cat. No. 02CH37258)* (pp. 751-766). IEEE.
26. Silva, P. D. D., Pires, L., Patrício, C., & Gaspar, P. D. (2017). Characterisation of the thermal performance of an outdoor telecommunication cabinet. *International Journal of Energy Production and Management*, 2(1), 106-117.
27. Venkatesan, K., & Ramachandraiah, U. (2016). Energy Conservation for Base Transceiver Station Cooling System with Energy Plus Software. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(39).
28. Zhang, H., Shao, S., Tian, C., & Zhang, K. (2018). A review on thermosyphon and its integrated system with vapor compression for free cooling of data centers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 789-798.

29. Zhang, H., Shao, S., Xu, H., Zou, H., & Tian, C. (2014, July). Free cooling of data centers: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 171–182. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.017>.
30. Zhou, F., Chen, J., Ma, G., & Liu, Z. (2013). Energy-saving analysis of telecommunication base station with thermosyphon heat exchanger. *Energy and Buildings*, 66, 537-544.

Design Proposal of a Smoker-Dryer for Chicken

Alphonse Sawalda Guidzavai

Ngasop Ndjiya

Jean Hilaire Tchami

Department of Electrical Engineering, Energy and Automation, National School of Agro-Industrial Sciences, University of Ngaoundere, Cameroon

Nicolas Njintang

Department of Food Sciences and Nutrition, National School of Agro-Industrial Sciences, University of Ngaoundere, Cameroon

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p49](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p49)

Submitted: 16 March 2024

Accepted: 01 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Guidzavai, A. S., Ndjiya, N., Tchami, J. H., & Njintang, N. (2024). *Design Proposal of a Smoker-Dryer for Chicken*. *European Scientific Journal, ESJ*, 20 (18), 49.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p49>

Abstract

Chicken breeders, particularly those in Ngaoundéré-Cameroon, after 45 days of breeding find themselves confronted with the problem of wasting nutrients and resources. In most cases, they sell their chicken at low prices to avoid expenses. Faced with these difficulties, some of them use various methods to preserve their chicken after 45 days of breeding, including cold preservation, smoking, and drying. Cold preservation is the most widely used technique, but this technique is energy-intensive, without forgetting the untimely power cuts and the deterioration of the quality of the product. By getting closer to its stakeholders, we were able to identify their difficulties and why they use cold preservation more, and they also entrusted us with the characteristics of equipment that could meet their requirements. In this article, we present the results from functional analysis to 3D modeling through the search for solutions to resolve contradictions. It emerges from this study that the model designed guarantees food safety and user safety, retains all nutrients, is ergonomic, uses fewer resources, is fast, and is adaptable to any type and size of the smoking product. We produced the designed model capable of containing 12 chickens, and we carried out the experiments in order to validate the model.

Keywords: Design, smoker, dryer, modelization, Triz

Introduction

Chickens are used as one of the best sources of animal protein for low-income populations and are therefore receiving increasing attention worldwide. The interest in this is booming; it is mainly influenced by the global quest to satisfy the needs of meat products among the inhabitants, which continues to increase. Furthermore, it is well known that there are currently few technical alternatives to meat products for their nutritional contributions to the human body. Hence, the increasing attention devoted to chicken as the best source of animal protein and low-fat.

In Cameroon, and even in the world, the vast majority of the chicken production chain is sold after 45 days of breeding. However, a weak link remains: conservation, given that it is a product with a high water content that decomposes quickly after slaughter. If conservation equipment exists, such as refrigerators, dryers, smokers, etc., they do not allow peaceful processing to take place without altering the quality of the finished product or making consumers and processors sick.

Indeed, cold storage has the disadvantage of being supplied with electrical energy for the entire storage period and of consuming excessive electrical energy. Smoking is hard for those involved in processing, which causes health problems including back pain, burns, eye problems, and common colds. It also degrades the quality of the finished product and consumes enough fuel from leaves, including wood, sawdust, dried dead trees, old cardboard, etc. Drying causes losses of around 50% and a loss of time of around 5 hours to a few days. It is therefore necessary to develop a conservation system guaranteeing food safety and improving conditions for processors.

With this in mind, the main objective of this work is to design chicken smoking-drying equipment, taking into account the requirements of future users. More specifically, we will have to determine the physical properties of chicken meat, analyze the needs, and model the process.

Literature review

Poultry meat is the one whose consumption is increasing the fastest in the world since the 1970s, to the point where it became the most consumed meat in the world in 2016 and helped double global consumption. The FAO estimates that poultry meat consumption is expected to increase by 120% between 2005 and 2050, which can be explained by a demographic effect and an increase in per capita consumption, which would have increased from almost 8 kg/capita at the beginning of 2000 to nearly 13 kg/inhabitant in 2021.

Chicken plays a leading role in this evolution thanks to its undeniable advantages, such as accessibility, economic advantages, environmental advantages, absence of religious prohibitions, quality, and nutritional value of products, mainly due to the low-fat content, Senate (2022). Preserving poultry meat or any other meat product in some countries around the world is a challenge due to a lack of electrical power and unexpected power cuts, hence the development of traditional and less expensive preservation techniques such as smoking, drying, salting, frying, fermentation, and many others. Processes such as smoking and indirect drying have a wide variety of physicochemical parameters, thus providing a wider choice to consumers. The many types of smoked-dried foods, such as smoked beef, smoked-dried fish (commonly called Bifaga in Cameroon), etc., are very popular food products, for which this process has made it possible to extend the shelf life and quality and obtain the flavor and texture sought by consumers. Extending shelf life can also affect the nutritional value of foods, such as their vitamin content, CAC/RCP (2009).

Going in the same direction, several studies have emerged in the field of smoking and drying with the aim of improving, ensuring health safety for smoked products, and providing the necessary information linked to a good-quality product. Indeed, according to Vierling (2003), meat is an element that provides proteins because these proteins contain 40% essential amino acids. This food also provides minerals such as phosphorus, iron, etc., as well as vitamins from group B. The lipid content is 1 to 3% in white chicken meat. This is therefore particularly interesting, provided that the skin, which has a high lipid content, is excluded.

For Hamdani (2018), poultry meat represents an essential source of high-quality protein (balanced amino acid content), which gives it significant nutritional value even in small quantities. Poultry meat contains 72.7% water and 26.6% proteins of high biological value. It contains approximately 6% fat in the form of lipid deposits in the skin and inside the abdominal cavity. It also contains mineral elements that are poor in iron but rich in sodium and potassium. The most representative vitamins in chicken meat are vitamins AB, PP, and C. The latter is destroyed during cooking.

Nutritionists agree that the balance of the different fatty acids present in poultry is close to the perfect balance. 25% saturated fatty acids (SFA), 55% monounsaturated fatty acids (MUFA), the latter reducing the level of bad LDL cholesterol, and 20% polyunsaturated fatty acids (PUFA), Roger (2011). However, chicken meat provides appreciable quantities of PUFA, vitamins (B3, B5, B6, B12, etc.), minerals and trace minerals (iron, magnesium, selenium, and phosphorus), and good-quality proteins rich in essential amino acids necessary for muscle growth, particularly in children and adolescents, but also essential for maintaining muscle mass in older people, according to

Roger (2011). Like all meats, it does not contain carbohydrates. Table 1 below shows the chemical composition of chicken as proposed by Ciqual (2007).

Table 1. Chemical composition of chicken (Ciqual, 2007)

For 100 g of meat	Water (g)	Energy (kJ)	Protein (g)	Lipids (g)	Cholesterol (mg)
Raw thigh, meat, and skin	70	832	17	14.8	90
Roasted thigh, meat, and skin	59	962	26	14.2	122
Raw meat and skin	69	738	18	11.6	80
Roasted meat and skin	66	678	26	6.2	90
Raw white	72	489	22	2.9	61
Cooked white	73	523	22	3.9	71

Materials

Vegetal Material

The strain of chicken chosen is the Gallus Gallus domesticus (commonly called broiler chicken) raised in the town of Ngaoundéré. The birds each weigh approximately 2.5 kg after slaughter and the removal of impurities such as feathers, intestines, and others.

Experimental material

- A tape measure (Stanley 34-295) with a measuring capacity of 10 m;
- A portable digital scale (JMH-JADEVER) with a maximum capacity of 5 kg;
- Module thermometer (9290AT) with a measuring range from -50 to +150 °C.

Methods

Perrin (2001) defines a design method as any procedure or technique used by designers when designing a new product. Regarding our work, we used some tools and methods, such as:

- The 40 principles of invention, which are used to resolve a technical contradiction (when we want to improve a characteristic and another characteristic is degraded simultaneously).
- The 39 parameters of Triz. In fact, the 39 parameters are the characteristics that make it possible to define a technical system. Using the TRIZ matrix, which is made up of 39 parameters, we seek to improve one characteristic while preserving others.

- The 120 suggestions, which are proposed solutions for improving a characteristic without degrading another characteristic, Dumont (2010).
- The Triz method, which is an approved algorithmic approach to solving technical problems.
- Functional analysis is a method used at the start of a project to create (design) or improve (re-design) a product. The principle of the method consists of determining the functions of a product.

In the following lines, we will present some of these methods.

Analyze the need

A product only makes sense if it satisfies the user's needs. In other words, we must clearly pose the problem, i.e., define the why of the product? What is it used for? Who does he serve? And for what purpose? Before imposing a how? Or even a solution, as brilliant as it may be, which will probably not meet the user's needs. The objective of analyzing the need is to grasp, state, and validate the requirements expressed by the actors.

Capture the needs

In this phase, it is a question of making a trip to the field in order to know their needs on an economic, ergonomic, and other level. We can use several tools, including the 5 Whys, survey sheets, etc.

State the needs

This involves rigorously expressing the goal and limits of the study. To do this, the Horned Beast tool can be used to clearly state needs by providing answers to the following questions:

- Who or what does the product serve?
- Who or what does the product work on?
- What purpose?

Validate needs

After having clearly identified the need to be satisfied by the product, it is essential to check its stability. To do this, it is required to find out whether this need is likely to disappear or evolve over a longer or shorter period. This validation check consists of providing answers to the following questions:

- Why does this need exist?
- What can make it disappear or make it evolve?
- What is the risk of making it disappear?

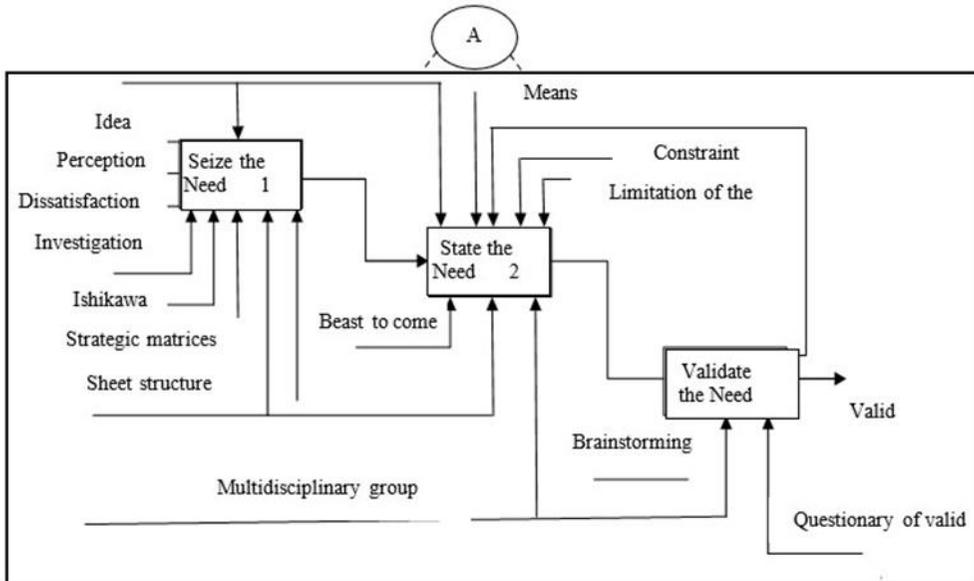


Figure 1. Needs analysis framework

Study the feasibility

It is the functional expression of the need. Indeed, its objective is to establish the Functional Specifications, which we abbreviate by (CdCF). In this phase, it is necessary to identify and explain the satisfaction expected by users of the product. The CdCF is considered a Service Function (SF) generator. It is therefore necessary, at the end of this phase, to identify, characterize, and prioritize the SF.

Identify Service Functions

This involves determining the relationships that external elements maintain with each other through the equipment on the one hand and the interactions they carry out with the environment on the other. The Octopus diagram tool can facilitate the identification of equipment service functions.

Characterize Service Functions

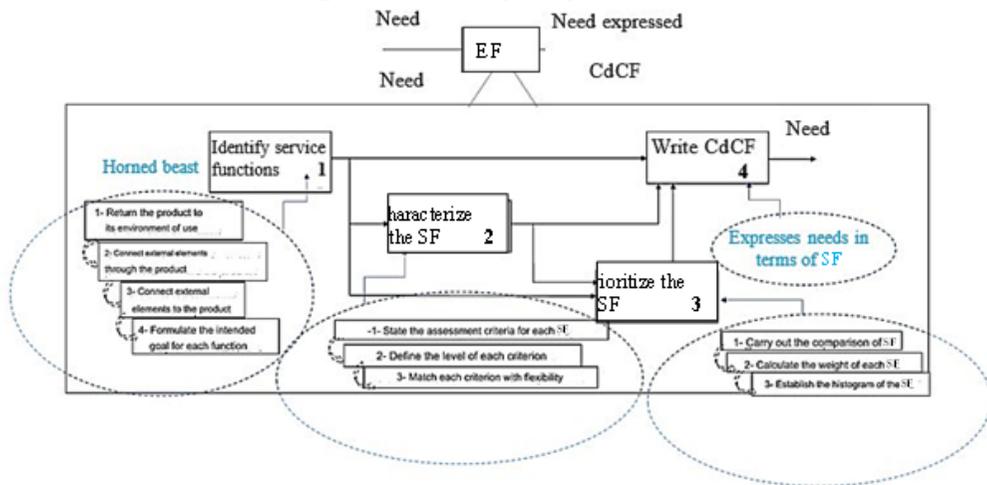
In this phase, the aim is to express the performance of each service function, as expected by the user, that can be collected during the field trip phase (requirements capture). For each function, this will be:

- To state the evaluation criteria for each SF (an evaluation criterion represents a requirement desired by the user), a level defined on a scale adopts the value of the criterion, which is accompanied by flexibility (high tolerance) beyond which the need is declared unmet.
- Define the level of each criterion.
- Match each criterion flexibly.

Prioritize Service Functions

This involves comparing functions one by one using a matrix and assigning a score, which can be collected during surveys with future users. Then quantify the weight of each function to establish a histogram to make the prioritization results meaningful.

Figure 2. Feasibility study structure



In this phase, it is:

- Search for ideas and solutions, which consists of transforming all validated service functions into contradictions and reporting them in the contradiction matrix to identify problem-solving principles using the 40 invention principles allowing the resolution of technical contradictions, Dumont (2010).
- Study and evaluate the solutions, which consist of searching for the optimal solution among the 120 suggestions (solutions proposed to improve a characteristic without altering another characteristic) proposed by the 40 principles of inventions, Dumont (2010).

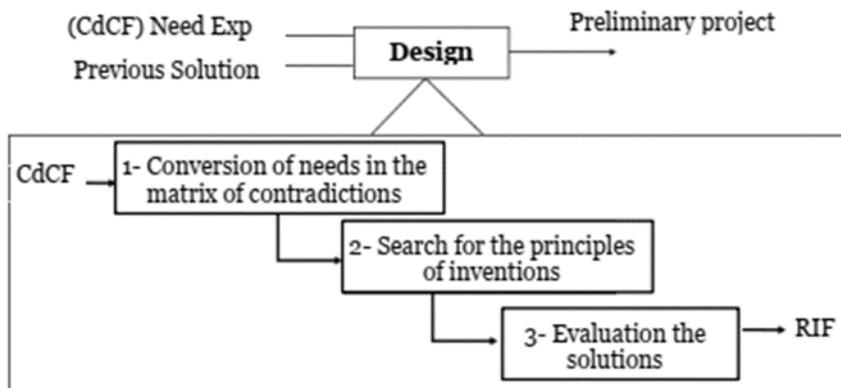


Figure 3. Design structure

Nomenclatures:

CdCF	Functional specification
SF	Service Function
AB	Needs Analysis
EF	Feasibility Study

Figure 4 below shows the procedure for resolving a technical contradiction.

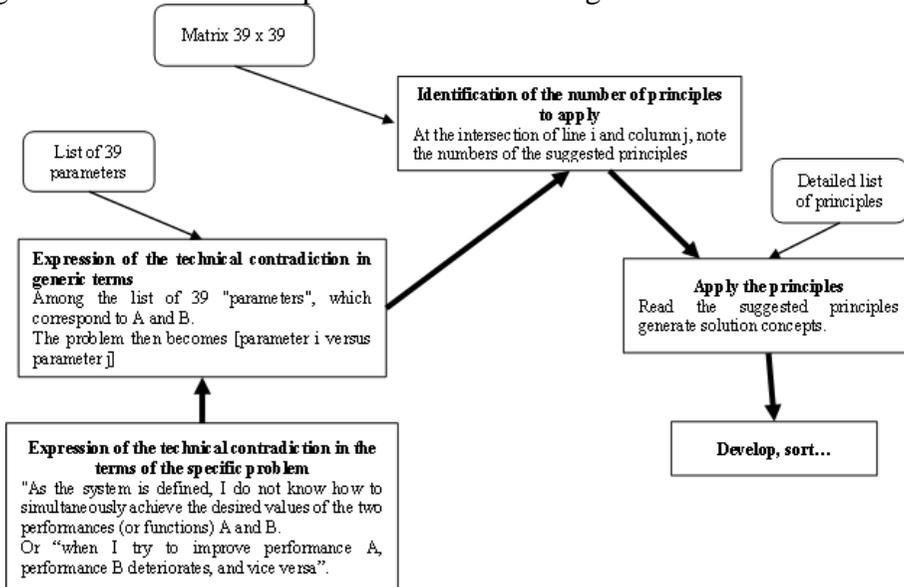


Figure 4. Procedure for resolving technical contradictions (Denis, 2016)

Measurements of physical properties of chickens

Samples of five chickens were chosen at random. For each chicken, we measured their physical dimensions using the tape measure: the length (L), the equatorial diameter (D), and the width (l), which are taken from the neck to the end of the thighs as illustrated in Figure 5, to determine the average physical properties.

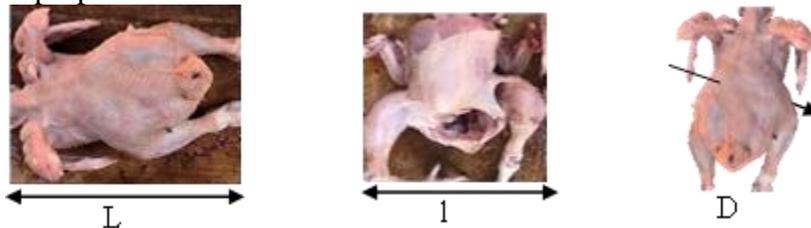


Figure 5. Measurement of chicken dimensions

Interior dimension of the equipment

This involves sizing the prototype of the equipment to be able to contain 10 chickens and for the distribution of air or smoke to be homogeneous. Each bar must contain at least 2 chickens, and the distance between 2 chickens, as well as the distance between the chicken and the walls, must be at least 5 cm.

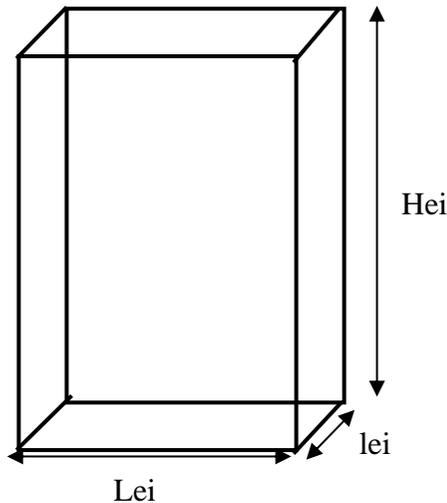


Figure 6. Illustration of the interior dimensions of the equipment

Mass of water to extract

As we know, drying makes it possible to extract a certain quantity of water contained in a product. For Catherine (2003), in order to create the dryer itself, it is therefore necessary to determine the water content of the product before drying (in kg of water per kg of product) and what water content we wish to obtain after drying (in kg of water per kg of product). We therefore have the quantity of water to extract per kilogram (in kg of water per kg of product) of dry air, which is:

$$He = Havs - Haps \quad (1)$$

By multiplying by the total mass of product (in g of product) that can be filled in a dryer, we obtain the total quantity of water to be extracted by the dryer (in g):

$$Me = He.Mp \quad (2)$$

Useful power is required to extract this quantity of water

This is the power necessary to extract a quantity of water. This power, which will have to evaporate the humidity contained in the bagasse, is obtained by the following relationship, proposed by Jean-François in 1995:

$$Pe = \frac{Me.Lv}{t} \quad (3)$$

With:

- Pe: power to extract Me kg of water in kW;
- Me: mass of water to be extracted in kg;
- Lv: latent heat of evaporation of water (KJ/kg);
- t: drying time per cycle in seconds (set at 1 hour);

Calculation of the power of the air that will be blown into the dryer

The formula for calculating this power was given by Jean-François in 1995:

$$Pa = Qm. 1013,6. (Tint - Text) \quad (4)$$

With:

$$Qm = \frac{W}{YS-YE} \text{ and } W = \frac{Me}{t} \quad (5)$$

- YS: indoor relative humidity (%);
- YE: outdoor relative humidity (%);

The air conditions outside and inside the dryer were measured using the thermometer module.

Table 2. Air conditions

Parameters	External conditions (Adamaoua region)	Internal conditions (allowable value)
Temperatures (°C)	T _{ext} =22	T _{int} =75
Relative humidity (%)	YE=85	YS=95

Calculation of thermal losses through walls

Side walls

Table 3. Calculation of losses through side walls

Elements to calculate	Formula	Data	
Side surface (m ²)	S = 4.Hei.lei	Height = Hei(m)	0,60
		Width = lei(m)	0,45
Materials		Wood panels	Aluminum sheet
Conductivity (W/mK)		0,014	230
Thickness(m)		0,07	0,0003
Thermal resistance	R _{th} = 1/h + e ₁ /λ ₁ + e ₂ /λ ₂		
Convection coefficient (h _{in})	h _{in}	5	
Overall coefficient (K)	1/ R _{th}		
Temperature Difference (°C)	T _{int} - T _{ext}	T _{ext} = 22	T _{int} = 75
Heat flux (kW)	K.S. (T _{in} - T _{ex})		

Top and bottom walls of the dryer

Table 4. Calculation of heat losses through the top and bottom of the dryer

Elements to calculate	Formula	Data	
Side surface (m ²)	$S = 4 \cdot l_{ei} \cdot l_{ei}$	Length = Lei(m)	0,65
		Width = lei(m)	0,45
Materials		Wood panels	Aluminum sheet
Conductivity (W/mK)		0,014	230
Thickness(m)		0,07	0,0003
Thermal resistance	$R_{th} = 1/h + e_1/\lambda_1 + e_2/\lambda_2$		
Convection coefficient (h _{in})	h _{in}	5	
Overall coefficient (K)	$1/R_{th}$		
Temperature Difference (°C)	$T_{int} - T_{ext}$	$T_{ext} = 22$	$T_{int} = 75$
Heat flux (kW)	K.S. ($T_{int} - T_{ext}$)		

Unquantifiable losses

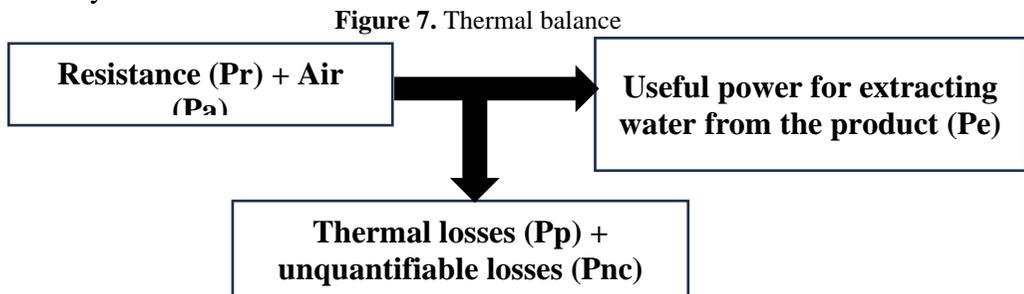
We will consider that these losses correspond to 10% of the useful power.

$$P_{nc} = P_a \cdot 0,1 \quad (6)$$

Power of heating resistors

Heat balance in the dryer

The following figure 7 presents the procedure for calculating the heat balance in the dryer:



From this procedure, we can deduce the power of the heating resistance by using the expression:

$$P_r = P_e + P_p + P_{nc} - P_a \quad (7)$$

Results Analysis of the need

Entering needs

Following a field trip (a survey of breeders and restaurant managers in the town of Ngaoundéré-Cameroon), we present here some primary needs of stakeholders in terms of equipment for preserving meat products:

- No more than 3 hours of transformation time per cycle;
- Transform product sizes ranging from 10 to 2000 per cycle;
- The finished product must be tender and not too dry;
- Very economical in terms of fuel and energy consumption;
- Affordable price/quality ratio;
- No exposure to heat or smoke;
- Improve product quality (especially broilers);
- No loss of information.

Statement of needs

The smokehouse-dryer should allow breeders to preserve chickens for long-term availability and without risk of bacteriological contamination after consumption. Figure 8 is an illustration of stating needs using the horn tool.

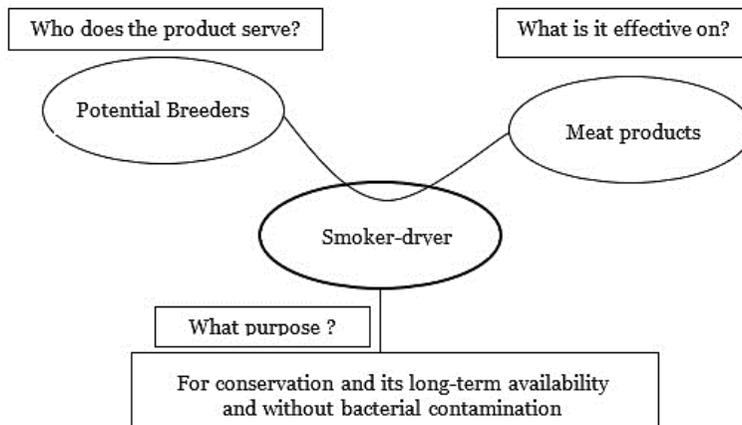


Figure 8. Statement of needs

Validation of needs

- It is for the conservation and availability of chickens while guaranteeing good hygiene that this need exists. This would allow a reduction in poverty in general.
- When farmers can satisfy the current market without keeping the chickens, then the equipment can disappear.
- The increase in the human population leads to the evolution of the product.

- By making the product disappear, we will probably see an increase in the cost of purchasing chicken, its difficulty in obtaining it, and an increase in poverty.
- By developing it, we can witness the popularization of chicken in our markets, like that of fish, and a considerable reduction in purchasing costs. So, there is a reduction in poverty in the general case.

Feasibility study

Identification of service functions

Figure 9 shows how external elements interact with each other through the smoker-dryer and how they interact with the environment using the Octopus diagram tool. The main function that the equipment must fulfill is to be able to extract water efficiently from meat products.

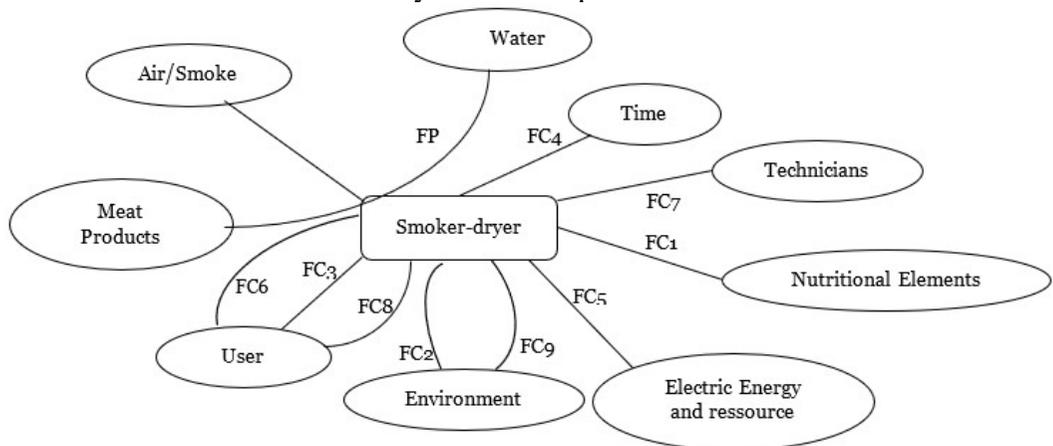


Figure 9. Identification of service functions

Characterization of Service Function

The equipment must, above all, fulfill its primary function, which is to extract water efficiently from meat products. The assessment criteria are based on the quantity of water remaining in the meat product, which must never exceed 30% of which they can continue to dry naturally in the open air, and the extraction speed, which must not exceed 3 hours. In addition, the finished product leaving the equipment must not have any trace of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and must not consume more than 200 watts per hour. Table 5 represents the characterization data of the service functions, their assessment criteria, and their level of flexibility.

Table 5. Characterization of service functions

Function	State	Appreciation criteria	Flexibility level
Primary function (FP)	Extract water from meat products	The amount of water remaining	0 to 30%
		Extraction speed	No more than 3 hours per cycle
Constraint function N°1 (FC1)	Protect the product from bacteria	The number of bacteria present and their quantity	0
		Quantity of dust and ashes	None
		Quantities of PAHs	None
Constraint function N°2 (FC2)	Retain product nutrients	Percentage of nutrients lost	Less than 5%
Constraint function N°3 (FC3)	Ergonomic	<ul style="list-style-type: none"> • Smoke leak • Exposure to fire • User supervision and control 	<ul style="list-style-type: none"> • Negligible • None • Just the initial setup and remote control
		Number of operations to be performed by the user	1
		Protection of users against	Yes
		Overheating and electrocution	
Constraint function N°4 (FC4)	Fast	Duration of a transformation cycle	No more than 3 hours
Constraint function N°5 (FC5)	Use a small amount of electrical energy and a small amount of sawdust needed	Amount of energy consumed per cycle	No more than 200W per hour
		Sawdust volume for one cycle	5L per cycle
Constraint function N°6 (FC6)	Configure operating parameters	Difficulty level	Very easy
Constraint function N°1 (FC7)	Be easy to troubleshoot	Difficulty in disassembly, assembly, and identification of circuit blocks	Easy
Constraint function N°8 (FC8)	Resist the ambient environment	Bearable operating temperature	Up to 450°C
		Resist water	Yes
Constraint function N°9 (FC9)	Aesthetic	Attractiveness	Average

Prioritization of Service Functions

Table 6 below represents the hierarchy of service functions. From this table, we can clearly identify that the priority function is the primary function (FP), followed by the constraint functions FC1, FC2, FC3, and FC5. The most

minor priority functions are the FC9 functions, followed by the FC6 and FC8 constraint functions.

Table 6. Identification of service functions

	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FC7	FC8	FC9	Pts	%
FP	0	1	3	3	3	3	3	3	3	22	22,22
	FC1	1	2	3	3	3	3	3	3	21	21,21
		FC2	2	3	3	3	3	3	3	20	20,2
			FC3	2	1	3	1	1	2	10	10,1
				FC4	0	3	0	0	1	4	4,04
					FC5	3	2	2	3	10	10,1
						FC6	1	0	2	3	3,03
							FC7	2	3	5	5,06
								FC8	3	3	3,03
									FC9	1	1,01
									Total	99	100

Design

Matrix of contradictions

We present in Table 7 the conversion of the service functions into contradictions, which we report in the Triz contradiction matrix. In fact, by wanting to improve the temperature in the product to extract the water quickly, we see a loss of substance and the deterioration of the quantity of material, or substance and productivity. The resolution of its contradictions is possible through the application of one or a combination of these principles: 3, 17, 15, 21, 28, 29, 30, 31, 35, 36, and 39.

Table 7. Matrix of contradictions

Deteriorates	Resistance	Waste of energy	Loss of substance	Waste of time	Quantity of material/substance	Productivity
Improves						
Strength (Intensity)	35, 10, 14, 27					
Resistance				29, 3, 28, 10		29, 35, 10, 14
Temperature			21, 36, 29, 31		3, 17, 30, 39	15, 28, 35
Energy spent by the moving object						12, 28, 35
Loss of substance	35, 28, 31, 40					
Loss of information		19, 10		24, 26, 28, 32		13, 23, 15
Harmful factors acting on the object			33, 22, 19, 40			22, 35, 13, 24
Productivity						

Search for ideas and solutions

The search for ideas and solutions consists of searching for the optimal solution among the suggestions offered by the principles of inventions retained. In our case, we instead made a combination of several suggestions, among which we can cite:

- Make each part of an object operate in the most appropriate conditions for its operation, thanks to principle 3, which is the principle of local quality;
- Reverse the actions used to solve a problem obtained from principle 13, which is the principle of inversion;
- A multi-story object layout instead of a single-story. Use a multi-layer assembly of objects instead of a single layer, as proposed by principle 17, which is the principle of another dimension;
- Replace an expensive object with several inexpensive objects that have certain qualities (such as lifespan, for example) of principle 27. Replace a typical environment with an inert environment following the study and evaluation of the suggestions of principle 39, which is the principle of the inert atmosphere.

Physical properties of chickens and internal dimensions of equipment

Table 8 opposite lists the interior dimensions of the equipment as well as the average physical properties of the chickens.

Table 8. Interior dimensions of the equipment

	Physical properties of chickens	Internal dimension of equipment	Dimensions of bars
Length	L = 25 cm	Lei = 65cm	Lb = 65 cm
Width	L = 15 cm	lei = 45cm	
Height		Hei = 60cm	
Diameter	D = 13 cm		Db = 3 cm
Material		Aluminum sheet of 0,3 mm + wood panels	Stainless steel

Equipment feature

Table 9 opposite lists the characteristics of the equipment:

Table 9. Equipment specifications

Category	Designation	Value
Vegetal material	Mass of water to extract (HE)	60%
	Total quantity of water to be extracted per cycle (Me)	18000 g
Fan	Power required to extract the quantity Me of water (Pe)	11,25 kW
	Evaporative flow (W)	0,005 kg/s
	Dry air mass flow (Qm)	0,0005 kg/h
	Power of the air that will be blown into the dryer (Pa)	0,027 kW

Thermal losses	Losses through the side walls and losses through the top and bottom walls of the dryer (Pp)	11,4 W
	Unquantifiable losses (Pnc)	1,125 kW
Heat resistance	Power of the heating resistance (Pr)	12,35 kW
Heat conductor inside the dryer	Aluminum sheet	0,3 mm

Model of the equipment

Following the search for optimal solutions among the suggestions proposed by the 40 principles of invention as presented by the author Denis (2016), we provide in Figure 10 one of the 3D models designed by integrating the service functions and the requirements of the actors.

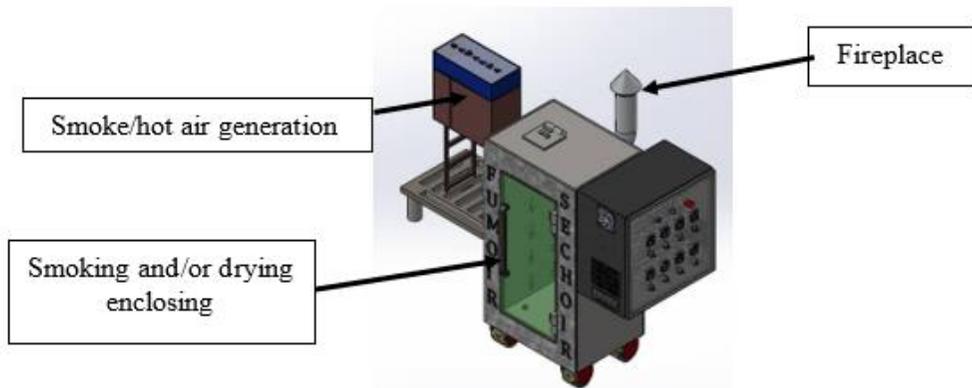


Figure 10: 3D smokehouse-dryer model

Heat flow simulation

Figure 11 illustrates the heat flow simulation in the 3D model. We can clearly observe that the heat flow is homogeneous at all points in the smoking/drying chamber.

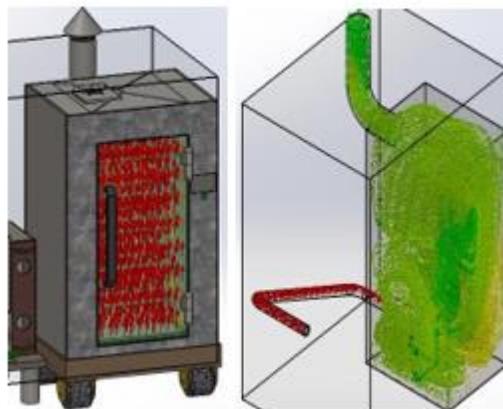


Figure 11. Simulation of heat flow in the 3D model

Conclusion

Having reached the end of our work, remember that we analyzed the needs and proposed a 3D model of the equipment. In doing so, we first, in this document, captured and stated the needs of chicken breeders and restaurateurs in the city of Ngaoundéré-Cameroon, which were then validated. We then identified the service functions, which were characterized and prioritized. Characterization and prioritization allowed us to seek ideas and solutions for equipment design, integrating previously captured customer needs. We then sized the prototype to be capable of processing 10 chickens, each weighing 2.5 kg. From this study, it appears that it is possible to integrate the needs of stakeholders into the design and construction phases using the Triz method. The realization and the experiments were carried out with the aim of verifying whether all the requirements were taken into account. And the smoking-drying of a 38-day-old broiler weighing 1.68 kg after plucking and cleaning was transformed into 4 hours of time under a temperature of 57 °C at an air speed of 1 m/s for a final mass of 0.4 kg. It will be interesting to carry out several experiments by varying the temperature and speed of the air.

Acknowledgments

This work was supported by the Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD/Canada) /Projet de Deploiement des Technologies et Innovations Environnementales (PDTIE) funded by the Organisation International de la Francophonie (OIF), the Organisation of African, Caribbean and Pacific States and the European (EU) (FED/220421-370). We offer our deep gratitude to PEPITA-UN for its constant support, its multifaceted encouragement and its teachings which continually sow the spirit of innovation and SciencePreneur. I would like to thank my scientific sponsors, and my fellow researchers for their support, as well as for their constructive comments, lively debates, and helpful critiques, whose varied points of view have considerably improved this work.

Funding: This work was supported by PEPITA-UN UN (Projet d'Excellence en production d'Innovations Technologiques en Agro-Industrie de l'Université de Ngaoundéré).

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

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

Ethical declaration: This study has been approved by PEPITA- and the principles of the Helsinki Declaration were followed.

References:

1. Andriamaromanana, H. (2014). Study and design of a mini electric dryer for the modeling of an indirect solar dryer for Brède.
2. Catherine, B. et Jean-Jacques, B. (2003). Drying of food products.
3. CAC/RCP. (2009). Code of practice for the reduction of contamination of food by polycyclic aromatic hydrocarbons (HAP) from the processes direct smoking and drying
4. Christian, V., & Frédéric, B. (2010). Design of a dryer for grape cherries.
5. Ciqual. (2007). Nutritional composition of different meats.
6. Denis, C. (2016). Introduction to the main TRIZ tools.
7. Dumont, U. (2010). The Triz method.
8. FAO. (1994). Animal Production and Health: Slaughter, Meat Cutting and Further Processing.
9. FAO. (2010). Meat processing Technology for small-to mediums scale producers.
10. Hamdani, A., & Ouchen, Z. (2018). Contribution to the study of the physicochemical and microbiological quality of meat products.
11. Jean-François, R. (1995). Dry food products. Techniques, processes, equipment
12. Roger, L. (2011). The nutritional benefits of poultry. Flavor of the world.
13. Sénat. (2022). Farm competitiveness, information report no. 905.
14. Vierling, E. (2003). Meats in Food and Drink.
15. Vierling, E. (2008). Food and drinks: Sectors and products. Bioscience and technology. 3rd Ed Paris.

Seasonal variation in contamination of fish flesh of smoked and dried *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacépède, 1803) with polycyclic aromatic hydrocarbons in the locality of Guessabo (Ivory Coast)

Aya Pauline Miessan

Doctoral student, University of Félix Houphouët- Boigny, Department of Biosciences, Laboratory of Natural environments and biodiversity conservation, Abidjan, Côte d'Ivoire

Yolande Amon Aké Assi épouse Datté

Senior researcher, Aquaculture Department, Oceanological Research Centre, Abidjan, Côte d'Ivoire

Offianan André Touré

Research director, Parasitology Department at the Pasteur Institute of Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire

Gnamien Willy Taunin Gooré Bi

Full Professor, University of Félix Houphouët- Boigny, Department of Biosciences, Laboratory of Natural environments and biodiversity conservation, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p68](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p68)

Submitted: 21 December 2023

Accepted: 04 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Miessan, A. P., Aké Assi, Y. A., Touré, O. A., & Gooré Bi, G. W. T. (2024). *Seasonal variation in contamination of fish flesh of smoked and dried Chrysichthys nigrodigitatus (Lacépède, 1803) with polycyclic aromatic hydrocarbons in the locality of Guessabo (Ivory Coast)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 68.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p68>

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons are organic contaminants, some of which are known to be toxic, carcinogenic and mutagenic for humans. These molecules are ubiquitous pollutants of the environment, and can contaminate foodstuffs such as fish. The aim of this study was to assess the level of polycyclic aromatic hydrocarbons contamination in the flesh of a species of freshwater fish, *Chrysichthys nigrodigitatus*, smoked and dried in the locality of Guessabo. The method used for the determination of these analytes in the

matrices was high performance liquid chromatography with UV/Visible detector.

Results obtained indicate disproportionate contamination of Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(a)anthracene and Chrysene molecules depending on the mode of transformation and the season. The highest levels of contamination were recorded during the rainy season in the flesh of *Chrysichthys nigrodigitatus* smoked for Benzo(a)pyrene (10.39 ± 1.10 $\mu\text{g}/\text{kg}$), Benzo(b)fluoranthene (46.44 ± 3.77 $\mu\text{g}/\text{kg}$) and the sum of the PAH₄ (59.88 $\mu\text{g}/\text{kg}$). These levels exceed the standard set by Ivorian regulations (5 $\mu\text{g}/\text{kg}$). In dried fish flesh, a low level of toxicity was recorded whatever the season. There were no significant differences between seasons for most of the molecules studied. The flesh of *Chrysichthys nigrodigitatus* dried is less contaminated than smoked *Chrysichthys nigrodigitatus*.

Keywords: Smoked fish, Dried fish, PAHs contamination, Guessabo, Ivory Coast

1. Introduction

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) are persistent organic pollutants resulting from the incomplete combustion of organic matter (gas heating, road traffic, industry, food, etc.) (Chahin, 2010; Baghdadi *et al.* 2012). These particles can accumulate in the tissues of organisms such as fish, meat and be transferred through the various links in the food chain to reach humans (Baghdadi *et al.* 2012). These molecules are toxic, mutagenic and carcinogenic, and can damage human health by causing lung, liver, bladder and skin tumors (Dovonou *et al.* 2023). The Fish is the most widely consumed foodstuff in urban areas, and especially in rural areas, due to its accessibility to all households (Shep *et al.* 2016; Boukari. 2017). Guessabo is an area with high fishing potential, accounting for 61,63% of regional production. In this locality, fish is sold fresh, fried, smoked and dried. Most of the fish were sold along the main road during our field surveys. This exposes them to contamination by polycyclic aromatic hydrocarbon molecules from vehicle exhaust fumes. This is likely to have significant harmful effects on people's health, such as pulmonary, integumentary and ocular complications in fish smokers FAO, (2019) and the environment, even at great distances from their source (Amoussou, 2010).

Fresh fish may be contaminated at the base before undergoing the drying process. Similarly, in the smoking process, the incomplete combustion of the wood leads to deposits of various polycyclic aromatic hydrocarbons on the fish. Determining the level of contamination of smoked and dried fish is necessary to better assess the quality of these sales products. The aim of this study was to assess the level of these four molecules (Benzo(a)pyrene;

Benzo(b)fluoranthene; Benzo(a)anthracene and Chrysene) in both smoked and dried fish sold in the region of Guessabo, using high-performance liquid chromatography with UV detector.

The aim of this contribution is to characterise fish from the Guessabo locality according to processing methods and the level of contamination of the four regulatory hydrocarbon molecules (EC Regulation n°835/2011).

2. Materials and methods

2.1. Study area

This study was carried out in the locality of Guessabo in the Haut-Sassandra region of central-western Ivory Coast Kra, (2016) between latitude 6°30-6°33 North and longitude 6°58-6°46 West (Ahon *et al.*, 2020). This locality is bordered to the north by the Domangbeu and Zoukougbeu , to the south by the Iboguhé , to the east by the Gregbeu and to the west by the Guezon . It is drained to the west by the Sassandra river and benefits from two tributaries, the Lobo and the Davo (Kra, 2016) that make it a key production and sales area for continental fish products (**Figure 1**).

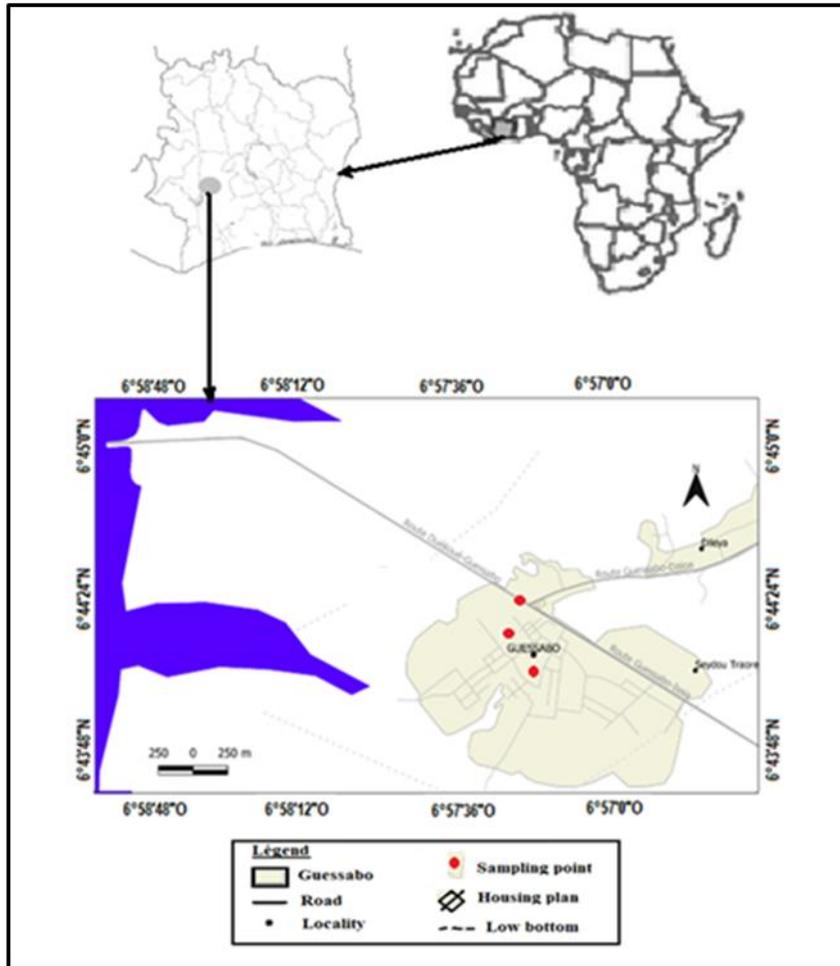


Figure 1. Geographical location of the region of Guessabo and sampling points (Miessan, 2019)

2.2. Sampling

The biological material consisted of 60 samples of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus* and 60 samples of dried *Chrysichthys nigrodigitatus*. These samples were purchased from market women, roadside women and storage warehouses. After sampling, the samples were packaged and sent to the official laboratory (LANADA) for physical-chemical analyses. Sampling was carried out throughout the year, twice a season from January to December 2019.

PAH determination

The protocol for the determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the smoked and dried flesh of *Chrysichthys nigrodigitatus*

was carried out in accordance with ISO 15753-2004 and is based essentially on three analytical steps: extraction, purification and quantification.

Extraction and analysis of PAHs were performed according to ISO 15753/2004. A sample of 2.5 g of fish flesh or reference sample is introduced into a centrifuge tube and then 10 mL of acetonitrile/acetone (V/V, 60/40) are added. The whole is homogenized by vortexing 30 seconds and 5 minutes in ultrasonic bath before being centrifuged for 5 minutes at 4000 rpm. The upper phase was removed and transferred into a conical tube and the solvent is evaporated using a rotary evaporator at 35°C. The extraction was repeated twice with 10 mL of acetonitrile/acetone. The extract is then purified on the cartridges of bonded phase C18 (Waters Sep Pack). To do this, 2 mL of acetonitrile/acetone are introduced into a conical tube containing the sample. The whole was vortexed 15 seconds and centrifuged for 30 seconds. The upper phase was transferred into a tube and the operation was repeated twice. The supernatants were transferred onto a C18 cartridge previously conditioned with 12 mL of methanol and 12 mL of acetonitrile. The elution was performed with 5 mL of acetonitrile/acetone at atmospheric pressure. Then the eluate is concentrated to 50 mg using a rotary evaporator at 35°C. The purified extract is recovered in 1 mL of hexane. The tube is crimped and stored at -18°C before analysis.

For purification on Bond Elut (C18) cartridges, the Florisil grafted phase was preconditioned with five volumes of 3ml dichloromethane and four volumes of 3ml hexane. The extract was then transferred to the Bond Elut (C18) Florisil-grafted phase cartridge, and the eluate was collected in another tared conical tube (Falcon®). To the eluate, 1ml of hexane/dichloromethane mixture (75/25; v/v) was added and the contents homogenized for 15s. The tared conical tube (Falcon®) was rinsed twice with 2ml of the hexane/dichloromethane mixture. The cartridge was also rinsed with 4ml of hexane/dichloromethane (75/25; v/v) for transferring the eluate to the Bond Elut (C18) Florisil-grafted cartridge.

The solvent was removed and evaporated to 50 µl. Finally, the eluate was weighed to determine the volume of Acetonitrile to be added to obtain 1ml of solution according to the following formula:

$$V_{ACN} (\mu l) = 1000 \cdot (m/d)$$

With: V_{ACN} = volume of Acetonitrile to be added
 m = weighed sample mass expressed in mg;
 d = density of toluene ($d = 0.8669$)

The eluate is then transferred to the micro-vial. The extract was analyzed using a Shimadzu High-Performance Liquid Chromatograph (HPLC), coupled to an SPD-20A UV/VIS detector.

Estimation of results

Ivorian legislation (Arrêté 002/MIRAH/CAB/ du 06 JAN 2017) stipulates a level of 5µg/kg for each Polycyclic Aromatic Hydrocarbon molecule detected in smoked fish and a maximum level of 12µg/kg for the sum of the PAH₄. So we calculated the concentration of each molecule (C) in µg/kg, in the samples using the following formula, expressed to the nearest 0.1 µg/ kg.

$$C_x = A_i \times C_{ir} \times V / A_{ir} \times m$$

C_x = Concentration of the molecule sought in the sample in µg/kg, x = molecule

A_i = Peak area (average of the two injections) of the desired molecule in the sample solution

A_{ir} = Peak area (average of the two injections) of Benzo(a) pyrene in the standard solution;

C_{ir} = Concentration of Benzo(a) pyrene in the standard solution in µg/kg ;

V = Volume of final extract in ml; m = Sample mass in g.

Statistical analysis

The results of the analyses were processed using XLSTAT.2016 software. Means and standard deviations were processed in the same software. The ANOVA one-factor was used to compare means at the product level of each molecule, and the Student's t-test was used to determine the significant difference between means level at $p < 0,05$.

3. Results

3.1. Concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons depending on the method of fish processing.

Figure 2 and Figure 3 show the disproportionate contamination of these four molecules depending on the processing method. Smoked products are heavily contaminated with Benzo(b)fluoranthene and Benzo(a)pyrene, at 81% and 15% respectively. The lowest rates were observed for the Benzo(a)anthracene and Chrysene molecules, at 3% and 1% respectively (Figure 2).

Figure 3 shows contamination of around 20% for most of the molecules tested and slightly high contamination of Benzo(b)fluoranthene, with a level of 33% in dried fish.

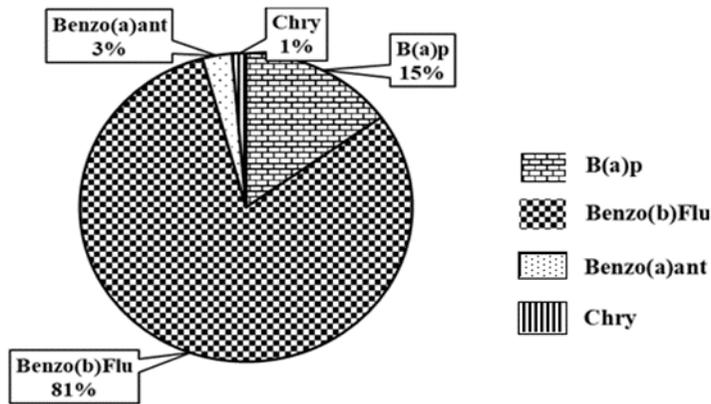


Figure 2. Proportion of PAHs in smoked *Chrysichthys nigrodigitatus* flesh; B(a)p: Benzo(a)pyrene; Benzo(b)Flu: Benzo(b)fluoranthene; Benzo(a)ant: Benzo(a)anthracene; Chry: Chrysene.

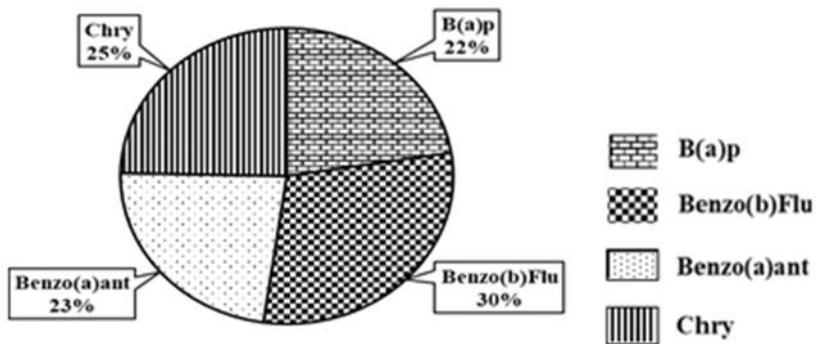


Figure 3: Proportion of PAHs in dried *Chrysichthys nigrodigitatus* flesh; B(a)p: Benzo(a)pyrene; Benzo(b)Flu: Benzo(b)fluoranthene; Benzo(a)ant: Benzo(a)anthracene; Chry: Chrysene

3.2. Effect of seasonal variation in the PAH₄ in the samples

On a seasonal scale, the highest contamination of PAH molecules in samples was recorded in samples of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus*. Average Benzo(a)pyrene levels rose from 0.62 ± 0.48^a $\mu\text{g/kg}$ in the flesh of dried *Chrysichthys nigrodigitatus* to 10.39 ± 1.10^a $\mu\text{g/kg}$ in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus* during the rainy season. The average levels of Benzo(b)fluoranthene also increased from 0.99 ± 0.45^a $\mu\text{g/kg}$ in the flesh of dried *Chrysichthys nigrodigitatus* to 46.44 ± 3.77^a $\mu\text{g/kg}$ in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus*. Low levels of Benzo(a)anthracene (2.19 ± 1.29^a $\mu\text{g/kg}$) and Chrysene (0.86 ± 0.49^a $\mu\text{g/kg}$) were recorded in the

flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus* while these same molecules were also recorded in the flesh of dried *Chrysichthys nigrodigitatus* with low levels going from 0, 60 ± 0.53^a $\mu\text{g}/\text{kg}$ for Benzo(a)anthracene to 0.76 ± 0.65^a $\mu\text{g}/\text{kg}$ for Chrysene during the rainy season. During the dry season, average Benzo(a)pyrene levels rose from 0.51 ± 0.43 $\mu\text{g}/\text{kg}$ in the flesh of dried *Chrysichthys nigrodigitatus* to 6.38 ± 3.41^b $\mu\text{g}/\text{kg}$ in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus*. Average Benzo(b)fluoranthene levels ranged from 0.51 ± 0.38 $\mu\text{g}/\text{kg}$ in the flesh of dried *Chrysichthys nigrodigitatus* to 44.79 ± 3.70^a $\mu\text{g}/\text{kg}$ in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus*. On the other hand, both products recorded low levels of Benzo(a)anthracene and Chrysene respectively. In the flesh of dried *Chrysichthys nigrodigitatus*, Benzo(a)anthracene contamination varied from 0.56 ± 0.46^a $\mu\text{g}/\text{kg}$ to 1.01 ± 0.89^a $\mu\text{g}/\text{kg}$ in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus*. The Chrysene molecule was recorded at a level of 0.48 ± 0.22^a $\mu\text{g}/\text{kg}$ in the flesh of dried *Chrysichthys nigrodigitatus* and 0.63 ± 0.5^a $\mu\text{g}/\text{kg}$ in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus*.

The dried *Chrysichthys nigrodigitatus* product contained only a low level of contamination of the PAH₄ regardless of the season. There is no seasonal variability in this product.

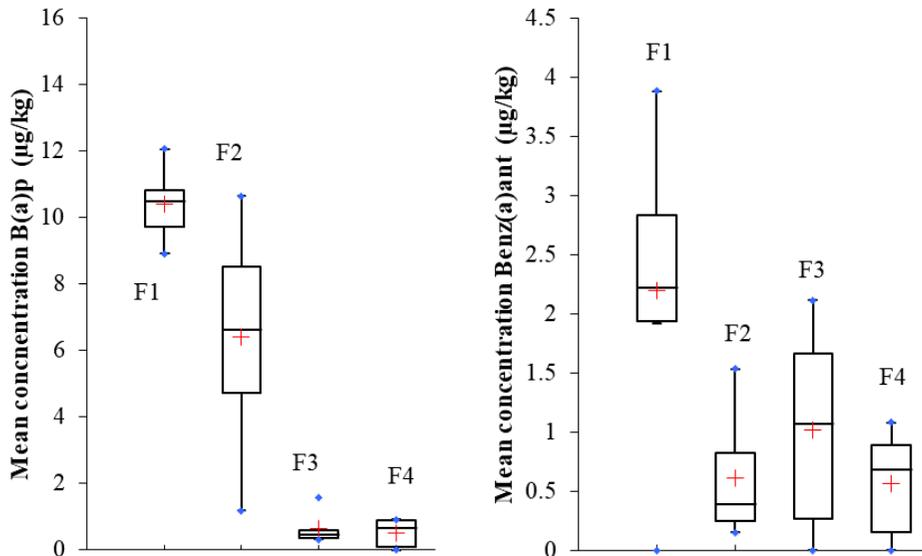


Figure 4. Seasonal variations of the PAH₄ in transformed *Chrysichthys nigrodigitatus* fish; A: B(a)p: Benzo(a)pyrene; B: Benzo(b)Flu: Benzo(b)fluoranthene; C: Benzo(a)ant: Benzo(a)anthracene; D: Chry: Chrysene, F1: *Chrysichthys nigrodigitatus* smoked in the rainy season, F2: *Chrysichthys nigrodigitatus* smoked in the dry season, F3: *Chrysichthys nigrodigitatus* dried in the rainy season, F4: *Chrysichthys nigrodigitatus* dried in the dry season.

3.3. Quality gradient for processed fish

Figure 5 shows the quality gradient of the concentration of the four PAHs in smoked and dried flesh *Chrysichthys nigrodigitatus*. According to Ivorian regulations (Arrêté 002/MIRAH/CAB/du 06 JAN 2017), the PAH contamination standard is set at 5 µg/kg for Benzo (a)pyrene and 12 µg/kg for the sum of the PAH₄ in processed fish. Our results showed high average levels of mainly Benzo(a)pyrene (8.38 ± 2.0 µg/kg) and Benzo(b)fluoranthene (45.62 ± 0.82 µg/kg) in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus* (F1). This makes the smoked *Chrysichthys nigrodigitatus* product unfit for consumption. On the other hand, the average levels of these same molecules, Benzo(a)pyrene (0.56 ± 0.05 µg/kg) and Benzo(b)fluoranthene (0.75 ± 0.23 µg/kg), in the flesh of dried *Chrysichthys nigrodigitatus* (F2) are below the set standard. Contamination levels of Benzo(a)anthracene (1.60 ± 0.59 µg/kg) and Chrysene (0.75 ± 0.11 µg/kg) in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus* are well below the limit set by Ivorian regulations for processed fish (5 µg/kg). The same is true of dried *Chrysichthys nigrodigitatus* flesh (F2), where the level of Benzo(a)anthracene contamination (0.58 ± 0.02 µg/kg) and Chrysene contamination (0.75 ± 0.11 µg/kg) is well below the limit set by Ivorian regulations. With regard to the sum of the PAH₄, the highest average concentration was recorded in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus* with an average content of 56.37 ± 15.76 µg/kg above the set standard (12 µg/kg). This makes the product unacceptable for consumption. In the flesh of dried *Chrysichthys nigrodigitatus* (F2), the sum of the PAH₄ with a content of 2.53 ± 0.06 µg/kg is well below the standard set by Ivorian regulations. The dried product is therefore of acceptable quality for consumption.

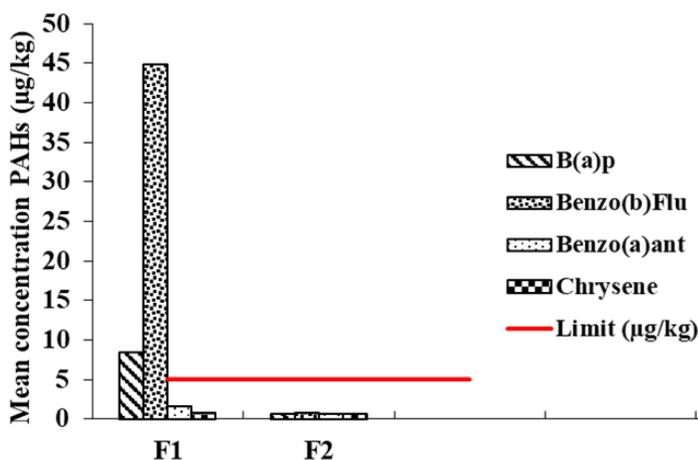


Figure 5. Quality gradient for fish processed from *Chrysichthys nigrodigitatus*; F1: *Chrysichthys nigrodigitatus* smoked, F2: *Chrysichthys nigrodigitatus* dried; B(a)p: Benzo(a)pyrene, Benzo(b)Flu: Benzo(b)fluoranthene, Benzo(a)ant: Benzo(a)anthracene, Chrysene.

Discussion

4. Discussion

The analyses revealed a high level of contamination by Benzo(b)fluoranthene and Benzo(a)pyrene, with proportions of 81% and 15% respectively in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus*. However, in dried *Chrysichthys nigrodigitatus* flesh, the majority of PAH molecules were around 20%, with Benzo(b)fluoranthene predominating at 33%. In addition, PAH contamination in the samples analysed was more pronounced during the rainy season, particularly in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus*, with an average Benzo(a)pyrene content of 10.39 ± 1.10^a $\mu\text{g}/\text{kg}$ and 46.44 ± 3.77^a $\mu\text{g}/\text{kg}$ for the Benzo(b)fluoranthene molecule. This high level of contamination in the wet season could be explained by the closed enclosures used, which concentrate more smoke on the products during the smoking process. This high contamination of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus* flesh with Benzo(a)pyrene and Benzo(b)fluoranthene could be explained by the use of wood during the smoking process, exposure to the open air of the fish during smoking and especially at the side of the main road where many vehicles circulate. Also, the high Polycyclic Aromatic Hydrocarbons contamination of the products analysed during the rainy season is thought to be due to the increase in relative humidity during this season Botta et al. (2014 ; Ndrianaivo, 2016). During this period, the smoking time could therefore be longer, which could lead to an increase in PAH contamination during smoking and also reduce the amount of sunlight penetrating the dried fish during drying (Abdoulahi et al. 2018).

Smoking is the most widely used technique for preserving fish after capture in rural areas of Côte d'Ivoire. This technique is used by processors to extend the shelf life of finished products (Sene et al. 2010; Ndrianaivo, 2016). Unfortunately, this technique is thought to be responsible for the high Polycyclic Aromatic Hydrocarbons contamination of smoked fish through the use of fuels (Djessouho, 2015). Indeed, diesel-powered transport vehicles could deposit their exhaust fumes on these products at the time of sale. On this subject, Baghdadi et al. (2012) affirmed that road traffic and heating smoke are proven sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. In addition, the work of Aké Assi, (2018) revealed that foodstuffs, in particular smoked fish, could be contaminated by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons through the environment (air, water, soil). Other sources of contamination include the processing of raw materials into smoked fish, industrial effluents, tidal currents and boat engine oils. These results are in line with those of several authors who have stated that the presence of in foods Polycyclic Aromatic Hydrocarbons depends on their source of emission. So the area of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons pollution could influence the state of the fish (Almulsi, 2011; N'diaye, 2012; Dina, 2012).

As with the sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons contamination mentioned by some of the above authors, the studies by Dagnogo *et al.* (2022) added the origin of the fish, the fat content of the processed fish and the fuel used. The average levels of Benzo(a)pyrene contamination ($8.38 \pm 2.0 \mu\text{g/kg}$) obtained in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus* and of this same molecule in the flesh of dried *Chrysichthys nigrodigitatus* ($0.56 \pm 0.05 \mu\text{g/kg}$) are lower than those obtained by (Aké Assi, 2018). This author's work revealed a high level of Benzo(a)pyrene contamination in smoked fish, mainly in the communes of Yopougon ($70.60 \pm 61.29 \mu\text{g/kg}$) and Port-Bouët, with a level of $101.64 \pm 79.55 \mu\text{g/kg}$. The studies by Traoré, (2016) and Boukari, (2017) also reported high PAH levels compared to our results in smoked fish. The average contamination level was recorded mainly for Benzo(a)pyrene ($21, 29 \mu\text{g/kg}$) and Chrysene in the fish analysed during the work by (Traoré, 2016). Similarly, the sum of the PAH₄ had a very high value of $46961.63 \mu\text{g/kg}$ dominated by Chrysene and Benzo(a)anthracene. The work of Boukari, (2017) also revealed a preponderance of average contamination of smoked and smoked/dried fish *Ethmalosa fimbriata* and *Cypselurus cyanopterus* in Benzo(a)anthracene and Chrysene, which were $86.94 \mu\text{g/kg}$ and $151.39 \mu\text{g/kg}$ respectively.

Samples of barbecue fish analysed by Dagnogo *et al.* (2022) showed PAH contamination levels below our results. This author's studies showed levels ranging from $0.167 \pm 0.275 \mu\text{g/kg}$ for Benzo(a)pyrene and $0.858 \pm 1.681 \mu\text{g/kg}$ for Benzo(b)fluoranthene in braised mackerel, considered to be the most contaminated product. The low level of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons contamination in dried *Chrysichthys nigrodigitatus* could be due to the low contamination of the raw material used. Our results confirm those of Boukari, (2017) who would have claimed that the source of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons contamination in processed fish could also be due to the initial contamination of the raw material. This low level of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons contamination in the flesh of dried *Chrysichthys nigrodigitatus*, where the average levels varied from $0.56 \pm 0.05 \mu\text{g/kg}$ for Benzo(a)pyrene to $0.75 \pm 0.23 \mu\text{g/kg}$ for Benzo(b)fluoranthene for can be explained by the ability of fish, during their lifetime, to reduce the level of contamination Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in their bodies through metabolic reactions, and these Polycyclic Aromatic Hydrocarbons are then excreted through the bile and urine, according to the work of (Ndadani *et al.* 2016). The smoking process would therefore be the main source of the high Polycyclic Aromatic Hydrocarbons contamination in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus*. Our results are in agreement with some authors who have made the same observations.

Conclusion

This study has shown that both smoked and dried fish are contaminated with PAHs. Smoked *Chrysichthys nigrodigitatus* are the most contaminated through the smoking process. Benzo(a)pyrene and Benzo(b)fluoranthene molecules predominate in the flesh of smoked *Chrysichthys nigrodigitatus*, making it non-compliant with European regulations (EC N°1881/2006) and Ivory Coast (Arrêté 002/MIRAH/CAB/du 06 JAN 2017) stipulating for 5 µg/kg for B(a)P and 12 µg/kg for the sum of the PAH₄).

In view of the results of the study and with a view to reducing the level of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish flesh. It is imperative that women smokers are made aware of the rules of hygiene and manufacturing practices. This would mean using the red wood *Chlorophora excelsa*, coconut flakes and chips or charcoal during the smoking process. Similarly, a policy of increasing the number of improved traditional ovens (FTT-thiaroye ovens) should be considered, making them accessible to all processors. Smoked and dried fish should be protected from microbial and chemical contamination when sold.

Acknowledgment

The authors would like to thank the administrative staff of the sub-prefecture, the agents of the Fisheries Resources Office, and the population of the Guessabo region for their contribution to this study. They would also like to thank the administrative staff of LANADA, in particular the management of the Chemistry Department, for agreeing to carry out the analysis.

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.

Animal Studies: This research was approved by the Chemistry Department Review Board and the principles of the Helsinki Declaration were followed.

References:

1. Abdoullahi H.O., Zongo C; Tapsoba F., Tidjani A. & Savadogo A. (2018). *Technologies, quality and socio-economic importance of dried fish in Africa*. Rev. Sci. Technol, Synthèse 37 : 49-63
2. Ahon, D. B. & Zean, G. M. (2020). *Avian biodiversity in the Guessabo wetland, Centre-West of Côte d'Ivoire*. Journal of Entomology and Zoology Studies; 8(6): 270-278.
3. Aké Assi, Y.A épse Datté. (2018). *Evaluation of the risks of exposure to benzo(a)pyrene contaminating fish smoked in traditional high*

- consumption ovens in the Abidjan area: the case of species of the genus Sardinella*. Thesis. University of Nangui Abrogoua (Ivory Coast), 273 p.
4. Almulse, E. (2011). *Contamination par les hydrocarbures d'un poisson osseux : la sardine (Sardina pilchardus, walbaum, 1792), pêchée dans les baies d'Oran et Béni-Saf*. Master's thesis. University of Oran (People's Democratic Republic of Algeria), 126 p.
 5. Amoussou, B.A. épse Fagla. (2010). *Study of polycyclic aromatic pollutant (PAH)-adrenergic receptor-membrane phospholipid interactions in adipose tissue*. The national polytechnic institute of Lorraine, 160 p.
 6. Baghdadi, M.D., Rachidi A., Maatouk, M., Noël L. & Barrijal, S. (2012). *Determination of PAHs in fishery products by GC-MS on the Moroccan coast*. Laboratory technologies –vol (7), N° 29 (90-98) p.
 7. Botta F, Eva L, Albinet A. & Ughetto E. (2014). *Origins of PAHs in aquatic environments: review of source identification methodologies applicable to the water sector and initial choice of appropriate characteristic profiles*. Rapport INERIS, France, 46 p.
 8. Boukari, B-S. (2017). *Physico-chemical, nutritional and sensory characterization of smoked and smoked-dried fish produced in South Benin*. University of Abomey-Calavi (Benin), Master's thesis, 89 p.
 9. Chahin, A. (2010). *Metabolic bioindicators of exposure of dairy ruminants to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*. Thesis. Lorraine National Polytechnic Institute, 196 p.
 10. Dagnogo, K., Coulibaly, A., Kallo, V., Doumbia, M., Dongo, C.A., Boka, M.O., Djinou, B.A.H.P., Biego, G.H.M. & Dembele, A. (2022). *Health risk associated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) contamination of four species of fish braised and consumed in the District of Abidjan, (Côte d'Ivoire)*. Journal of Applied Biosciences, Vol 174: 18056-18068 p.
 11. Dina, B.M. (2012). *Pollution of the marine environment and human health: Measurement, assessment and impact of chemical and biological contaminants in fishery products at the Moroccan coast*. Doctoral dissertation. Abdelmalek Essaadi University (Morocco), 184 p.
 12. Djessouho D. O. C. (2015). *Socio-economic analysis of smoking fish from small-scale maritime fisheries on the coast of Benin*. Master's thesis. Higher Institute of Agronomic Sciences, food processing, horticulture and landscaping, 56 p.
 13. Dovonou, F. E., Eninhou, F. S., Balogoun, C. K., Atchichoe, W. N., Mama, D. & Vandervaere, J-P,. (2023). *Monitoring the physico-chemical parameters of the Agbado river, used to supply drinking*

- water to the town of Savalou in central Benin. Journal of Applied Biosciences* 187: 19747-19770.
14. FAO. (2019). *The world situation on food and agriculture*. Report, 28 p.
 15. Kra, K.S. (2016). *The development of fishing in Côte d'Ivoire: the case of continental fishing in the sub-prefecture of Guessabo*. (EDUCI). *Journal of tropical geography and Environment*, number 1, pp 1- 9.
 16. Ndadani, F. Z., Zkhir, F., Idali, H. & Rachidi, A. (2016). *Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish products from the south Atlantic coast of Morocco*. J.MAR.CHIM. HETEROCYCL. Vol 15, N°1, 6p.
 17. Ndiaye, M., Diop A., Gago-martinez, A., Antonio,J. & Vazquez, R. (2012). *Mussel contamination (Mytilus galloprovincialis) the coasts of the Dakar region by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (HAP)*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 6 (4): 1895- 1904 p.
 18. Ndrianaivo, E.N. (2016). *Optimising the production of smoked/dried fish “ trondro saly” from Madagascar*. Thesis. University Antananarivo of Madagascar. 188 p.
 19. Sene,W. , Fall, J , Loum ,A., Diago, M. , Sagne, M. , Diouf, A. , Diouf , N. , Jatta ,S. , Ndong D. , Pelebe , R.O. E. & Diouf .M . (2020). *Effects of salting, fermentation and drying on the biochemical and microbiological quality of catfish hybrids (Clarias anguillaris X Clarias gariepinus) reared in Senegal*. *Life and earth sciences and agronomy*. REV.RAMRES-Vol.08 Num.02. ISSN 2424-7235.
 20. Shep, H., Fofana, B., Tanoh, T. F., Kouassi, K. & Djou, K. J. (2016). *Framework investigation report artisanal sea fishing of Côte d'Ivoire*, 78 p.
 21. Traoré, O. D. (2016). *Dosage of PAHs in smoked fish (Tuna)*. Master memory, University of Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire), 42 p.

Changement climatique : recherche des signaux au Tchad à travers l'étude des villes de Bol, Fianga, Moundou et N'Djamena

Semingar Ngaryamngaye

Texila American University, Georgetown, Guyane, Amérique du Sud

Franklin Bouba Djourdebbe

Institut de Formation et de Recherche Démographiques (IFORD),

Université de Yaoundé II, Cameroun

Mbaiguedem Miambaye

Centre d'Application et de Prévision Climatologique d'Afrique Centrale (CAPC-AC), Douala, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p82](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p82)

Submitted: 24 April 2024

Accepted: 12 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Ngaryamngaye, S., Djourdebbe, F. B., & Miambaye, M. (2024). *Changement climatique : recherche des signaux au Tchad à travers l'étude des villes de Bol, Fianga, Moundou et N'Djamena*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 82.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p82>

Résumé

Le changement climatique, caractérisé par des événements météorologiques extrêmes, est considéré comme l'une des menaces les plus sérieuses pour le développement durable, avec des effets néfastes attendus sur la santé humaine et la sécurité alimentaire. Le Tchad à moitié aride est plus que menacé par ces événements hydrométéorologiques extrêmes de plus en plus fréquents, ayant comme conséquences, l'affaiblissement de son économie et un impact négatif sur la santé publique. L'objectif de cette étude est d'identifier les tendances pluviométrique et thermique dans le contexte de changement climatique à N'Djaména, Bol, Fianga et Moundou au Tchad. Ces quatre localités sont réparties selon les zones bioclimatiques, soit deux en zones urbaines et deux zones rurales. Le critère de sélection est basé sur les situations épidémiologiques antérieures du paludisme et du choléra. Sur les quatre villes, deux sont considérées comme des zones endémiques et à risque et les deux autres sont celles qui connaissent rarement des épidémies. Une analyse de l'évolution des précipitations et températures annuelles de quatre

(4) dernières décennies (1980-2023) ont été menées avant et après la rupture détectée en utilisant des tests statistiques, ainsi qu'une analyse de tendance et de variabilité des indices de précipitations et de températures extrêmes. Les résultats obtenus montrent qu'au cours des dernières décennies, il y a eu une modification du régime des précipitations en termes de fréquence et d'intensité à N'Djaména, Bol, Fianga et Moundou. La tendance générale à la baisse sur la série 1981-2020 est liée à des épisodes de sécheresse extrêmement sévères des décennies 1980-1990 et 1990-2000, marquées par le phénomène *El Niño* de 1982/1983 et une augmentation statistiquement significative des températures. Aussi, l'étude contribue ainsi aux efforts de modélisation pour mieux prédire la recrudescence des maladies climato-sensibles.

Mots-clés: Tendance, pluie, température, événements hydrométéorologiques extrêmes, Tchad

Climate Change: Investigating Signals in Chad through the Study of the Cities of Bol, Fianga, Moundou, and N'Djamena

Semingar Ngaryamngaye

Texila American University, Georgetown, Guyane, Amérique du Sud

Franklin Bouba Djourdebbe

Institut de Formation et de Recherche Démographiques (IFORD),

Université de Yaoundé II, Cameroun

Mbaiguedem Miambaye

Centre d'Application et de Prévision Climatologique d'Afrique Centrale (CAPC-AC), Douala, Cameroun

Abstract

Climate change, characterized by extreme weather events, is one of the most serious threats to sustainable development, with expected adverse effects on human health and food security. Chad, which is half arid, is more than threatened by these increasingly frequent extreme hydrometeorological events, which will weaken its economy and have a negative impact on public health. The aim of this study is to identify rainfall and temperature trends in the context of climate change in N'Djamena, Bol, Fianga and Moundou in Chad. These four localities are divided according to bioclimatic zones, i.e. two in urban areas and two in rural areas. The selection criteria were based on previous malaria and cholera epidemiological situations. Of the four towns, two are endemic and at risk, while the other two are those that rarely experience epidemics. An analysis of changes in annual rainfall and temperature over the last four (4) decades (1980-2023) was carried out before

and after the detected break using statistical tests, as well as a trend and variability analysis of rainfall and extreme temperature indices. The results show that in recent decades there has been a change in the rainfall pattern in terms of frequency and intensity in N'Djamena, Bol, Fianga and Moundou. The general downward trend over the 1981-2020 series is linked to extremely severe droughts in the 1980-1990 and 1990-2000 decades, marked by the 1982/1983 *El Niño* phenomenon and a statistically significant increase in temperatures. The study thus contributes to modelling efforts to better predict the resurgence of climate-sensitive diseases.

Keywords: Trend, rainfall, temperature, extreme hydrometeorological events, Chad

Introduction

Le changement climatique est considéré comme l'une des plus grandes menaces pour le développement durable et les moyens de subsistance des populations dans les pays en développement, avec des effets néfastes attendus sur la santé humaine, la sécurité alimentaire, l'activité économique, les ressources naturelles et les infrastructures (GIEC, 2018). Le sixième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) prévoit un réchauffement accéléré de plus de 1,5°C au cours des prochaines décennies.

L'Afrique subsaharienne est la région la plus vulnérable au monde face au changement climatique. L'augmentation des températures, la montée du niveau de la mer, les variabilités et les tendances pluviométriques augmentent la fréquence et l'intensité des catastrophes naturelles telles que les cyclones dévastateurs, l'invasion de criquets en Afrique de l'Est et la désertification au Sahel (Rigaud et al., 2019).

Pays enclavé de l'Afrique subsaharienne, le Tchad couvre une superficie de 1 284 000 km² dont plus de la moitié est aride. Il est plus menacé que jamais par les effets négatifs de la variabilité et du changement climatique, caractérisés par une augmentation de l'intensité et de la fréquence des événements météorologiques extrêmes, y compris les inondations, les sécheresses et les vagues de chaleur.

Les graves inondations des dernières années ayant causé des dommages matériels et des pertes en vies humaines en est une parfaite illustration (MEEP, 2019; OCHA, 2022).

La mise en évidence des changements climatiques ne peut être réalisée qu'à travers l'analyse des données climatiques à l'échelle locale ou à haute résolution. Malheureusement les études du GIEC sont le plus souvent menées à grande échelle de 2,5° par 2,5°, équivalent à environ 250 km par 250 km (Flato et al., 2013) et ne permet pas d'apprécier l'évolution des paramètres climatiques à l'échelle locale. En dépit des échelles plus fines, avec une grille

de 0,5° par 0,5° (ou 50 km par 50 km) utilisées dans des études récentes, elles restent cependant trop grandes pour nos analyses. Mearns et al. (1997) et Osborn et Hulme (1997) ont révélé que l'utilisation des données à grande échelle entraîne certaines incohérences dans les statistiques de fréquence et/ou d'intensité des événements pluvieux, notamment dans la région sahélienne (Gachon et al., 2007) ce qui pourra biaiser les résultats des études de vulnérabilités à l'échelle locale des zones d'études, d'où la nécessité d'utiliser des données observées pour des résultats optimaux. De plus, la variabilité et les tendances des précipitations et des températures à l'échelle locale sont d'une grande importance pour évaluer leurs impacts sur l'évolution des maladies sensibles au climat telles que le paludisme, le choléra et la vulnérabilité de la population (Dazé et al., 2010; OMS, 2015). Cette situation justifie donc la nécessité de mettre en évidence l'évolution des températures et des précipitations, principaux paramètres météorologiques caractéristiques du changement climatique.

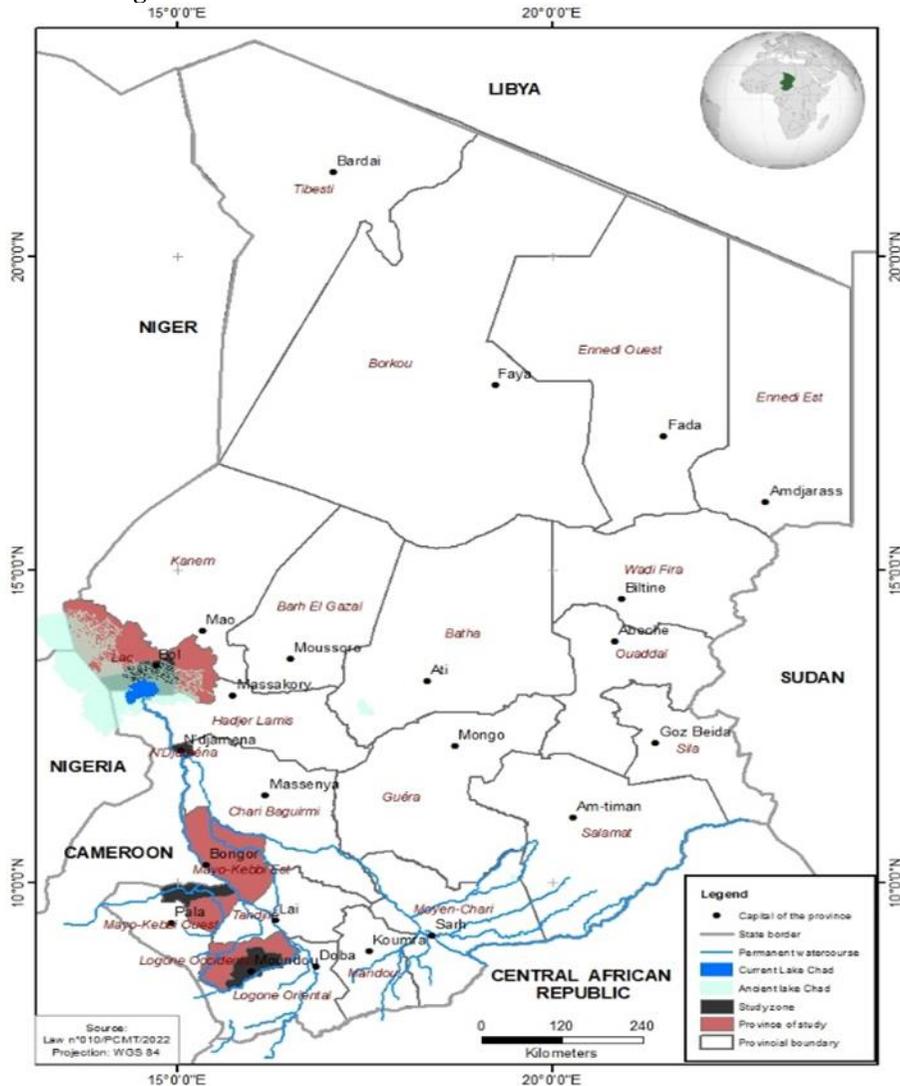
L'objectif de cet article est d'identifier les tendances pluviométrique et thermique dans le contexte de changement climatique à N'Djaména, Bol, Fianga et Moundou au Tchad. Il permettra de poursuivre le travail d'analyse d'Aguilar et al. (2009) et de Bedoum et al. (2016) sur les indices climatiques extrêmes au Tchad. Pour ce faire, quatre indicateurs majeurs ont été sélectionnés pour l'analyse.

II. Données et Méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude comprend quatre (4) villes réparties à travers les zones bioclimatiques du Tchad, incluant deux zones rurales. Ces villes sont Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména. Le critère de sélection est basé sur les situations épidémiologiques antérieures de paludisme et de choléra (DSIS MSP 2022). Parmi les quatre villes cibles, Moundou et Fianga sont considérées comme endémiques et à haut risque, tandis que les deux autres connaissent rarement des épidémies (Yandaï et al., 2017). Moundou et Fianga sont deux villes situées dans la zone soudanaise. Moundou est reconnue comme une zone où le paludisme est endémique, tandis que Fianga est reconnue comme ville de forte occurrence de l'épidémie de choléra. Pour la zone sahélienne, le choix se porte sur N'Djaména, une ville où sévit une épidémie de paludisme, tandis que Bol est reconnue comme une ville à risque d'épidémies de choléra. Le choix prend également en compte les différences de conditions socio-économiques entre les zones urbaines et rurales. Une autre raison qui justifie le choix de la zone d'étude est la disponibilité des données climatiques.

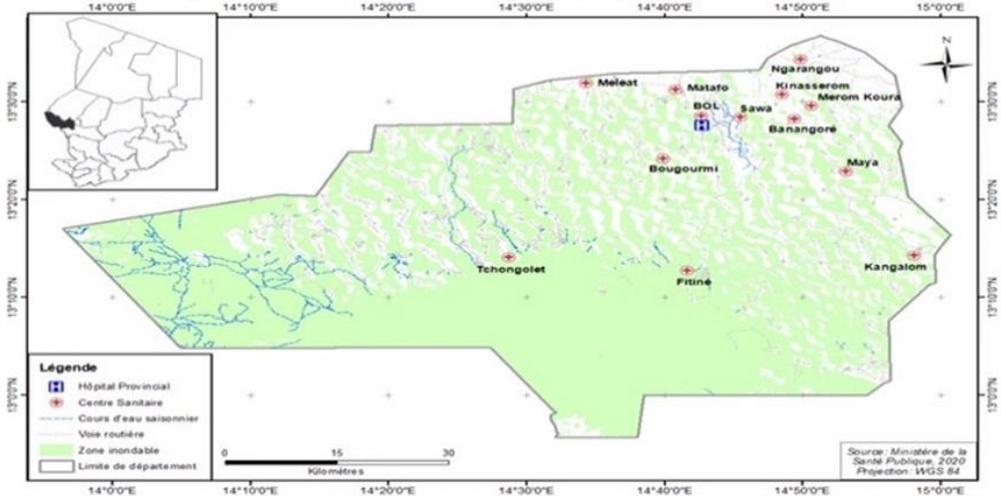
Figure 1 : Carte du Tchad incluant les 4 villes de la zone d'étude



2.1.1. Caractéristiques géographiques de la localité de Bol

La ville de Bol est située sur les rives du Lac Tchad, à 153 km au nord de la capitale N'Djaména, dans la zone sahélienne du Tchad, entre 13° 27' 31" de latitude Nord et 14° 42' 53" de longitude Est. Son climat désertique est sec et chaud. La ville de Bol est la capitale de la province du Lac et du département de Mamdi. Elle compte environ 15 000 habitants (Centre National d'Appui à la Recherche au Centre National de Recherche pour le Développement, 2022).

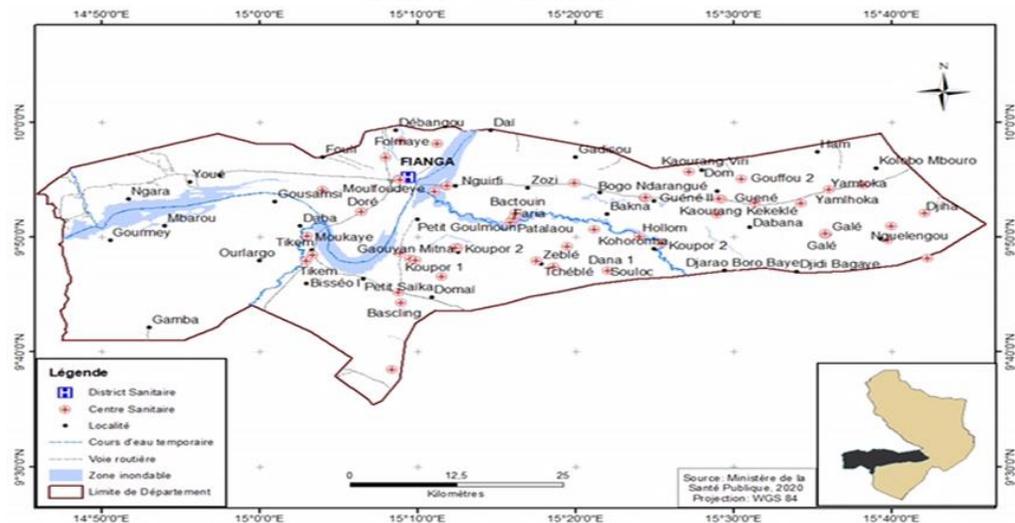
Figure 2 : Carte de localisation géographique de la ville de Bol



2.1.2. Caractéristiques géographiques de la localité de Fianga

La ville de Fianga est située au sud-est du pays à environ 8 km du Lac Fianga, à une latitude de 9° 54' 55" Nord, une longitude de 15° 8' 15" Est, et une altitude de 339 mètres. Fianga bénéficie d'un climat chaud et légèrement humide. La température moyenne annuelle à Fianga est de 28,9°C et les précipitations moyennes annuelles sont de 606,9 mm. En tant que capitale du département de Mont Illi dans la province de Mayo-Kebbi Est, Fianga a une population d'environ 17 000 habitants en 2020 (Centre National d'Appui à la Recherche au Centre National de Recherche pour le Développement, 2022).

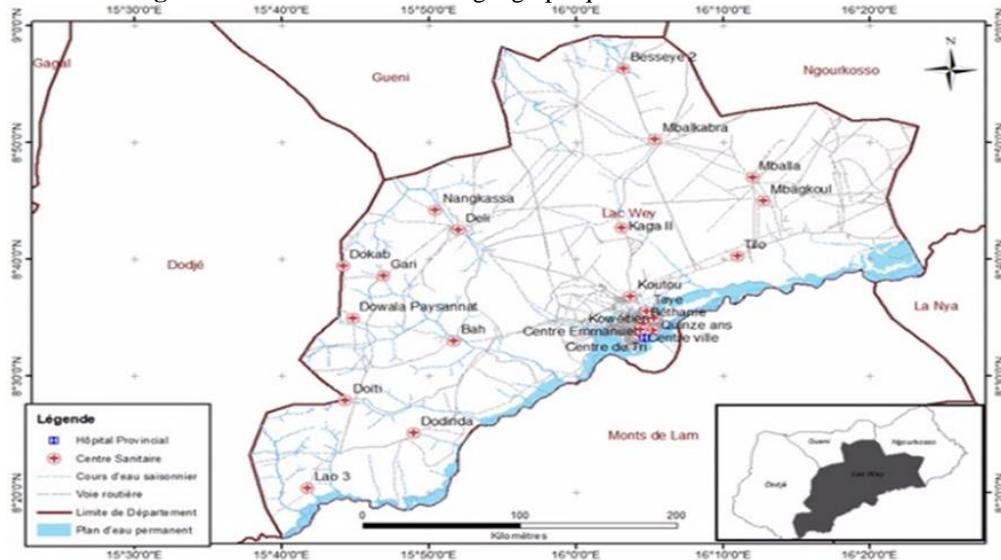
Figure 3 : Carte de localisation géographique de la ville de Fianga et le nombre des habitants



2.1.3. Caractéristiques géographiques de la localité de Moundou

Située à une latitude de $8^{\circ}34'00''$ Nord, une longitude de $16^{\circ}04'59''$ Est, et une altitude de 401 mètres, Moundou est la deuxième ville et la capitale économique du Tchad. La ville est construite sur la rive gauche du fleuve Logone, près du Lac Wey, ce qui représente une menace d'inondation pour la ville. En tant que capitale de la région du Logone et du département du Lac Wey, Moundou a une population d'environ 200 000 habitants en 2020 (Centre National d'Appui à la Recherche au Centre National de Recherche pour le Développement, 2022).

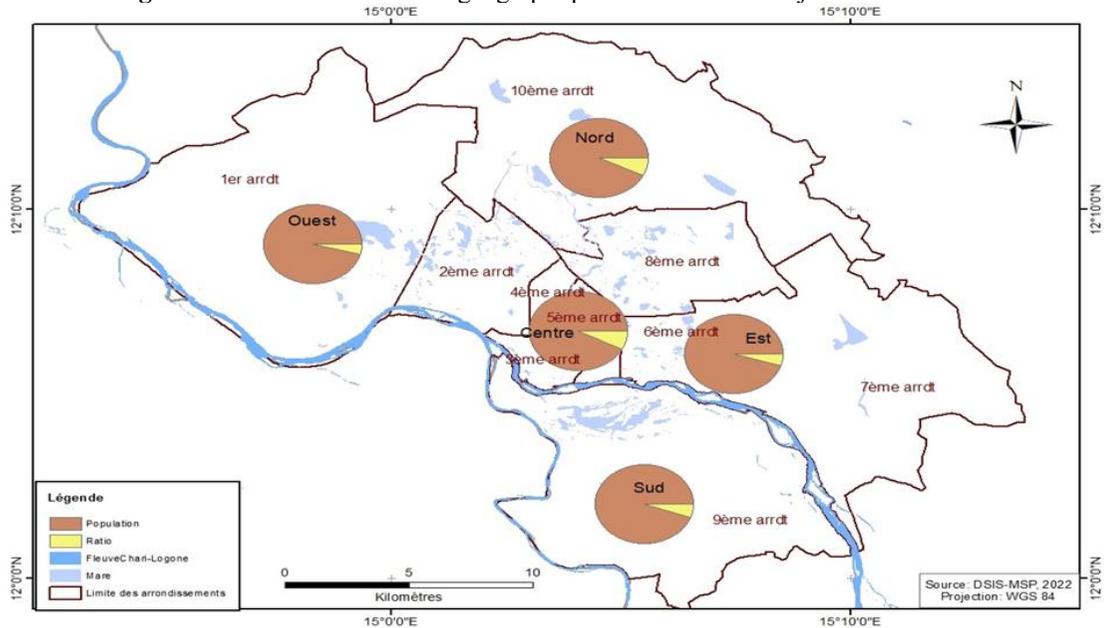
Figure 4 : Carte de localisation géographique de la ville de Moundou



2.1.4. Caractéristiques géographiques de la localité de N'Djaména

La ville de N'Djaména est située à une latitude de $12^{\circ} 07'$ Nord, une longitude de $15^{\circ} 03'$ Est, et une altitude de 295 mètres dans la zone sahélienne. C'est la capitale politique du Tchad, située au confluent des rivières Chari et Logone. N'Djaména est la seule grande ville dans un pays peu urbanisé. Elle connaît un climat aride avec une saison sèche de 9 mois, tandis que la saison humide dure 3 mois (de juillet à septembre). Les précipitations annuelles cumulées sont inférieures à 500 mm par an (ANAM, 2010).

Figure 5 : Carte de localisation géographique de la ville de N’Djaména



2.2 Caractéristiques climatiques de la zone d’étude

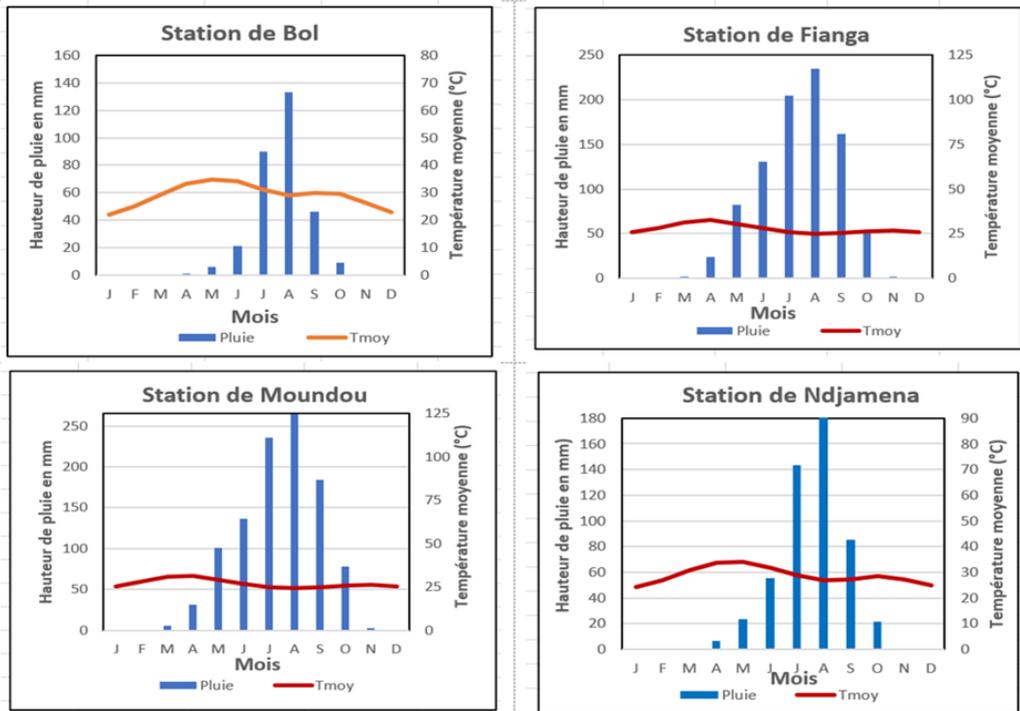
Les localités de la zone d’étude sont situées dans deux zones bioclimatiques à savoir la zone sahélienne et soudanienne. Bol et Ndjamenasituée dans la zone sahélienne qui reçoit une pluviosité annuelle de 200 à 600 mm et une température moyenne annuelle de l’ordre de plus 27°C tandis que Fianga et Moundou situés dans la zone soudanienne caractérisée par une pluviométrie supérieure à 600 mm/an (et atteignant parfois 1 200 mm vers la pointe sud) avec une température moyenne annuelle comprise entre 24°et 26°C (MEEP, 2017). Il faut annoncer le Tableau 1 et Figure 6

Tableau 1: Présentation de la situation climatique de la zone d’étude (Bol, Fianga, Moundou et N’Djaména) : des valeurs des moyennes et d’écartstypes des températures minimale, maximale et moyenne, de la pluviométrie et d’humidité relative (ANAM, 2022).

Station	Température maximale (°C)		Température manimale (°C)		Température moyenne (°C)		Pluie moyenne annuelle (mm)		Humidité relative (%)	
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET
Bol	42	2.3	22.4	1.8	29.5	2	231	1.9	31	7
Fianga	36.5	4.3	13.1	3.2	30.6	5.6	890.6	92	49.5	28.3
Moundou	36	4.3	12.6	3	27.5	1.1	1040	104	58	23
N’Djamena	44	3.6	22	4	29	3.8	548	6	39	25

NB : ET : Ecart-Type Source ; Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) du Tchad

Figure 6: Cycle annuel des régimes des précipitations et des températures moyennes (1981-2020) des villes de Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména (ANAM, 2022)



Source : Agence Nationale de la Météorologie (ANAM), 2022

2.2 Données

Les données de cette étude proviennent de la base de données climatologiques de l'Agence Nationale de Météorologie du Tchad. Il s'agit de données de précipitations et de températures quotidiennes et mensuelles issues des stations de Bol, Fianga, Moundou et Ndjamen de 1981 à 2020 (40 ans). Cependant, le recours aux données de réanalyse a été nécessaire pour combler les données manquantes. Les réanalyses ont fourni des ensembles de données combinant des données simulées et observées dans les stations, particulièrement utiles pour les études climatiques (Schubert et al., 1993).

Les données de réanalyse utilisées sont celles du modèle ARC2 avec une résolution spatiale de 10 km (0,1°x 0,1°) produites par le Centre de Prévision Climatique (CPC) de l'Administration Nationale Océanique et Atmosphérique (NOAA) (Novella et Thiaw, 2012). L'utilisation de ces données a été validée en les comparant avec des données observées pour conserver des ensembles de données proches des données réelles. Un contrôle qualité des données a permis d'identifier et combler les données manquantes des années l'aide du logiciel Rclimdex.

2.3 Méthode d'analyse

Pour déterminer l'influence des activités humaines du système climatique, les climatologues ont développé des processus de détection et d'attribution du changement climatique. La détection consiste à démontrer que le climat a changé de manière statistiquement significative, sans en donner la raison (Ribes et Planton, 2011). Il s'agit donc de justifier statistiquement l'existence d'un changement réel, par opposition à une fluctuation climatique "normale". De plus, nous avons d'une part étudiée l'évolution (variabilité et tendance) des précipitations annuelles et des températures avant et après la rupture détectée par des tests statistiques. D'autre part les années de ruptures ont été automatiquement générées par le logiciel Khronostat. Nous avons analysé les tendances et la variabilité des indices de précipitations et de températures extrêmes.

Pour l'analyse de la variabilité interannuelle des précipitations et des températures, nous avons utilisé la méthode de Nicholson (1988), qui a permis d'identifier les périodes d'années sèches et humides dans chaque station. Elle est définie comme une variable centrée et réduite exprimée par l'équation (Servat et al., 1998) :
$$I = \frac{Xi - \bar{X}}{\sigma}$$

Avec Xi : variable de l'année i , \bar{X} : moyenne de la variable sur la période étudiée et σ : écart-type de la variable sur la période étudiée. La moyenne mobile centrée et réduite sur 5 ans a été appliquée car elle réduit les petites fluctuations internes et met en évidence les tendances majeures des indices de précipitations.

Pour mettre en évidence la variabilité chronologique des précipitations, des températures maximales et minimales à chaque station, nous avons procédé à la détection de ruptures dans les séries puis analysé leur évolution, leur tendance générale et leur signification. Les ruptures dans les séries de données ont été détectées à l'aide des tests statistiques de Pettitt (1979), Lee Heghinian (1977), U de Buishand (1984) et la méthode de segmentation de Hubert (1989), qui ont permis de détecter des changements potentiels dans les données de précipitations et de températures. Ces tests sont regroupés dans le logiciel Khronostat développé par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et l'Université de Montpellier (Boyer, 1998).

L'approche adoptée dans cette étude pour analyser les événements extrêmes de précipitations et de températures est celle des indices climatiques. Elle a été proposée par l'équipe d'experts sur la détection du changement climatique et les indices (ETCCDI) en utilisant le programme principal ClimPACT 2 généré avec le logiciel RCLIMDEX (Aguilar et al., 2009 ; Hountondji et al., 2011 ; N'Guessan Bi et al., 2018).

Dans cette étude, sept indices ont été retenus, dont cinq caractérisant les précipitations extrêmes. Ceux-ci incluent la quantité totale de précipitations annuelles (PRCPTOT), l'intensité des précipitations quotidiennes (SDII), le nombre de jours de pluie intense (R20), la quantité totale annuelle de jours très humides (R95p) et le pourcentage de précipitations annuelles totales sur des jours très humides (R95pTOT).

Pour les extrêmes de température, deux indices à savoir TX90p et TN90p ont été retenus, représentant respectivement le pourcentage de jours et de nuits climatologiquement chauds.

Le choix de ces indices est justifié par le fait qu'ils sont les plus pertinents pour mettre en évidence l'étendue de la variabilité et du changement climatiques et l'évolution des inondations en termes de fréquence et d'intensité des inondations en tant que facteurs de prolifération des agents vecteurs du paludisme et du choléra.

Tableau 2: Description des indices des extrêmes pluviométriques et thermiques

Indices	Description	Définition	Unité
PRCPTOT	Total annuel des précipitations des jours pluvieux	PRCP total annuel en jours humides ($RR \geq 1\text{mm}$). PRCPTOT est exprimé en changements en pourcentage par rapport à la période de référence préindustrielle 1861–1880. j.	mm
SDII	Indice simple de l'intensité des précipitations	Soit RR_{wj} le volume journalier de précipitations enregistré les jours de pluie, w ($RR \geq 1\text{mm}$) de la période j . Si W représente le nombre de jours de pluie de j	Jour
R20mm	Nombre annuel de jours où précipitations $\geq 20\text{mm}$	Soit RR_{ij} le volume journalier de précipitations enregistré le jour i de la période j . Compter le nombre de jours où : $RR_{ij} \geq 20\text{mm}$	Jour
R95p	Total annuel de PRCP lorsque $RR > 95\text{e}$ percentile	RR_{wj} le volume journalier de précipitations enregistré un jour pluvieux, 'w', ($RR \geq 1.0\text{mm}$) de la période i , et RR_{wn95} le 95e percentile pour les précipitations enregistrées lors de journées pluvieuses pendant la période de référence 1981-2010.	Jour
R95PTOT	Pourcentage des hauteurs totales annuelles de pluies des jours très humides	Soit RR_{wj} le volume journalier de précipitations enregistré un jour pluvieux, 'w', ($RR \geq 1.0\text{mm}$) de la période (1981-2010), et RR_{wn95} le 95e percentile. $R95pTOT = 100 \times R95p / PRCPTOT$	%
TN90P	Pourcentage de jours où la TN > 90e percentile	Pourcentage de nuits climatologiquement chaudes (Températures minimales supérieure au dernier décile (décile quotidien calculé sur de 5 jours consécutifs).	%
TX90P	Pourcentage de jours où la TX > 90e percentile	Pourcentage de jours climatologiquement chauds (journées où la température maximale est supérieure au dernier décile (décile quotidien calculé sur 5 jours consécutifs).	%

Source : Expert Team on Climate Change Detection Indices (ETCCDI)

Les tests aboutissent au même résultat. Donc il faut utiliser un seul test. La tendance annuelle a été identifiée à l'aide de la méthode de régression linéaire (Brunetti et al., 2000). L'évolution de la signification statistique a été réalisée en utilisant le critère de Mann-Kendall (Sneyers, 1990).

Ce test non paramétrique recherche la présence d'une tendance à long terme dans les données. Pour valider cette tendance, la probabilité, valeur-p, a ensuite été évaluée, ce qui exprime la force de l'évidence pour ou contre cette hypothèse (la tendance est acceptée avec une valeur-p < 0,05 considérant un niveau de confiance de 95 %).

III Résultats

3.1 Evolution des indices normalisés des précipitations

La figure 6 de l'évolution des valeurs normalisées (indices) de la série de données de 1981 à 2020 des stations de N'Djaména, Moundou, Fianga et Bol illustre la variabilité interannuelle des précipitations.

À l'exception de Fianga, qui présentait une tendance de précipitations à la baisse, tous les autres lieux ont connu une tendance à la hausse des conditions de précipitations pendant la décennie 2010-2020, en particulier au cours des 5 dernières années (2015-2020). Globalement, il y a eu une alternance d'années sèches et humides après les années 1980, marquée par un épisode de sécheresse extrêmement sévère d'environ 5 années consécutives.

Le site de Bol a connu trois périodes (1981-1995, 1996-2010, 2011-2020). La période 1981 à 1995 est marquée par une forte variabilité, suivies d'une période de sécheresse persistante de 1996 à 2010 (figure 6d) avec une diminution de 17% (voir tableau 3) des précipitations par rapport à la moyenne. De 2011 à 2020, un retour à des conditions de précipitations excédentaires a été observé. N'Djaména, Moundou et Fianga ont connu une forte variabilité avec une tendance générale à la hausse, même si elles ne sont pas statistiquement significatives sauf à N'Djaména où la tendance est significative au seuil de 5%. Les localités de N'Djaména, Moundou et Fianga ont enregistré des excédents de précipitations respectivement d'environ 31,5% ; 8% et 23,8% (tableau 3) pendant la période 2010-2020, avec des épisodes de fortes pluies au cours des 5 dernières années (2015-2020) à N'Djaména et Moundou. Cette situation pourrait expliquer les graves inondations de 2020, qui ont affecté 87% du territoire national.

Cette étude constitue une étape vers l'intégration de la dimension changement climatique dans la politique nationale de santé publique sur les épidémies de paludisme et de choléra. L'objectif est de contribuer à la mise en place d'un modèle climat-santé de suivi de ces épidémies, basé sur des paramètres météorologiques. À la fin de l'étude, les opportunités de recherche climat-santé sur la méningite seront également explorées.

Figure 7 : Évolution interannuelle de l'indice pluviométrique standardisé (couleur bleu et rouge) et moyenne mobile (courbe en couleur noire dans les localités de Bol (a), Fianga (b), Moundou(c) et N'Djaména (d)

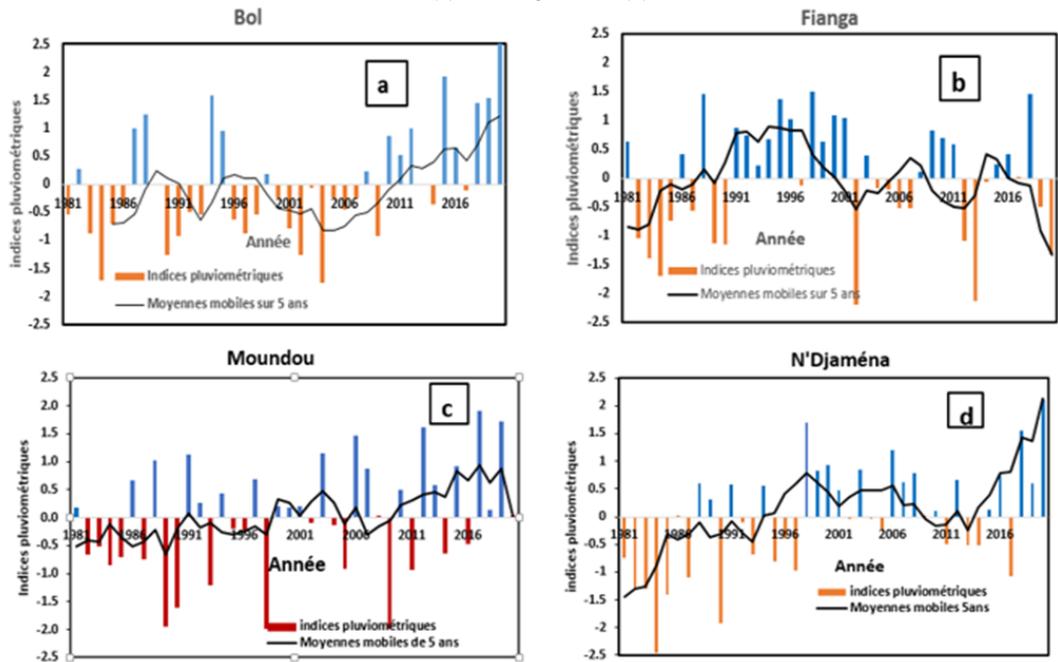


Tableau 3: Évolution de la pluviométrie avant et après les années de rupture obtenues par le test de Pettitt et taux de variation des localités (Bol, Fianga, Moundou et températures minimales N'Djaména)

Localité	Période avant rupture	Période après rupture	Moyenne avant rupture	Moyenne après rupture	Taux de variation
Bol	1981-1995	1996-2020	211,7	174,9	-17,4%
Fianga	1981-1984	1985-2020	683,6	846,1	23,8%
Moundou	1981-2010	2011-2020	1014,2	1100,9	8,0%
N'Djaména	1981-1996	1997-2020	464,9	611,4	31,5%

3.2 Evolution des températures extrêmes

Les moyennes annuelles des températures maximales et minimales pour la zone d'étude ont été calculées en utilisant la série de données de 1981 à 2020. Ces moyennes sont représentées dans les des figures 12 et 13. Les deux variables, les températures minimales (Tmin) et les températures maximales (Tmax), ont augmenté pendant la période examinée. Cette augmentation est significative au niveau de 5% en utilisant le test de Mann-Kendall (voir Figures 12 et 13). En général, on peut constater que les températures minimales ont augmenté plus que les températures maximales

dans tous les lieux étudiés et de manière linéaire, tandis que les températures maximales ont connu une variabilité d'une décennie à l'autre (voir les cartes de température de N'Djaména et Moundou). Une augmentation particulière des températures minimales et maximales est notée pendant la période 1997-2007.

3.2.1 Analyse des températures minimales et des températures maximales des stations de Bol et N'Djaména (zone sahélienne du Tchad)

D'après le test de Pettitt réalisé sur les séries de données des températures minimales et maximales aux stations de Bol et N'Djaména de 1982 à 2020, deux années de rupture (1995 et 1996) ont été identifiées pour les températures minimales et maximales respectivement, à la station de Bol, avec deux sous-périodes (sous-séries) pour les températures minimales de 1982 à 1989 et de 1990 à 2020, et pour les températures maximales de 1981 à 1996 et de 1997 à 2020. Les valeurs des températures minimales ont varié de 18,2 à 19°C (une augmentation de 1,2°C), et les valeurs des températures maximales ont varié de 39,9 à 40,7°C (une augmentation de 0,8°C). Ces tendances ont été confirmées par le résultat du test de Mann-Kendall, qui a mis en évidence la signification de la tendance au niveau de 5%. Les températures minimales à N'Djaména ont varié de 21,4 à 22,2°C (une augmentation de 0,7°C) pendant les périodes 1982-1996 et 1997-2020. Pendant ce temps, les températures maximales ont connu une augmentation de 1,7°C entre 1981 et 2007, suivie d'une diminution de 1°C pendant la période 2008-2020. Cependant, la tendance des températures maximales sur toute la série de 1981 à 2020 est à la hausse, avec une augmentation de 0,7°C, et est significative au niveau de 5% en utilisant le test de Mann-Kendall (Figure 7 et 8).

Figure 8 : Évolution des moyennes des températures minimales et maximales de 1981 à 2020 et les moyennes par périodes et les tendances des stations de N'Djamena et Bol de 1981 à 2020 (zone sahélienne)

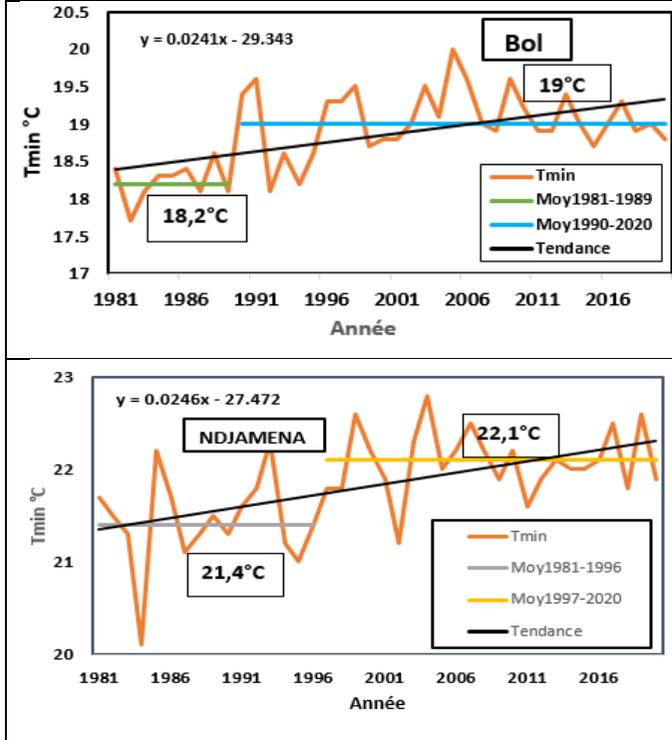
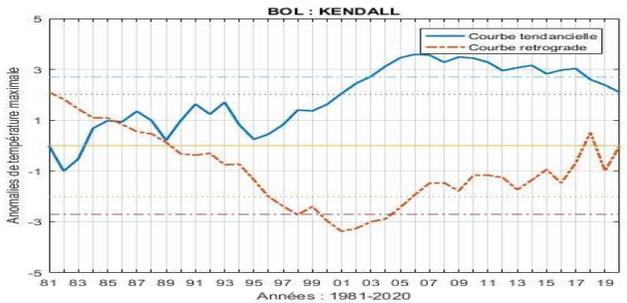
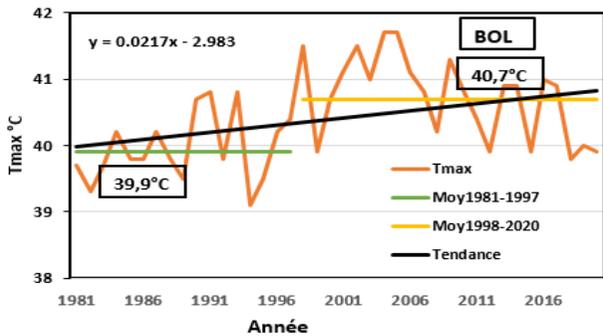
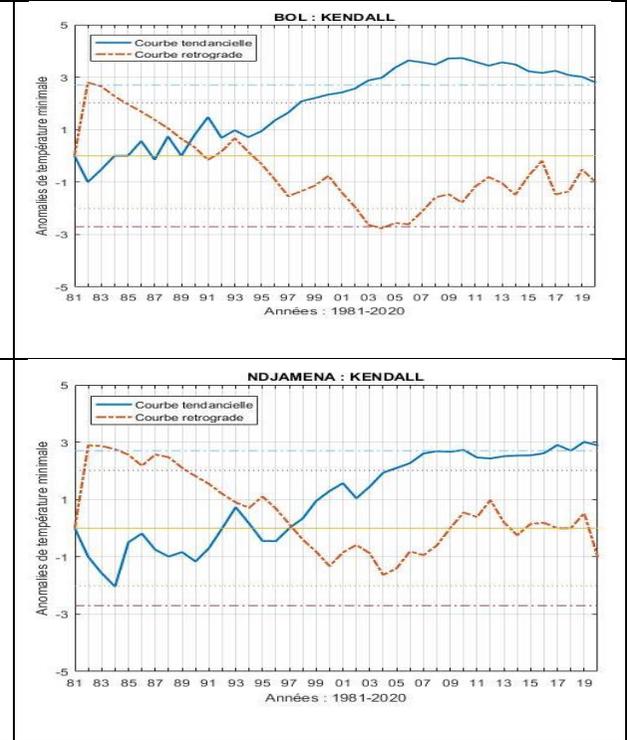
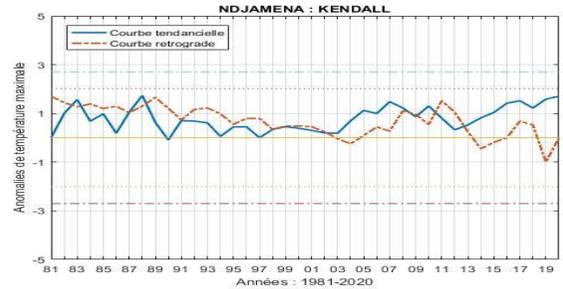
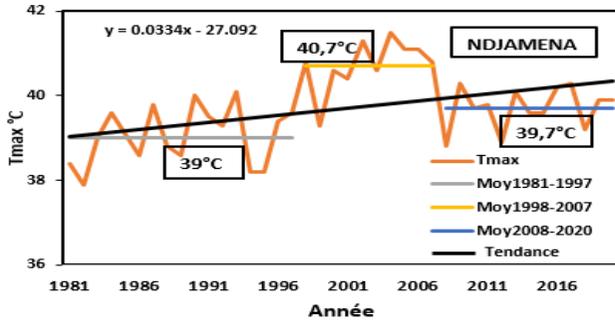


Figure 9 : Courbes de test statistique de tendance des températures minimales et maximales de 1981 à 2020 des stations de Bol et N'Djamena. Courbe en couleur tendancielle et courbe rétrograde en rouge.





3.2.2 Analyse des températures minimales et températures maximales des stations de Fianga et Moundou (zone soudanienne du Tchad)

Les stations de Moundou et Fianga, situées dans la zone soudanienne, ont connu une tendance générale de l'augmentation significative des températures minimales et maximales, comme confirmé par le test de Mann-Kendall au niveau de 5% (Figure 10). Cependant plusieurs sous-séries ont été observées.

Les températures minimales à Moundou sont passées de 20,7 à 21,5°C, soit une hausse de 0,8°C, respectivement pendant les sous-périodes 1981-1997 et 1998-2020, avec une température minimale normale (1981-2010) de 21,1°C. Les températures maximales, malgré une tendance générale à la hausse, ont connu une alternance de valeurs basses et élevées, avec une température maximale moyenne de 32,9°C entre 1981-1997, 34,9°C entre 1998-2007 (Figure 9). Cette variation est ensuite retombée à 33,5°C entre 2008-2020. Cependant, il y a eu une augmentation globale de 0,6°C de 1981 à 2020. La température maximale normale (1981-2010) est de 33,5°C. À Fianga, les températures maximales ont varié de 34,2°C à 35,5°C, respectivement pendant les périodes 1981-1997 et 1998-2007, soit une augmentation de 1,3°C. Elles ont ensuite connu une diminution de 0,6°C entre 2008 et 2020. La tendance générale sur l'ensemble de la série de 40 ans est une augmentation de 0,8°C, pendant les années entre 1981-1989 et 1990-2020.

Figure 10 : Évolution des moyennes des températures minimales et maximales de 1981 à 2020 et les moyennes par périodes et les tendances des stations de Fianga et Moundou de 1981 à 2020 (zone soudanienne)

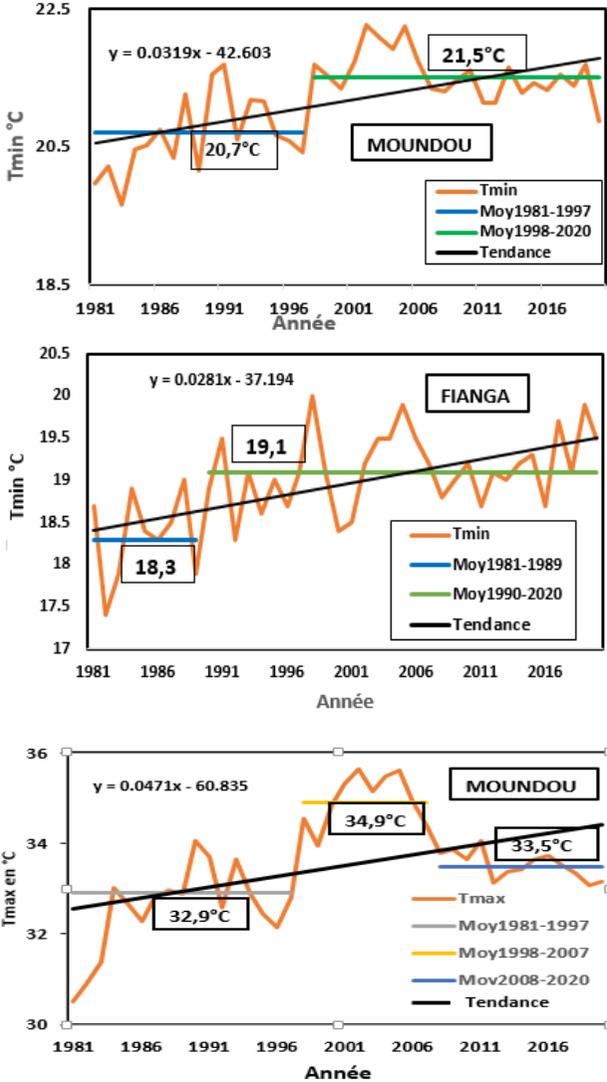
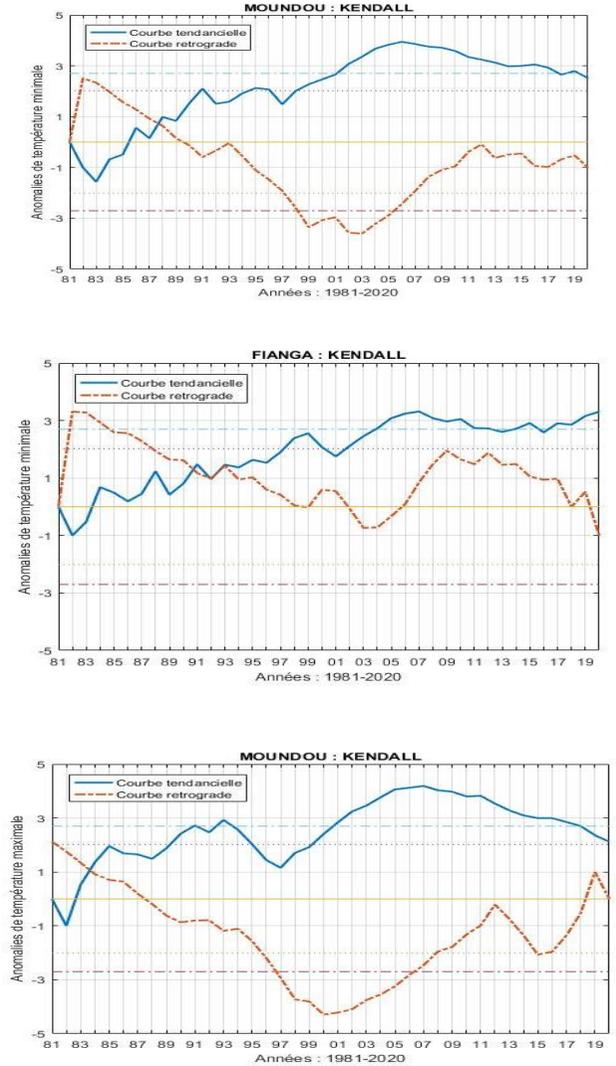
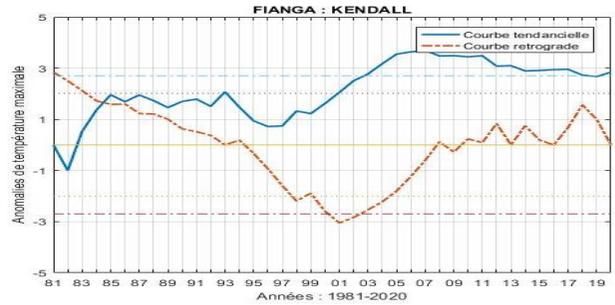
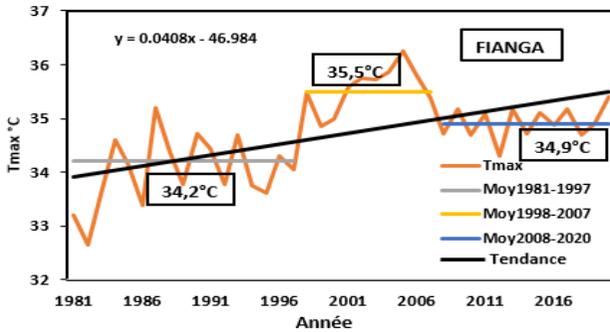


Figure 11 : Courbes de test statistique de tendance des températures minimales et maximales de 1981 à 2020 des stations de Fianga et Moundou (zone soudanienne) Courbe en couleur bleue tendancielle et courbe rétrograde en rouge.





3.3 Analyse des indices des extrêmes climatiques

3.3.1 Tendence à l'aide de test de Mann-Kendall

Les résultats obtenus par l'application du test de Mann-Kendall à un risque de $\alpha = 5\%$ ($P\text{-value} = 0,05$), sur les indices des extrêmes climatiques (PRCPTOT, R95p, R95pTOT, SDII, R20, TN95p et TX95p) retenus pour les 4 stations étudiées sont consignés dans le tableau 4. Pour le test appliqué, un seuil de signification de 5% a été utilisé, indiquant s'il y a ou non des tendances monotones (uniquement croissante ou décroissante). L'analyse du Tableau 4 une tendance générale significative à la hausse de tous indices (PRCPTOT, R95p, R95pTOT, SDII, R20, TN95p et TX95p). Les tendances sont plus marquées dans la station de Moundou.

Tableau 2 : Résultats des tests de Mann-Kendall au seuil 5% exprimés par les P-value inférieures à 0,05

Indices	BOL		FIANGA		MOUNDOU		N'Djamena	
	P-Value	Slope	P-Value	Slope	P-Value	Slope	P-Value	Slope
TN90p	0,138	0,153	0,055	0,221	0,293	0,160	0,123	0,153
TX90p	0,683	0,040	0,000	0,295	0,016	0,226	0,149	0,040
SDII	0,039	0,037	0,525	0,009	0,039	0,027	0,278	0,037
R20mm	0,023	0,059	0,324	0,045	0,046	0,107	0,124	0,059
R95p	0,029	2,255	0,479	1,206	0,009	4,093	0,546	2,255
R95pTOT	0,294	0,878	0,174	1,443	0,004	2,881	0,780	0,878
PRCPTOT	0,054	2,809	0,177	-2,682	0,488	-1,902	0,382	-1,700

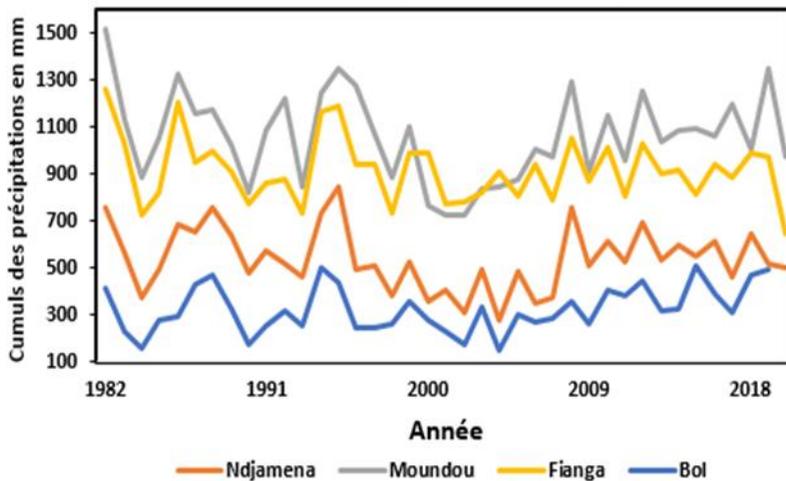
3.3.2 Cumul annuel des hauteurs de pluies

De 1982 à 1990, les valeurs annuelles cumulées des précipitations ont oscillé entre 1514,4 mm à Moundou en 1982 et 725 mm à Fianga en 1984, (Figure 11) deux localités de la zone soudanaise du Tchad. En revanche, Bol et N'Djaména dans la zone sahélienne ont enregistré des précipitations cumulées allant de 756,3 mm en 1982 à N'Djaména à 157,4 mm en 1984 à Bol pendant la même période. Durant les périodes 1990-1999 et 2000-2011, tous les sites des zones soudanaise et sahélienne ont enregistré de faibles

précipitations cumulées, avec 833 mm à Moundou, soit une baisse de 500 mm par rapport aux précipitations cumulées les plus élevées en 1982. La plus faible précipitation cumulée a été enregistrée à Bol, avec 147 mm en 2004.

Cette condition de faible précipitation s'est progressivement améliorée pendant la période 2011-2020, atteignant des valeurs élevées de 1347,5 mm à Moundou. La tendance générale est à la baisse, mais pas statistiquement significative au seuil de 5%, sauf à Bol où la tendance à la hausse est significative (Tableau 4).

Figure 12 : Évolution des cumuls annuels des hauteurs de pluies (PRCTOT) de 1981 à 2020 des stations de Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména



3.3.3 Évolution annuelle des hauteurs et de la fréquence des pluies extrêmes

L'évolution annuelle des hauteurs (R95p) et de la fréquence des précipitations extrêmes (R95pTOT) a été caractérisée par une forte variabilité de diminution et d'augmentation des accumulations de précipitations extrêmes dans la plupart des stations, à l'exception de Moundou, qui a connu une tendance claire à la hausse de 21 à 573 mm avec une évolution de la fréquence de 15 à 27%. La période de 1981 à 1990 a été marquée par des alternances des années humides et sèches perturbations (alternances des années humides et sèches) significatives dans la distribution dans le temps et l'espace.

En général, les décennies 2000-2010 et 2010-2020 ont été marquées par une forte variabilité des précipitations, aussi bien en quantité qu'en fréquence, avec des valeurs atteignant jusqu'à 573 mm à Moundou, tandis que Bol a connu la fréquence la plus élevée (42%) pour la période 2011-2020.

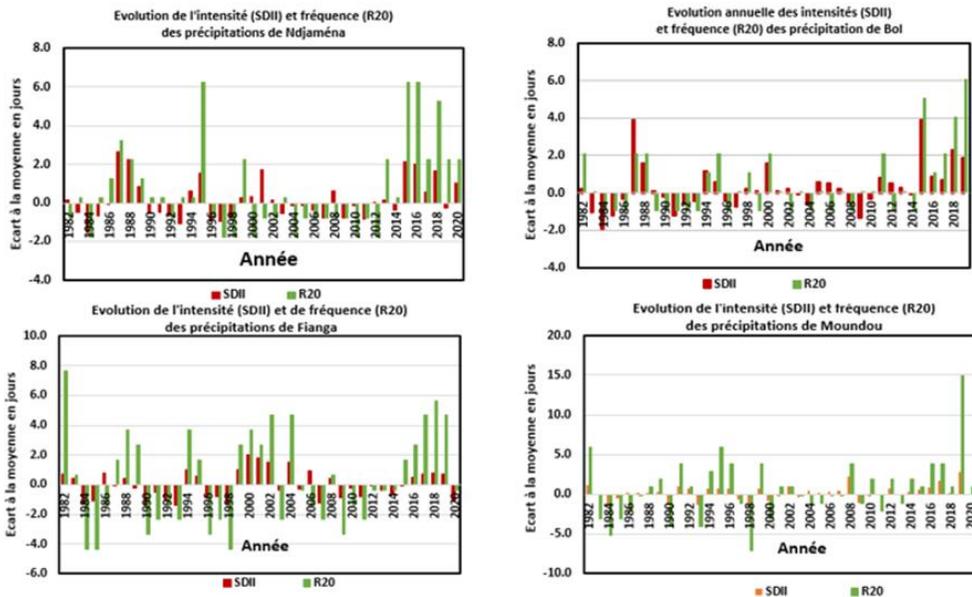
Tableau 3: Évolution décennale des précipitations extrêmes (R95p) et le pourcentage des hauteurs totales annuelles de pluies des jours très humides (R95pTOT)

Décennie	BOL		FIANGA		MOUNDOU		N'DJAMENA	
	R95p (mm)	R95pTOT (%)	R95p (mm)	R95pTOT (%)	R95p (mm)	R95pTOT (en %)	R95p (mm)	R95pTOT (%)
1981-1990	0 - 232	20,2	0- 329	21,1%	21- 329	15,3%	0 - 383	28,3%
1991-2000	0 - 118	13,5	19 - 371	18,2%	0 - 320	18%	19 - 295	17%
2001-2010	15 - 68	13	67 - 323	20,1%	141 - 287	18,7%	23 - 105	13,1%
2011-2020	32 - 218	42,3	41 - 308	24%	134 - 573	27%	63 - 331	31,4%

3.3.4 Analyse de l'évolution de la fréquence et de l'intensité des nombres de jours de fortes pluies

La fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes sont deux indicateurs pertinents caractéristiques du changement climatique. La Figure 10 montre une forte variabilité de la fréquence et de l'intensité pendant la période de 1981 à 2013, avec une tendance à la baisse du nombre de jours avec des précipitations supérieures à 20 mm (R20). À partir de 2014, une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements pluvieux a été observée dans toutes les stations, à l'exception de Moundou qui a connu une diminution de l'intensité (SDII). La localité de Fiangana a enregistré une augmentation persistante de la fréquence et de l'intensité pendant les deux périodes, 1999-2004 et 2014-2020. Il convient de noter que les stations de N'Djaména et Bol dans la zone sahélienne ont connu des épisodes de précipitations de haute fréquence et intensité au cours des cinq dernières années.

Figure 13 : Évolution interannuelle de 1981 à 2020 : histogramme en rouge et fréquence (R20): histogramme en vert des précipitations des stations de Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména



3.3.5 Analyse des nuits climatologiquement chaudes

Le pourcentage de nuits climatologiquement chaudes (TN90p) est un indicateur pertinent pour identifier les signes de changement. Le test de Pettit aux niveaux de 10 %, 5 % et 1 % ont permis de détecter des années de rupture et des sous-séries en segmentant les données à l'aide de la méthode Hubert. Les tendances des indices sont présentées dans le Tableau 4. Entre 1997 et 2006, les nuits chaudes ont augmenté dans tous les sites sauf pour la station de Bol où elles sont restées stables à 8 % sur toute la série. Cependant, une diminution des nuits chaudes a été observée entre 2007 et 2020 dans les quatre localités, malgré une tendance générale à la hausse sur la période de 40 ans. Néanmoins, les valeurs les plus élevées ont été observées aux stations de Moundou et Fianga dans la zone climatique humide soudanaise.

Tableau 4 : Analyse des pourcentages des nuits climatologiquement chaudes par rapport à la date de rupture détectée par le test de Pettitt et les périodes dégagées par la segmentation de Hubert

Station	Test de Pettitt	Segmentation de Hubert	Moyenne avant rupture (%)	Moyenne après rupture (%)	Taux de variation (%)
Bol	1988	1982- 1988	9,9.		9,9
Fianga	1996***	1982-2004	6,6		
		2005- 2006		23,5	16,9
		2007- 2020		11,5	4,9
Moundou	1997***	1982-2000	5,1		
		2001- 2006		21	15,9
		2007- 2020		8,8	3,7
N'Djaména	1996**	1982-1996	6,2		
		1997- 2006		15,8	9,9
		2007-2020		9	2,8

NB : * ; ** et *** significatif respectivement au seuil de 10% ; 5% et 1% selon le résultat du test de Pettitt (1979).

3.3.6 Analyse des jours climatologiquement chauds

La fréquence des jours chauds (TX90p) a augmenté après les années de rupture (1995, 1996 et 2007) détectées par le test de Pettitt aux niveaux de 10 %, 5 % et 1 % dans les quatre stations pendant la période de 1997 à 2006. Les taux de changement variaient de 3 % à 26,4 % à N'Djaména, de 1 % à 14,8 % à Bol, de 6,3 % à 30,1 % à Moundou et de 3,7 % à 19,7 % à Fianga. Comme le montre le Tableau 7, il y a eu une diminution des jours chauds pendant la période de 2007 à 2020 dans les quatre stations.

Tableau 5: Analyse des pourcentages de nombre des jours climatologiquement chauds par rapport à la date de rupture détectée par le test de Pettitt et les périodes dégagées par la segmentation de Hubert

Station	Test de Pettitt	Segmentation de Hubert	Moyenne avant rupture (%)	Moyenne après rupture (%)	Taux de variation (%)
Bol	1995***	1982-2000	7,1.		9,9
		2001-2005		21,9	14,8
		2006-2018		8,8	1,1
Fianga	1997***	1982-2000	4,9		
		2001- 2006		24,6	19,7
		2007- 2020		8,6	3,7
Moundou	1996***	1981-1996	3,5		
		2001- 2006		33,6	30,1
		2007- 2020		9,8	6,3

N'Djaména	1996***	1982-1996	6,4		
		1997- 2003		15,3	8,9
		2004-2006		29,9	26,4
		2007-2020		9,4	3

Les signes * et ** ***signifient que la rupture est respectivement significative à 90 et 95 % et 99%selon le résultat du test de Pettitt (1979)

IV Discussion

Les résultats obtenus montrent qu'au cours des dernières décennies, il y a eu une modification du régime des précipitations en termes de fréquence et d'intensité dans tous les sites. Cependant, une légère diminution de l'accumulation annuelle des précipitations a été observée de 1981 à 2020. Cette tendance générale à la baisse sur la série 1981-2020 est liée à des épisodes de sécheresse extrêmement sévères qui ont duré environ 5 années consécutives pendant les décennies 1980-1990 et 1990-2000, marquées par le fort phénomène El Niño de 1982/1983 et 1997 (IPCC, 1998) et la sécheresse historique de 1983-1984 qui a touché l'Afrique centrale et le Sahel (Paeth et al., 2011). Ces résultats ont également été observés dans les travaux de New et al. (2006) et Aguilar et al. (2009). Les études de New et al. (2006) sur l'évolution des conditions climatiques quotidiennes extrêmes couvrant l'Afrique australe et occidentale, ont montré que les régions connaissent une diminution globale des précipitations annuelles totales et du nombre de jours de pluie. Aguilar et al. (2009), dans leur analyse des précipitations en Afrique centrale entre 1955 et 2006, sont parvenus aux mêmes conclusions. La tendance générale des précipitations est à la baisse de 1981 à 2020 et une variabilité croissante a été observée de 2011 à 2020 dans tous les sites, avec des excédents de précipitations à N'Djaména, Moundou et Fianga d'environ 31,5 %, 8 % et 23,8 % respectivement, pendant la période 2010-2020. N'Djaména a été connu pour des épisodes de fortes précipitations au cours des 5 dernières années (2015-2020) avec des écarts cumulés annuels de plus de 100 mm par rapport à la norme (1981-2010). Ces variabilités ont été considérées par certains auteurs comme un retour à des conditions de précipitations normales, en particulier Salack et al. (2011) notamment dans les régions soudanienne et sahéliennes du Sahel où on note une tendance à la hausse des précipitations annuelles totales. Cette tendance est accompagnée d'une augmentation de la fréquence de courts épisodes de sécheresse extrême et d'événements de fortes précipitations (inondations), rendant la saison des pluies plus incertaine et imprévisible.

Les résultats de la présente étude montrent également une augmentation générale des événements de précipitations extrêmes en termes de fréquence des fortes pluies (R20), d'intensité (SDII), de hauteurs de précipitations (R95) et de fréquences de jours très humides (R95pTOT) dans

tous les sites d'étude à savoir Bol, Fianga, Moundou et N'Djamena au cours des cinq dernières années (2015-2020). Cependant, une augmentation plus notable des fréquences de jours très humides (R95pTOT) a été observée dans la zone sahélienne par rapport à la zone soudanaise, avec 42 % à Bol et 31 % à Ndjamen. Ces analyses confirment les résultats des études récentes (IPCC, 2014 ; Ozer et al., 2017 ; Biasutti, 2019). Cette tendance a déjà été observée par les études de l'IPCC (2017), qui prévoient une intensification des phénomènes climatiques extrêmes au cours des prochaines décennies au Sahel. Cela a été confirmé par les études de Hangnon et al. (2015), Bamba et al. (2015) et IPCC (2014). L'augmentation de l'accumulation des précipitations, de la fréquence et de l'intensité a conduit à de graves inondations en 2020, qui ont affecté 87 % du territoire national du Tchad (OCHA, 2022). Si cette tendance se poursuit, nous assisterons à une augmentation des catastrophes avec des dommages et des coûts associés (Sultan 2012; Sultan et al 2013; Le Cozannet et al., 2015; Avila et al., 2016; Taylor et al., 2017) et une résurgence d'épidémies de maladies sensibles au climat telles que le paludisme et le choléra (Marano et Toussaint, 2015).

Les températures extrêmes (minimales et maximales) ont augmenté sur toute la série de 1981 à 2020, confirmant ainsi les résultats de l'IPCC (2014) qui prévoit des changements de température et de précipitations extrêmes sur l'Afrique de l'Ouest et du Centre, avec une augmentation de la température moyenne mondiale de 1,5 °C et 2 °C par rapport à la période préindustrielle (Seneviratne et al., 2016 ; Wartenburger et al. ; 2017).

Nous remarquons généralement que les températures minimales ont augmenté plus que les températures maximales dans toutes les localités étudiées, et de manière linéaire, tandis que les températures maximales ont connu une variabilité d'une décennie à l'autre (voir les cartes de température de N'Djaména et Moundou). Les localités de Bol et N'Djamena dans la zone sahélienne ont enregistré une augmentation des températures minimales de 0,7 °C et 1,2 °C respectivement ; et des températures maximales de 0,7 °C et 0,8 °C, tandis que les localités de Moundou et Fianga dans la zone soudanaise ont enregistré une hausse des températures minimales de 0,8 °C pour les deux localités et des températures maximales de 0,6 °C et 0,7 °C montrant ainsi une augmentation des températures minimales et maximales, légèrement supérieure par rapport aux valeurs des localités de la zone soudanaise. Nous notons une augmentation particulière des températures minimales et maximales pendant la période 1997-2007.

La fréquence des jours chauds (TX90p) et des nuits chaudes (TN90p) a montré une tendance à la hausse pendant la période entre 1996/1997 et 2007, ce qui corrobore les résultats de Mbaiguedem (2012) qui révèlent qu'à partir de 2006, il y a une persistance de nuits chaudes de plus de 20 jours, et aussi les résultats de Bedoum (2013) dont les indices indiquent une augmentation

des nuits chaudes au Tchad et en Afrique centrale. D'autre part, nous notons une baisse significative des TN90p et TX90p entre 2007 et 2020. Cela pourrait s'expliquer par l'amélioration des conditions de précipitations.

Les précipitations annuelles au Tchad ont connu des périodes alternées d'humidité et de sécheresse, avec une tendance générale à la baisse entre 1981 et 2020. Un changement de régime des précipitations depuis la fin des années 1990, détecté par des tests statistiques comme une année de rupture dans la série chronologique a été observé. L'étude nous a permis de montrer et de mettre en évidence une succession de périodes sèches et humides. Il semble que les décennies 1980-1990 et 1990-2000, et une partie des années 2000, aient été caractérisées par des épisodes de déficits pluviométriques sévères. À l'exception de la localité de Bol, où la tendance des précipitations a diminué d'environ 17 %, toutes les autres localités ont connu une forte variabilité et une tendance à des conditions de précipitations excessives pendant la décennie 2010-2020.

Ce redressement semble plus prononcé dans la zone sahélienne que dans la zone soudanaise. Le retour des pluies dans les localités étudiées a été marqué par une forte augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations extrêmes, ce qui pourrait expliquer les graves inondations des dernières années qui ont affecté 87 % du territoire national entre 2019 et 2022. D'autre part, les températures maximales et minimales ont augmenté respectivement de 0,6 à 1,2 °C, avec une augmentation plus accélérée des températures minimales et une tendance croissante des nuits climatologiquement chaudes (TN90p), qui est l'une des principales caractéristiques du changement climatique.

On peut conclure que les localités de la zone d'étude sont caractérisées par des schémas de précipitations instables associés à des températures croissantes. Un tel contexte climatique n'est pas sans conséquences pour le développement des secteurs clés. Ces conditions sont propices et favorables au développement des moustiques, vecteurs du parasite Plasmodium (Grover-Kopec et al., 2006), comme l'ont révélé les résultats de l'étude de Huston et al., (2019), qui indiquent que les changements à long terme des températures et des précipitations, l'augmentation de la variabilité climatique et une fréquence plus élevée d'événements météorologiques extrêmes, auront un impact sur divers risques de maladies infectieuses d'une manière particulière.

Conclusion

De véritables signaux de variabilité et de changement climatique caractérisés par une tendance générale à la diminution des précipitations ont été identifiés dans toutes les localités à savoir Bol, Fianga, Moundou et N'Djaména. Cependant, une variabilité accrue avec des précipitations intensifiées a été notée au cours des dernières décennies, expliquant les graves

inondations des dernières années (entre 2010 et 2020). Il est essentiel d'étendre une telle étude à d'autres stations à travers le territoire national pour mieux comprendre l'évolution du changement climatique et ajuster les politiques publiques dans les secteurs clés du développement. Faire une ouverture (ou perspective) aussi sur le secteur de la santé.

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. AGUILAR, E., A. Barry, A., Brunet, M., Ekang, L., Fernandes, A., M. assoukina, M., ... Zhang, (2009). Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955–2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D02115).
2. AURELIEN RIBES et SERGE PLANTON, 2011, Détection et attribution des changements climatiques p. 211-213 CNRM, Toulouse, France.
3. BAMBA A., DIEPPOIS B., KONARE A., PELLARIN T., BALOGUN A., DESSAY N., KAMAGATE B., SAVANE I. et 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.
4. BEDOUM, LOBITE BOUKA BIONA, BELL JEAN PIERRE1, ISSAK ADOUM, ROBERT MBIAKE AND LAOHOTE BAOHOUTOU, 2017, Évolution des indices des extrêmes climatiques en République du Tchad de 1960 à 2008, *Atmosphere-Ocean*, 55:1, 42-56, DOI: 10.1080/07055900.2016.1268995, publié en ligne en janvier 2017, 45p, <https://doi.org/10.1080/07055900.2016.1268995>.
5. BIASUTTINI. 2019 - Rainfall trends in the African Sahel: Characteristics, processes, and causes. *Wiley interdisciplinary reviews. Climate Change*, vol. 10, n° 4, article e591, 22 p. DOI: 10.1002/wcc.591.
6. BOYER J.F., 1998. Khronostat statistical time series analyses software. Montpellier : UMR 5569 Hydrosociences, IRD-Maison des sciences de l'eau.

7. BRUNETTI M., BUFFONI L., MAUGERI M., NANNI T., 2000: Precipitation intensity trends in Northern Italy. *International Journal of Climatology*, 20, 1017-1031.
8. BUIHAND T.A., 1982. Quelques méthodes des tests d'homogénéisation des précipitations. *Journal de l'Hydrologie*, 58, 11-27.
9. DAZE, A., AMBROSE, K. ET EHRHART, C. 2010, « Analyse de la vulnérabilité et de la capacité d 'adaptation au changement climatique », Manuel, CARE.
10. GACHON P., DIBIKE Y. B. (2007). Temperature change signais in Northern Canada: Convergence of statistical downscaling results using two Driving GCMs, *International Journal of Climatology*, 27(12): pp. 1623-1641.
11. GIEC., 2014, Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 34 pages.
12. GROVER-KOPEC, E. K., et. al. (2006). Web-based climate information resources for malaria control in Africa. *Malaria Journal*, 5:38.
13. HANGNON H., DE LONGUEVILLE F. et 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.
14. HUBERT P, CARBONNEL J.P., CHAUCHE A., 1989. Segmentation des séries hydrométéorologiques : Application a des séries de précipitations et de débits en Afrique de l'ouest. *Journal of Hydrology*, 110, 349-67.
15. HUSTON PATRICIA, M.D., M.S.P., ERIKA BONTOVICS, LYAL SAIKALY, LAURA ROJAS HIGUERA, JOANNA ODROWAZ-PIENIAZEK,PASCALE SALVATORE, LAURA STEWART-DAVIS, 2019, Changement climatique et maladies infestieuses, ISSN 1719-3109 / Cat. HP3-1F-PDF / Pub. 180682, RMTC Volume 45-4.
16. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörttemperatures minimaleser, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., 1322-1325.

17. IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018. Global warming of 1.5 °C, *Special report*.
18. IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis report, contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland: IPCC.
19. IPCC., 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (Eds.), Cambridge University Press: Cambridge, UK.
20. LEE A.F.S., HEGHINIAN S.M., 1977. A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables A Bayesian approach. *Technometrics*, 19, 503-6.
21. LE COZANNET G, RAUCOULES D, WOPPELMANN G, GARCIN M, DA SYLVA S, MEYSSIGNAC B AND LAVIGNE F 2015 Vertical ground motion and historical sea-level records in Dakar (Senegal) *Environ. Res. Lett.* 10 084016.
22. MARANO FRANCELYNE ET TOUSSAINTJEAN-FRANÇOIS, 2015, Climat et Santé, Appréhender les impacts du changement climatique sur la santé, adsp n° 93 10p.
23. MEEP, 2017 Stratégie nationale de lutte contre les changements climatiques, Document du Projet PARSAT avec les partenaires : AMCC+, Union Européenne et le FIDA, 16-17p.
24. MEARNS LO, ROSENZWEIG C, GOLDBERG R., (1997). Mean and variance change in climate scenarios: methods, agricultural applications, and measures of uncertainty. *Climate Change*, 35,367-396.
25. MEYBECK, A., Azzu, N., Doyle, M. et Gitz V., 2012. Agriculture in National Adaptation Programmes of Action (NAPA). In: A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu & V. Gitz. Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector. Proceedings of a joint FAO/OECD Workshop. Rome, FAO.
26. MBAIGUEDEM M., 2012. Etude de vulnérabilité et adaptation des femmes rurales face au changement climatique : Cas du Département du Chari au Tchad. Mémoire Mastère Changement Climatique et Développement Durable, Centre Régional AGRHYMET, Niger, 85 p.
27. NICHOLAS NOVELLA et, WASSILA THIAW., 2012, Africa Rainfall Climatology Version, NOAA / NWS / NCEP/ Climate Prediction Center, Wyle Information Systems 9B.6 1-6pp.

28. OCHA, 2022 situation report on the floods in Chad, December 2022, Fragkiska Megaloudi Public Information Officer, Head of Public Information Unit fragkiska.megaloudi@un.org Catherine.
29. OMS. (2015). Protéger la santé face au changement climatique: évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse, p. 80.
30. OSBORN, T.J. AND HULME, M. (1997). Development of a relationship between station and gridbox rainday frequencies for climate model validation. *Journal of Climate*, 10,1885-1908.
31. OZER P., LAMINOUS MANZO O., TIDJANI A.D., DJABY B. et DE LONGUEVILLE F., 2017 - Évolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014). *Geo-Eco-Trop*, vol. 41, n° 3, p. 375-383.
32. PANTHOU G., VISCHEL T. et LEBEL T.,2014: Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.3984.
33. PATUREL J. E., SERVAT E., DELATTRE M. O., 1998. Analyse de séries pluviométriques.
34. PETTITT A.N., 1979. A Nonparametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics*, 28, 126-135.
35. RIGAUD, K., A. DE SHERBININ, B. JONES, J. BERGMANN, V. CLEMENT, K. OBER, J. SCHEWE, S. ADAMO, B. MCCUSKER, S. HEUSER, A. MIDGLEY., 2019. *Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration*. World Bank, Washington, DC.
36. SABOURY NDIAYE, 2018, Impact de l'adoption des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la sécurité alimentaire et le revenu des ménages pastoraux dans la zone du Ferlo au Sénégal, Thèse de Doctorat, École Doctorale Développement Durable et Société (ED2DS), Sénégal Dakar.
37. SALACK, S., MULLER, B. & GAYE, A. T., 2011. Rain-based factors of high agricultural impacts over Senegal. Part I: Integration of local to sub-regional trends and variability. *Theoretical and Applied Climatology*, 106(1-2), pp.1–22.
38. SENEVIRA TEMPÉRATURES MINIMALESE S I, DONATMG, PITMAN A J, KNUTTI R AND WILBY R L 2016 Allowable CO2 emissions based on regional and impact-related climate targets *Nature* 529 477–83.
39. SNEYERS R., 1990: On the statistical analysis of series of observations. World Meteorological Organization, Technical Note 143, Geneva, 192 p.
40. STERN N. (2006). *Stern review: The economics of climate change*, Cambridge: Cambridge University Press.

41. SULTAN B., 2011. L'étude des variations et du changement climatique en Afrique de l'Ouest et ses retombées sociétales, Habilitation à diriger des recherches, Université Pierre et Marie Curie, 137 p.
42. SULTAN B, ROUDIER P, QUIRION P, ALHASSANE A, MULLER B, DINGKUHN M AND BARON C 2013 Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Saheli.
43. TAYLOR C M, BELUŠIC D, GUICHARD F, PARKER D J, VISCHEL T, BOCK O and Panthou G 2017 Frequency of extreme Sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations Nature 544 475.
44. UNFCCC, 2015 Conférence des Parties Vingt et unième session Paris, 30 novembre-11 décembre 2015, Projet de décision -/CP.21, p. 29.
45. Valette J-J., 2015. Santé et réchauffement climatique : quelles maladies faut-il redouter in WE DEMAIN.
46. WARTENBURGER R, HIRSCHI M, DONATM G, GREVE P, PITMAN A J AND SENEVIRATEMPÉRATURES MINIMALESES., 2017Changes in regional climate extremes as a function of global mean temperature: an interactive plotting framework Geosci. Model Dev. 10 3609.
47. YANDAÏ FISSOU HENRY, MOUNDINE KEBFENE, DJOUMBE EPHRAÏM, BOULOTIGAM KODBESSE, MOUKENET AZOUKALNE, KODINDO ISRAEL DEMBA ET HINZOUNBE CLEMENT KERAH, 2017, « Perception de risques du paludisme et utilisation des moustiquaires au Tchad », Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(1), p. 228-236.

Formes topographiques des arthroses des membres en consultation rhumatologique à Abidjan

Kollo Nzima Brice

Bamba Aboubakar

Dangui Eric

Diomandé Mohamed

Eti Edmond

Service de rhumatologie CHU de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire

Koffi Joseph Enoch

Kouakou Ehaulier Christian Louis

Service de rhumatologie CHU de Bouaké, Côte d'Ivoire

Ngon Nzima Hilary Brenda

Ada Kanbaye Medom Hadia

Service de Medecine Interne, Hopital Général Yaounde, Cameroun

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p112](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p112)

Submitted: 07 March 2024

Accepted: 03 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Nzima Brice, K., Aboubakar, B., Eric, D., Mohamed, D., Edmond, E., Enoch, K. J., Christian Louis, K. E., Nzima Hilary Brenda, N., & Kanbaye Medom Hadia, A. (2024). *Formes topographiques des arthroses des membres en consultation rhumatologique à Abidjan*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 112.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p112>

Résumé

Objectif: Déterminer les formes topographiques des arthroses des membres en rhumatologie à Abidjan. **Méthodologie:** Etude transversale réalisée dans le service de rhumatologie du CHU de Cocody à Abidjan (Côte d'Ivoire) sur une période allant du 1^{er} Février au 10 Mai 2023. Les patients venus en consultation de rhumatologie présentant des arthralgies mécaniques des membres et disposant des imageries ont été inclus. Le diagnostic était posé par le médecin sur la base des arguments cliniques et paracliniques. Les critères de Kellgren et Lawrence avaient permis la classification des stades radiologiques de l'arthrose des membres. Nous nous sommes intéressés aux données sociodémographiques, cliniques et paracliniques. **Résultats:** Deux cent quatre-vingt-six patients ont été recensés pendant la période d'étude.

L'âge moyen était de 55 ans \pm 11 ans et le sex ratio de 0,42. La principale catégorie socio-professionnelle était le secteur informel (34,96%). La majorité des patients avait un niveau socio-économique bas (80,2%) et vivait en milieu urbain (92,06%). Les antécédents les plus retrouvés étaient l'hypertension (33,21%) et l'ulcère gastro-duodéal (17,13%). Les patients étaient obèses à 68,18%. La durée moyenne d'évolution des symptômes jusqu'au diagnostic était de 11 mois. On retrouvait 185 localisations d'arthrose aux membres inférieurs (64,68%) et de 101 localisations aux membres supérieurs (35,31%). Les formes topographiques observées aux membres inférieurs incluaient : gonarthrose 163 (88,10%) ; coxarthrose 14 (7,56%) ; arthrose de la cheville 7 (3,78%), arthrose du médiopied (1,08%). Aux membres supérieurs, les localisations observées étaient les suivantes : arthrose de l'épaule: 21 (20,79%) ; arthrose digitale: 67 (66,33%), arthrose du coude 7 (6,93%), arthrose du poignet 9(8,91%). **Conclusion :** L'arthrose des membres touche les femmes obèses et domine aux membres inférieurs. Le genou reste sa localisation la plus fréquente.

Mots-clés: Arthrose- topographique-membres-Abidjan

Topographic forms of osteoarthritis of limbs in patients seen in rheumatology in Abidjan

Kollo Nzima Brice

Bamba Aboubakar

Dangui Eric

Diomandé Mohamed

Eti Edmond

Service de rhumatologie CHU de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire

Koffi Joseph Enoch

Kouakou Ehaulier Christian Louis

Service de rhumatologie CHU de Bouaké, Côte d'Ivoire

Ngon Nzima Hilary Brenda

Ada Kanbaye Medom Hadia

Service de Médecine Interne, Hôpital Général Yaounde, Cameroun

Abstract

Objective: Determine the topographies of osteoarthritis of the limbs in patients seen in rheumatology in Abidjan. **Methodology:** Cross-sectional study was conducted in the rheumatology department of the Cocody University Hospital in Abidjan (Ivory Coast) from 1st February to 10 May 2023. Patients who came for a rheumatology consultation presenting with

mechanical arthralgia of the limbs and with imagery were included. The diagnosis was made by the medical doctor on the basis of clinical and paraclinical arguments. The Kellgren and Lawrence criteria allowed the classification of the radiological stages of osteoarthritis of the limbs. We were interested in sociodemographic, clinical and paraclinical data. **Results:** Two hundred and eighty-six patients were enrolled during the study period. The mean age of patients was 55 years \pm 11 years and the sex ratio was 0,42. The dominant socio-professional category was the informal sector (34.96%). The majority of patients had a low socio-economic level (80.2%) and lived in urban area (92.06%). The most common antecedents were hypertension (33.21%) and peptic ulcer (17.13%). The patients were 68.18% obese. The average duration of symptom progression until diagnosis was 11 months. There were 185 localizations of osteoarthritis in the lower limbs (64.68%) and 101 localizations in the upper limbs (35.31%). The different topographies in the lower limbs included: knees 163 (88.10%); hips 14 (7.56%); osteoarthritis of the ankle 7 (3.78%), osteoarthritis of the midfoot (1.08%). For the upper limbs, the localizations observed were as follows : digital osteoarthritis 67 (66.33%), osteoarthritis of shoulder 21 (20.79%), osteoarthritis of elbow 7 (6.93%), osteoarthritis of wrist 9 (8.91%). **Conclusion:** Osteoarthritis of limbs affected obese women and was dominated by lower limbs. The knee remains its most frequent localization.

Keywords: Osteoarthritis of the limbs, topographic, Abidjan

Introduction

L'arthrose est la plus fréquente des pathologies dégénératives rencontrées en rhumatologie (Harrison, 2006 ; Haslett & al, 2004 ; Guler & al, 2022), elle est liée à des dysfonctionnements qui impliquent tous les composants de l'articulation avec notamment une destruction du cartilage, une inflammation de la membrane synoviale, un remodelage de l'os sous-chondral (Xie & al, 2019). Sa gravité réside dans son caractère invalidant qui lui donne un retentissement socio-économique majeur (Harrison, 2006 ; Haslett & al, 2004 ; Guler & al, 2022 ; Xie & al, 2019 ; Levy & al, 1993). Parmi les différentes localisations d'arthrose aux membres, l'arthrose digitale semble plus fréquente en occident contrairement aux données de la littérature en Afrique Subsaharienne qui rapportent une fréquence élevée de la gonarthrose (Avimadje & al, 2003 ; Singwe-Ngandeu & al, 2007 ; Eti & al, 1998 ; Mijiyawa & al, 1993 ; Malemba & al, 2008). Il nous a paru important de déterminer la distribution topographique de l'arthrose chez les patients vus en rhumatologie à Abidjan.

Patients et méthodes

Il s'agit d'une étude transversale et descriptive réalisée dans le service de rhumatologie du CHU de Cocody à Abidjan (Côte d'Ivoire) sur une période allant du 1^{er} Février au 10 Mai 2023. Cette étude a porté sur 286 patients venus en consultation de rhumatologie présentant des arthralgies mécaniques des membres et disposant des imageries. Le diagnostic est posé par le médecin sur la base des arguments cliniques et paracliniques (douleur articulaire, pincement articulaire et/ou ostéosclérose sous-chondrale, ostéophytose, géodes sous-chondraux). Les critères de Kellgren et Lawrence avaient permis la classification des stades radiologiques de l'arthrose des membres (Kellgren & al, 1957). Les atteintes articulaires infectieuses, métaboliques, inflammatoires et traumatiques des membres étaient exclues, de même que les atteintes dégénératives du rachis. Nous nous sommes intéressés aux paramètres suivants : données sociodémographiques (âge, sexe, profession, revenu mensuel, provenance), données cliniques (antécédents, grade de l'obésité selon l'indice de masse corporel, trouble statique, site de l'arthrose, durée d'évolution des symptômes), données paracliniques (Imagerie, stades radiographique de Kellgren et Lawrence. Le rapport du poids (kg) sur la taille au carré (m²) nous a permis de calculer l'indice de masse corporelle. L'obésité a été définie comme un indice de masse corporelle (IMC) supérieur ou égal à 30 kg/m² et classé en 3 grades : grade 1 ($30 \leq \text{IMC} < 35$), grade 2 ($35 \leq \text{IMC} < 40$) et grade 3 ($\text{IMC} \geq 40$) (Raccach & al, 2000). Le niveau socio-économique (NSE) a été défini de façon arbitraire en fonction du salaire minimum interprofessionnel garanti (75.000F CFA=115,38 euros). Il est considéré comme bas si le patient réunissait moins de 250.000 F CFA (382 euro) par mois, moyen lorsqu'il réunissait entre 250.000 F CFA et 500.000 F CFA (763 euro) par mois et élevé si le revenu était supérieur à 500.000 F CFA par mois.). Les données ont été saisies et analysées à l'aide du logiciel SPSS version 25. La description simple de l'échantillon a été possible grâce au calcul des proportions et des moyennes.

Resultats

Deux cent quatre-vingt-six patients ont été recensés pendant la période d'étude. L'effectif comprenait 201 femmes (70,27%) et 85 hommes (29,72%) avec un âge moyen de 55 ans \pm 11 ans (Extrême : 22 ans et 84 ans). Les travailleurs du secteur informel (34,96%) et les ménagères (29,72%) étaient les catégories socioprofessionnelles les plus touchées suivies des cadres administratifs (19,93%), des retraités(6,99%), des élèves et étudiants (5,94%), des sans-emploi (2,46%). Le niveau socio-économique était bas (80,2%), moyen (14,70%), élevé (5,20%). Ils vivaient en milieu urbain (92,06%) et rural (7,40%). Les antécédents étaient l'hypertension (33,21%), l'ulcère gastro-duodéal (17,13%), le diabète (13,98%), hémoglobinopathies

(3,49%). Les patients étaient obèses à 68,18% avec une obésité grade 1 (87,17%), grade 2 (10,25%), grade 3 (2,56%). La durée moyenne d'évolution des symptômes jusqu'au diagnostic était de 11 mois. On retrouvait 185 localisations d'arthrose aux membres inférieurs (64,68%) et de 101 localisations aux membres supérieurs (35,31%). Le tableau I résume la fréquence des différentes topographies de l'arthrose aux membres inférieurs et sur le tableau II, figurent la fréquence des localisations de l'arthrose aux membres supérieurs.

Tableau I : Distribution topographique de l'arthrose aux membres inférieurs

Variable	Modalités	Effectif	Proportion (%)
Site de l'arthrose	Bilatérale	110	80,9
	Unilatérale	26	19,1
Localisation	Multiple	11	8,1
	Unique	125	91,9
Topographie	Cheville	7	3,78
	Genou	163	88,10
	Hanche	14	7,56
	Pied	2	1,08

La gonarthrose avait affecté 136 (83,43%) femmes et 27 (16,56%) hommes. Le principal motif de consultation pour la gonarthrose était une douleur dans 100% de cas. Les signes cliniques étaient principalement la douleur à la mobilisation du genou dans 163 cas (100%), la présence d'un épanchement intra-articulaire 104 fois (63,80%), les crépitements 109 fois (66,87%), une déformation axiale 100 fois (61,34%), une laxité ligamentaire 7 fois (4,29%). La gonarthrose était associée à l'obésité dans 123 cas parmi lesquelles 96 femmes (78,04%).

Tableau II : Topographie de l'arthrose aux membres supérieurs

Variable	Modalités	Effectif	Proportion (%)
Site de l'arthrose	Bilatérale	40	80,9
	Unilatérale	61	19,1
Localisation	Multiple	87	8,1
	Unique	14	91,9
Topographie	Epaule	21	20,79
	Coude	7	6,93
	Poignet	9	8,91
	Doigt	67	66,33

Les doigts représentaient le siège le plus atteint (69,3%) avec notamment l'inter phalangien distale 55 (82,08%), l'inter phalangien proximal 35 (52,23%) et les métacarpo-phalangiennes 5(7,46%). Les nodosités d'Heberden étaient présentes chez 3 patients sur les 67 patients.

Les stades radiographique de Kellgren et Lawrence étaient, stade 1 (9,20%), stade 2 (46,90%) stade 3 (29,20%), stade 4 (6,90%).

Discussion

Ce travail a été réalisé dans le seul service de rhumatologie d'Abidjan. Malgré le caractère confidentiel et anonyme de l'étude, il nous était difficile de vérifier la véracité des réponses fournies par les enquêtés. L'échantillon bien qu'étant conséquent ne saurait refléter la réalité en Côte d'Ivoire.

Notre série était dominée par les femmes (70,20%) avec un âge moyen de 55 ans, ce qui est comparable à d'autres séries africaines (Singwe-Ngandeu & al, 2007 ; Eti & al, 1998 ; Mijiyawa & al, 1993 ; Malemba & al, 2008). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les femmes ont un risque plus élevé de développer une arthrose après l'âge de la reproduction (ménopause). A ce moment, les effets protecteurs des hormones sexuelles féminines, qui semblent réduire le risque d'arthrose, commencent à diminuer, mais aussi par l'absence de traitement hormonal substitutif (Ndao & al, 2019 ; Zhang & al, 2010). Il est connu dans la littérature que l'âge avancé est un facteur de risque d'arthrose (Ndao & al, 2019 ; Ravaud & al, 2000). Les éléments de l'environnement articulaire local, tels que l'activité musculaire protectrice des articulations, la force musculaire par rapport au poids corporel, la proprioception, la laxité varus-valgus, et les ménisques, peuvent être endommagés ou altérés chez certaines personnes âgées et contribuer au développement de l'arthrose (Sakeba & al, 2006). Les patients étaient obèses à 68,18% avec une obésité grade 1 (87,17%), grade 2 (10,25%), grade 3 (2,56%). Le même constat a été fait en Afrique subsaharienne (Ndao & al, 2019 ; Singwe & al, 2009 ; Oniankitan & al, 2009 ; Ouédraogo & al, 2008). En Afrique, l'obésité est considérée comme un facteur de bien être psychosocial. Chez nos patients, elle pourrait être expliquée par plusieurs facteurs : alimentaires et socioculturelles. Dans nos contrées le régime alimentaire est principalement à base de céréales (riz, mil, maïs) et de féculent qui sont très riches en calories. Un lien systémique et métabolique entre obésité et arthrose fait intervenir de nombreux acteurs moléculaires parmi lesquels les adipokines, les cytokines pro-inflammatoires, les acides gras et les lipides qui participent à la dégradation du cartilage (Yusuf & al, 2010 ; Courties & al, 2016 ; Maryfran & al, 2010). Notre série était dominée aux membres inférieurs par la gonarthrose (88,10%) contrastant avec la rareté de la coxarthrose. Ce qui concordait avec la littérature africaine (Ndao & al, 2019 ; Singwe & al, 2009 ; Oniankitan & al, 2009, Ouédraogo & al, 2008 ; Koffi-Tessio & al, 2021). Si la fréquence élevée de la gonarthrose semble être due aux facteurs génétiques, l'obésité et les facteurs socioculturels tels s'accroupir et pour saluer, la rareté de l'arthrose de la hanche pourrait être liée à la faible incidence de la dysplasie de la hanche en Afrique (Oniankitan & al, 2009,

Ouédraogo & al, 2008). Les genoux font parties des articulations les plus actives du corps humain et soutiennent presque tout le poids du corps. Le surplus de poids entraîné par l'obésité augmente la pression au niveau du cartilage articulaire du genou. Il a été démontré que chaque kilogramme par mètre carré en trop au-dessus d'un IMC de 27 augmente le risque de gonarthrose de 15 % (Berenbaum & al, 2008). Aux membres supérieurs, Notre série était dominée par l'arthrose digitale (69,3%) contrairement aux autres séries africaines qui mentionnaient l'absence de l'arthrose digitale (Mijiyawa & al, 1993 ; Malemba & al, 2008) ou une proportion plus faible (23,08%) (Singwe & al, 2009). Ceci pourrait être lié à la prédominance de l'obésité dans notre population. D'après les données publiées depuis plusieurs années, l'obésité est associée au risque d'arthrose du genou, de la hanche et de l'arthrose digitale mais avec une association plus faible pour la hanche (Rat & al, 2016). Il existe un lien systémique et métabolique entre obésité et arthrose, illustré par l'association entre l'arthrose des mains et l'obésité ou surpoids (Courties & al, 2016). L'association entre obésité et arthrose fait appel à de nombreux acteurs, au-delà du simple lien mécanique et des adipokines. L'inflammation de bas grade est le point commun de tous les mécanismes mis en jeu et donne un rôle prépondérant à l'inflammation métabolique (Courties & al, 2016).

Conclusion

L'arthrose des membres touche les femmes obèses et domine aux membres inférieurs. Le genou reste sa localisation la plus fréquente. Il est important d'intensifier les campagnes de santé communautaire sur l'arthrose et sur l'obésité. Ces Campagnes pourraient consister en une sensibilisation du public combinée à une formation continue des professionnels de santé. L'objectif serait de retarder la survenue de l'arthrose et prévenir l'obésité.

Études humaines : Cette recherche est conforme aux principes éthiques d'Helsinki pour la recherche médicale impliquant des sujets humains. Elle a été approuvée par l'organe institutionnel compétent représenté par la direction médicale scientifique de notre hôpital.

Financement : Nous déclarons n'avoir reçu aucun financement pour ce travail effectué.

Conflits d'intérêts : Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

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

References:

1. Avimadje, AM., Goupille, P., Addra, B., Djorolo, F., Guenou, AD., Hougbe, F., & al. (2003). Distribution topographique de l'arthrose. *Synoviale*; 123 : 21-7.
2. Berenbaum, F., & Sellam, J. (2008). Obesity and osteoarthritis: What are the links? *Joint Bone Spine*; 75(6) : 667-8.
3. Courties, A., & Sellam J. (2016). Obésité et arthrose : données physiopathologiques. *Revue du rhumatisme* ; 83(1) :18-24.
4. Eti, E., Kouakou, HB., Daboiko, JC., Ouali, B., Ouattara, B., Gabla, KA., & al. (1998) Aspects épidémiologiques, cliniques, radiologiques de la gonarthrose en Côte d'Ivoire. *Rev Rhum* ; 65 :766-70.
5. Guler M, Ali S et Jacques C. (2022). Arthrose et obésité, rôle central du tissu adipeux. *Med Sci* ;38(9):749-51.
6. Harrisson TR. (2006). *Principes de médecine interne*. 16^{ème} éd. Paris: Médecine –Science Publication : 2607p.
7. Haslett, C., Chilver, E., Hunter, J., & Boun, N. (2004). *Davidson médecine interne, Principe et Pratique*. 2^e ed. Paris : Maloine : 1266p.
8. Kellgren, JH., & Lawrence, JS. (1957). Radiological assessment of osteoarthritis. *Ann. Rheum. Dis*. 16:494-502.
9. Koffi-Tessio, VES., Oniankitan, S., Hé, C., Atake, AE., Kakpovi, K., Yibe, F., Mba, E., Fianyo, E., Houzou, P., Oniankitan, O., & Mijiyawa, M. (2021). *Rhum Afr Franc*; 4 (1): 1–6.
10. Levy, E., Ferme, A., Perochaud, D., & Bono, I. (1993). les coûts socio-économiques de l'arthrose en France. *Rev Rhum Ed Fr* ; 60(6 Pt 2):63S-67S.
11. Malemba, JJ., & Mbuyi-Muamba, JM. (2008). Clinical and epidemiological features of rheumatic diseases in patients attending the university hospital in Kinshasa. *Clin Rheumatol* 27:47-54.
12. MaryFran, R., & Karvonen-Gutierrez, CA. (2010). The evolving role of obesity in knee osteoarthritis. *Curr Opin Rheumatol* ; 22(5) :533-72.
13. Mijiyawa, M., & Ekoue, K. (1993). Les arthroses des membres en consultation hospitalière à Lomé (Togo). *Rev Rhum* ; 60 : 514-7
14. Ndao, AC., Diakhaté, M., Faye, A., Boundia, D., & al. (2019). Statut pondéral et comorbidités au cours de l'arthrose au Sénégal. *Batna J Med Sci* ;6(2):87-92.
15. Oniankitan, O., Houzou, P., Viwalé, ES., & al. (2009). Formes topographiques des arthroses des membres en consultation rhumatologique à Lomé. *La Tunisie médicale* ;87 (12) : 863 – 66.
16. Ouédraogo, DD., Séogo, H., Cissé, R., Tiéno, H., Ouédraogo, T., Nacoulma, IS., & Drabo, YJ. (2008). Facteurs de risque associés à la

- gonarthrose en consultation de rhumatologie à Ouagadougou (Burkina Faso). *Med Trop*; 68: 597-99.
17. Raccach D. (2000). Obésité : épidémiologie, diagnostic et complications. *Endocr Metab Nutr.* ;50:549-52.
 18. Rat, & A-C. (2016). Obésité et arthrose : données épidémiologiques. *Revue Du Rhumatisme Monographies* ; 83(1) : 13–17.
 19. Ravaud, P., & Dougados, M. (2000). Définition et épidémiologie de la gonarthrose. *Revue du Rhumatisme* 2000; 67(3): 130–37.
 20. Sakeba, N., & Sharma L. (2006). Epidemiology of Osteoarthritis: An Update. *Current Rheumatology Reports* ; 8:7–15
 21. Singwé, M., Bitang, AM., Biwole, S., Nko'o, S., & Juimo, AG. (2009). Formes topographiques des arthroses des membres vues en rhumatologie à Yaoundé, Cameroun. *Health Sciences and disease* ; 10(2) : 1-4.
 22. Singwe-Ngandeu, M., Meli, J., Nstiba, H., Nouedoui, C., Yollo, AV., Sida, MB., & Muna, WF. (2007). Rheumatic diseases in patients attending a clinic at a referral Hospital in Yaounde, Cameroun. *East Afr Med J* 84:404-409.
 23. Xie, C., Chen, Q .(2019). Adipokines: new therapeutic target for osteoarthritis?. *Curr Rheumatol Rep* ; 21(12) : 71-6.
 24. Yusuf, E., Nelissen, RG., Ioan-Facsinay, A., & al. (2010). Association between weight or body mass index and hand osteoarthritis: a systematic review. *Ann Rheum Dis* ;69:761–5.
 25. Zhang, W., Nuki, G., Moskowitz, RW., & al. (2010). OARSI recommendations for the management of hip and knee osteoarthritis, part III: changes in evidence following systematic cumulative update of research published through January 2009. *Osteoarthritis Cartilage*; 18 (4): 476-99.

Importance socioéconomique de l'exploitation des ressources naturelles de l'Aire de Patrimoine Communautaire (APAC) de Mangagoulack, Sénégal

Amadou Faye Diedhiou

Département d'Agroforesterie, Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie (LAFE), Ecole Doctorale Sciences, Technologies et Ingénierie (ED-STI), Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

Ngor Ndour

Enseignant Chercheur, Département d'Agroforesterie, Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie (LAFE), Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

Maurice Dasyva

Enseignant Chercheur, Département des Sciences et Techniques Agricoles, Alimentaires et Nutritionnelles, Ecole Supérieure Polytech Diamniadio, Université Amadou Mahtar MBOW de Dakar

Antoine Sambou

Enseignant Chercheur, Département d'Agroforesterie, Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie (LAFE), Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p121](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p121)

Submitted: 15 April 2024
Accepted: 11 June 2024
Published: 30 June 2024

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

Cite As:

Diedhiou, A. F., Ndour, N., Dasyva, M., & Sambou, A. (2024). *Importance socioéconomique de l'exploitation des ressources naturelles de l'Aire de Patrimoine Communautaire (APAC) de Mangagoulack, Sénégal*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 121.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p121>

Résumé

Les écosystèmes de mangrove sont essentiels à la survie de la population de la commune de Mangagoulack qui tire de l'aire marine protégée de Kawawana des ressources halieutiques comme les huîtres, le sel et le bois de palétuviers. Cette étude vise à montrer *l'importance socioéconomique de l'exploitation des ressources naturelles l'aire marine de Kawawana*. Elle a été réalisée sur la base d'enquêtes agro socioéconomique auprès de 294 acteurs. Les résultats montrent que l'exploitation des ressources naturelles liée

aux activités socioéconomiques des ménages est plus exercée par des personnes âgées de 35 à 50 ans (47%) dont les femmes représentent (73%). La riziculture de mangrove est activité dominante (26,28%) suivie du maraîchage (21,55%). La population exploite les huîtres (12,17%), le sel (10,14%) et le bois de mangrove (11,40%). Quant à l'utilisation des palétuviers, les espèces du genre *Rhizophora* et *Avicennia germinans* sont les plus connus (35%). Elles sont utilisées dans la cuisson (43%), la confection de plafonds et des clôtures (19%), la médecine traditionnelle (8%) et des usages culturels (7%). Ces espèces de mangrove sont plus exploitées pendant les mois de mars et avril (24%) correspondant à la période de cueillette des huîtres dans le bolong de Tendouck (44,31%). La technique du déroquage d'huîtres est plus pratiquée par les exploitants (67,74%). Cette technique contribue concomitamment à la conservation des palétuviers et des huîtres. Les répondants estiment que cette technique assure un stock d'huîtres abondant dans le milieu (77%) avec des individus de grosse taille (83%). La commercialisation des huîtres se fait principalement dans le village de l'exploitant (56%) par les « bana-bana » dont le revenu trimestriel varie de 50 000 à plus 450 000f CFA. Les pratiques endogènes répertoriées révèlent des méthodes de gestion respectueuses de la durabilité des ressources de la mangrove.

Mots-clés: Socioéconomique, Exploitation, Ressources de mangrove, Kawawana

Socioeconomic importance of the natural resource exploitation in the Community Heritage Area (APAC) of Mangagoulack, Senegal

Amadou Faye Diedhiou

Département d'Agroforesterie, Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie (LAFE), Ecole Doctorale Sciences, Technologies et Ingénierie (ED-STI), Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

Ngor Ndour

Enseignant Chercheur, Département d'Agroforesterie, Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie (LAFE), Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

Maurice Dasyva

Enseignant Chercheur, Département des Sciences et Techniques Agricoles, Alimentaires et Nutritionnelles, Ecole Supérieure Polytech Diamniadio, Université Amadou Mahtar MBOW de Dakar

Antoine Sambou

Enseignant Chercheur, Département d'Agroforesterie, Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie (LAFE), Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

Abstract

The mangrove ecosystems play a vital role in sustaining the population of the Mangagoulack commune, providing essential fishery resources such as oysters, salt, and mangrove wood from the Kawawana Marine Protected Area. This study aims at stressing the socioeconomic significance of harnessing the natural resources of the Kawawana Marine Protected Area. It was conducted through agro-socioeconomic surveys involving 294 stakeholders. The findings reveal that the exploitation of natural resources linked to the socioeconomic activities of households is primarily undertaken by individuals aged between 35 and 50 (47%), with women representing 73% of this group. Mangrove rice farming emerges as the predominant activity (26.28%), followed by market gardening (21.55%). The population also engages in the exploitation of oysters (12.17%), salt (10.14%), and mangrove wood (11.40%). In terms of mangrove utilization, species such as those belonging to the genus *Rhizophora* and *Avicennia germinans* are most commonly known (35%). They are utilized for cooking (43%), constructing ceilings and fences (19%), traditional medicine (8%), and cultural practices (7%). These mangrove species are mainly exploited during March and April (24%), corresponding to the oyster harvesting season in the Tendouck bolong

(44.31%). The practice of oyster peeling is more prevalent among the exploiters (67.74%), a technique that concurrently contributes to the conservation of mangroves and oysters. Respondents express that this technique ensures an abundant stock of oysters in the area (77%), with a significant proportion being large individuals (83%). Oysters are primarily commercialized in the exploiter's village (56%) by "bana-bana," whose quarterly incomes range from 50,000 to over 450,000 CFA francs. Recorded endogenous practices reveal management approaches that maintain the sustainability of mangrove resources.

Keywords: Socioeconomic, Mangrove resources, Exploitation , Kawawana

Introduction

Les mangroves jouent un rôle biologique indispensable et fournissent de nombreux services écosystémiques importants pour la société et les communautés côtières (Blasco, 1991). Sur le plan écologique, la mangrove constitue un support favorable à la biodiversité en tant qu'habitat, nichoir, site de reproduction et d'alimentation pour de nombreuses espèces animales et végétales (Cormier-Salem, 1999 ; UICN, 1999 ; Carrere, 2009). Depuis la signature de la Convention sur la diversité biologique, les dimensions politiques et juridiques de la conservation de la biodiversité se sont affirmées. Parmi celles-ci, la reconnaissance des savoirs traditionnels des communautés autochtones et locales est devenue une question centrale des négociations. Ces savoirs liés à l'exploitation et la conservation des ressources naturelles de la mangrove ont été investis d'un rôle décisif dans la protection de la biodiversité (Charline, 2006). Un peu partout en Afrique, les communautés locales ont, depuis la nuit des temps, sacralisé certains espaces forestiers dotés de divers interdits pour faciliter l'organisation d'une diversité d'activités culturelles (Yameogo, 2015). En basse Casamance, la société traditionnelle diola, dans ses rapports avec la nature, participe de façon significative à la préservation des ressources naturelles et de la biodiversité en général. Pour ces populations des zones côtières, notamment en basse Casamance, la mangrove est une ressource économique et culturelle précieuse (Marut, 2010 ; Diatta, 2012 ; Badji, 2015). L'exploitation socioéconomique des ressources de mangrove est liée à la santé, à la communication, à la pêche, à la chasse et aux habitations (Coulibaly, 2012). Ces populations disposent d'institutions et de réglementations pour assurer la durabilité de ces ressources naturelles à partir desquelles elles tirent des revenus conséquents (Diallo, 2004). Au regard de ces multiples rôles, la présente étude vise spécifiquement à démontrer *l'importance socioéconomique de l'exploitation des ressources naturelles de l'Aire de Patrimoine Communautaire (APAC) de Mangagoulack en Casamance au Sénégal.*

Matériel et Méthodes

Présentation de l'APAC Kawawana

L'Aire de Patrimoine Communautaire (APAC) de Mangagoulack se situe dans la région de Ziguinchor, département de Bignona, au sud-est de l'arrondissement de Tendouck, commune de Mangagoulack. Cette dernière s'étend approximativement sur 350 km² dont 130 km² en zone de mangrove et dans les bolongs avec une population de 8477 habitants composée majoritairement de diola (ANSD, 2013). Cette commune regroupe huit (8) villages que sont : Tendouck, Boutégol, Diatock, Mangagoulack, Elana, Bodé, Bouteum et Affiniam (Figure 1) couvrant une superficie de 9 665 ha. L'APAC est située sur la rive nord de la ria de Casamance, entre 12°40' et 16°25' de latitude Nord et 12°37' et 16°32' de longitude Ouest entre la Gambie au nord, la Guinée Bissau au sud, l'océan Atlantique à l'ouest et la rivière du Gouloumbou à l'est (Diatta *et al.*, 2017). Cette APAC communément appelée « Kawawana » comme acronyme issu de l'expression diola “*Kapoye Wafwolale Wata Nanang* (« protégeons notre héritage ») est constituée de trois (3) bolongs distincts. Le bolong de Mutij où toute exploitation est interdite est considéré comme une zone de frayère. Celui de Tendouck est un bolong principal où la pêche est autorisée sur la base d'un contrôle des mailles des filets de pêche. Le bolong des villages est celui qui conduit vers plusieurs destinations et où la pêche est autorisée pour la population autochtone qui doit respecter la taille des mailles recommandées par le service des pêches (pour les ethmaloses, maille supérieure ou égale à 36, pour les mullets, maille supérieure ou égale à 25 et pour les grosses espèces, maille supérieure ou égale à 56).

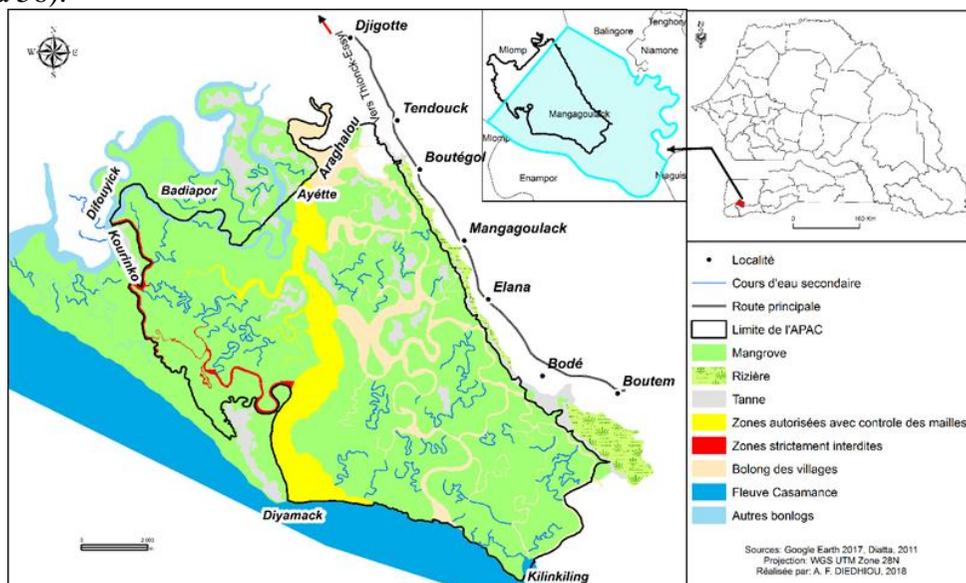


Figure 1 : Localisation de l'APAC de Mangagoulack

Échantillonnage

La base de sondage repose sur le Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage publié par l'ANSD en 2013. Ainsi, le nombre total de ménages de ces sept (7) villages (Tendouck, Boutégol, Mangagoulack, Elana, Bodé, Bouteum et Affiniam) est de **1109**.

Un échantillonnage est effectué afin de déterminer le nombre de personnes à enquêter sur l'ensemble des sept (7) villages de la commune situés à proximité de la mangrove. La taille de l'échantillon est déterminée sur la base du nombre total de personnes et de ménages des sept (7) villages à l'aide de la formule de **Fischer** déterminée par la relation suivante :

$$Taille\ Echantillon\ (TE) = \frac{n}{(1+\frac{n}{N})} \quad \text{avec } n = 1/d^2$$

d = degré d'erreur = **5%** ; **N** = nombre total de personnes.

Application : $\left\{ \begin{array}{l} n = 1/0,05^2 = 400 \text{ donc } TE = 400 / (1+400/1109) = 294 \end{array} \right.$

Pour la détermination du nombre de personnes à enquêter par village, on a procédé par une **allocation au prorata** de la taille du village en fonction du nombre de personnes. Sur la base de cette approche, la formule suivante est adoptée par village :

$$\begin{aligned} NME\ par\ village &= Nbre\ de\ ménages\ par\ village \\ &\times \frac{Taille\ Echantillon\ (TE)}{nombre\ total\ de\ ménages} \end{aligned}$$

NME= Nombre de Ménages à Enquêter

Ces échantillons sont répartis proportionnellement à l'effectif des ménages dans chaque village correspondant à (échantillonnage aléatoire, voir Tableau 1).

Tableau 1 : Répartition des personnes enquêtées par village

Villages	Tendouck	Boutégol	Mangagoulack	Elana	Bodé	Bouteum	Affiniam
Nombre de ménages	326	102	104	124	38	80	335
Echantillons	86	27	28	33	10	21	89

Sur cette base, un échantillon de 294 personnes a été enquêté au niveau des ménages sur l'ensemble des 7 villages de la commune.

Enquêtes et entretiens

Pour atteindre les objectifs de l'étude, une enquête à la fois socioéconomique et ethnobotanique a été réalisée auprès de la population des différents villages situés sur la frange maritime de l'APAC. Elle a permis

d'une part de montrer l'importance socioéconomique des ressources de mangrove. D'autre part, elle a fait focus sur les usages et les pratiques traditionnelles associées à la conservation des écosystèmes de mangrove dans chaque village. En plus de l'approche individuelle de l'enquête, des focus groups ont été réalisés avec les cueilleuses d'huîtres, les guérisseurs et le comité de surveillance de l'APAC sur la base de guides d'entretien. Ils ont permis de relever une vérité consensuelle entre les différents acteurs sur certains savoirs endogènes. Les observations faites sur le terrain nous ont permis de noter des informations sur certaines pratiques et de mieux comprendre les réalités socioculturelles et socioéconomiques dans la zone d'influence de *Kawawana*.

Traitement des données

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel Sphinx, version 4.5. Le tableur Excel a été utilisé pour le traitement des statistiques descriptives (somme, moyenne, fréquence, proportion) et l'analyse des données de l'enquête.

Résultats

La répartition des personnes enquêtées par classe d'âge

La répartition des personnes enquêtées en fonction de leur âge est consignée dans la Figure 2.

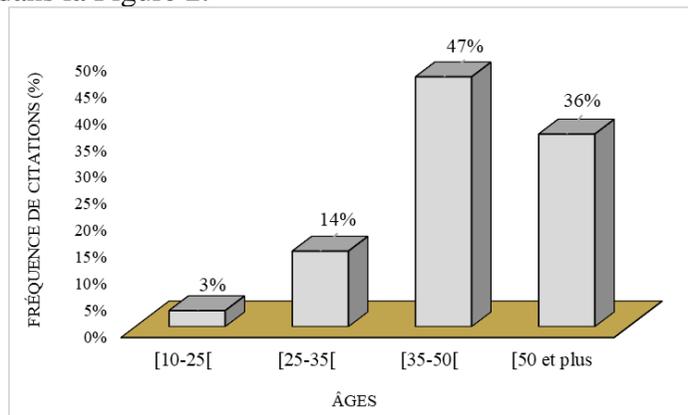


Figure 2 : Répartition des personnes enquêtées par classe d'âge

L'analyse de la Figure 2 montre que la majorité (47%) des personnes enquêtées appartient à la classe d'âge comprise entre [35-50[ans. La classe supérieure ou égale à 50 ans représente 36% de fréquence de citations des enquêtés. Les classes d'âges [10-25[et [25-35[sont moins représentées, avec respectivement 3% et 14% des enquêtés. Au regard du genre, les femmes représentent la majorité (73%) de la population enquêtée.

Les activités socioéconomiques

Les enquêtes réalisées auprès de la population de la commune de Mangagoulack donnent un aperçu de la diversité des activités socioéconomiques exercées autour de l'APAC « Kawawana ». Celles-ci sont présentées au niveau de la Figure 3.

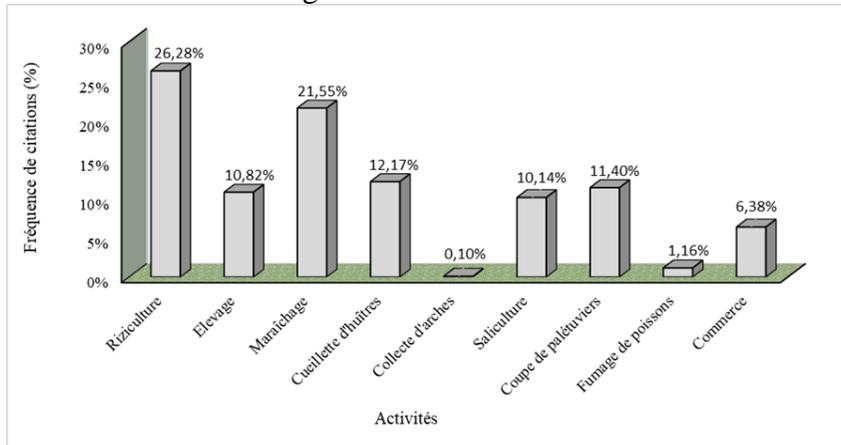


Figure 3 : Représentativité des activités socioéconomiques de la population

Il ressort de l'analyse de la Figure 3 que la riziculture est la principale activité avec une fréquence de citations de 26,28%. Le maraîchage et l'élevage sont également importants, avec respectivement 21,55% et 10,82%. Les activités liées aux ressources de mangrove comme la cueillette des huîtres (12,17%), la saliciculture (10,14%), l'exploitation des produits ligneux de la mangrove (11,40%) et enfin la collecte d'arches (0,10%) et le fumage de poissons (1,16%) sont les moins représentées. Par ailleurs, il faut retenir que le commerce ne représente qu'une part (6,38 %) relativement faible de l'économie locale.

Les pratiques endogènes liées à l'exploitation des ressources ligneuses de la mangrove

L'analyse des données montrent l'existence d'un savoir endogène des populations assez diversifié sur les ressources de la mangrove.

La connaissance des espèces ligneuses de mangroves

Les résultats de l'enquête montrent que la population connaît les différents palétuviers de la mangrove (Figure 4).

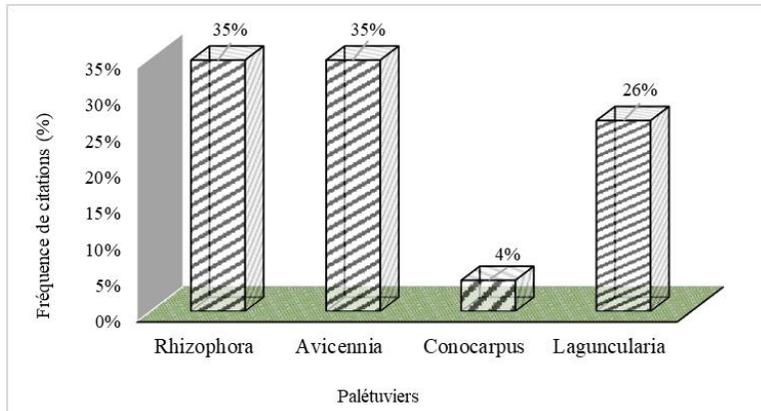


Figure 4 : Différents palétuviers de la mangrove

L'analyse de la Figure 4 révèle que les espèces du genre *Rhizophora* et l'espèce *Avicennia germinans* sont les plus connues avec une fréquence de citations de 35% pour chacune. Il est intéressant de noter que *Laguncularia racemosa* est moins connue que les deux espèces mentionnées précédemment, avec 26% de citations. *Conocarpus erectus* se retrouve au bas de l'échelle du savoir endogène des populations avec une fréquence de citations de 4%.

Les différents usages liés aux espèces ligneuses de mangrove

L'étude a permis de noter que les palétuviers sont utilisés de diverses manières par la population locale pour subvenir à leurs besoins (Figure 5).

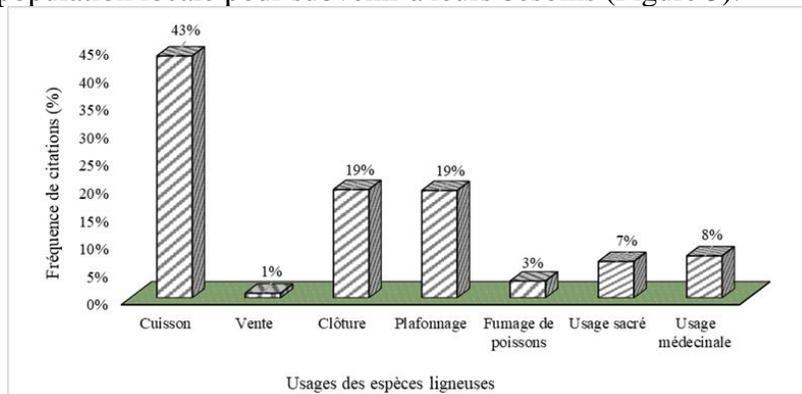


Figure 5 : Différents usages des espèces ligneuses

Il ressort de l'analyse de la Figure 5 que le bois de palétuviers est principalement utilisé pour la cuisson à 43% de fréquence de citations. La confection de plafonds et de clôtures représentent 19% chacun. Ces espèces sont aussi utilisées dans la médecine traditionnelle (8%), les aspects culturels (7%) et pour le fumage de poissons (3%). La vente du bois de palétuviers est

faiblement pratiquée dans la zone avec 1% de fréquence de citations et ne relève pas d'un savoir endogène.

La Fréquence d'utilisation des espèces de palétuviers

La fréquence d'utilisation des palétuviers varie d'une espèce à une autre (Figure 6).

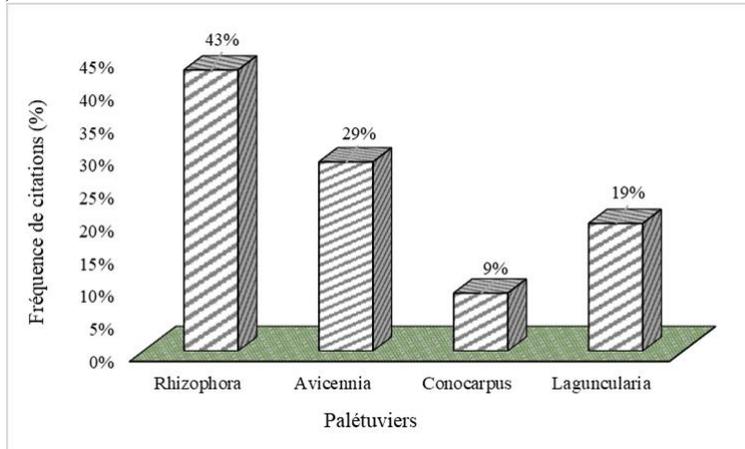


Figure 6 : Fréquences d'utilisation des palétuviers

L'analyse de Figure 6 révèle que les espèces du genre *Rhizophora* (43%) et *Avicennia* (29%) sont les plus utilisées. *Laguncularia racemosa* (19%) et *Conocarpus erectus* (9%) sont les moins utilisées par les populations. Il ressort donc une corrélation entre la connaissance des espèces de palétuviers et leur fréquence d'usage par les populations.

Les périodes d'exploitation des palétuviers

Le bois de palétuvier habituellement appelé « bois de mangrove » est très convoité par les populations proches des bolongs. La Figure 7 montre la représentativité des périodes d'exploitation des palétuviers.

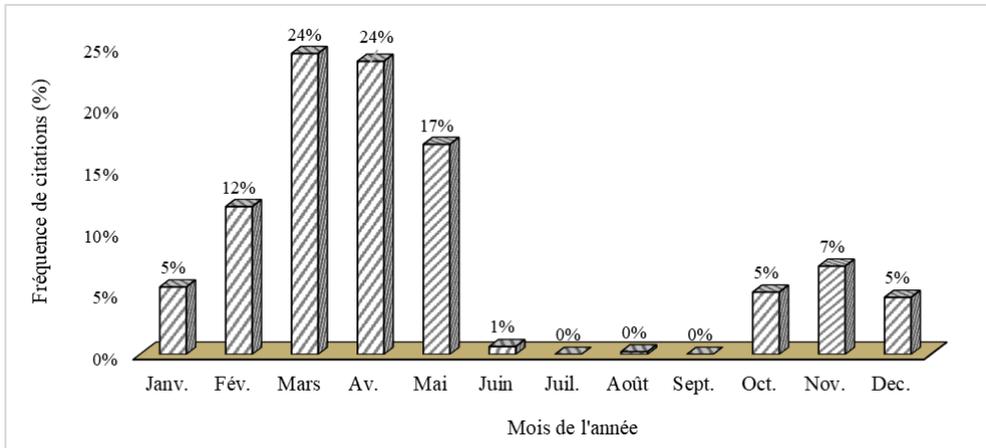


Figure 7 : Période d'exploitation des palétuviers

L'analyse de la Figure 7 montre que les palétuviers sont principalement exploités durant les mois de février (12%), mars (24%), avril (24%) et mai (17%). Il est intéressant de noter que ces palétuviers sont faiblement exploités pendant les mois de saison des pluies (Juin, juillet, Août et septembre). La reprise des coupes a lieu en octobre (5%), novembre (7%) et décembre (5%).

La dynamique de la forêt de mangrove à Kawawana

Les résultats montrent l'évolution de la forêt de palétuviers dans la zone d'étude (Figure 8).

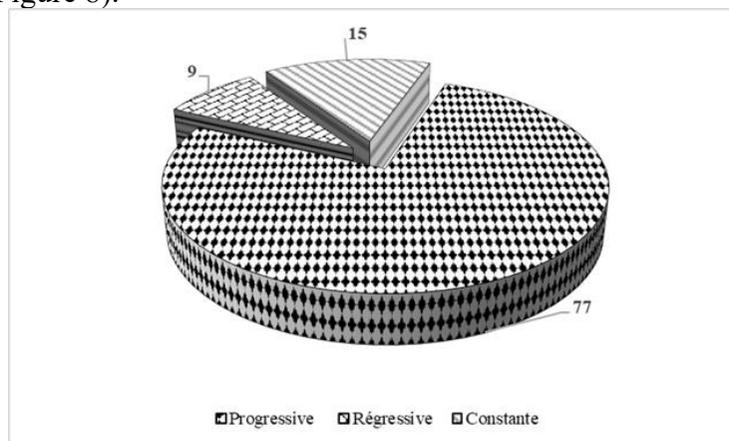


Figure 8 : Dynamique des palétuviers

Il ressort de l'analyse de la Figure 8 que la dynamique des palétuviers de la mangrove est progressive selon 77% des enquêtés contre 15% qui affirment le contraire (régression). La dynamique stationnaire (constante) représente (9%) des fréquences de citations.

La cueillette des huîtres

Les résultats de l'enquête montrent que la cueillette des huîtres est une importante activité pratiquée principalement par les femmes dans les principaux bolongs de l'APAC (Figure 9).

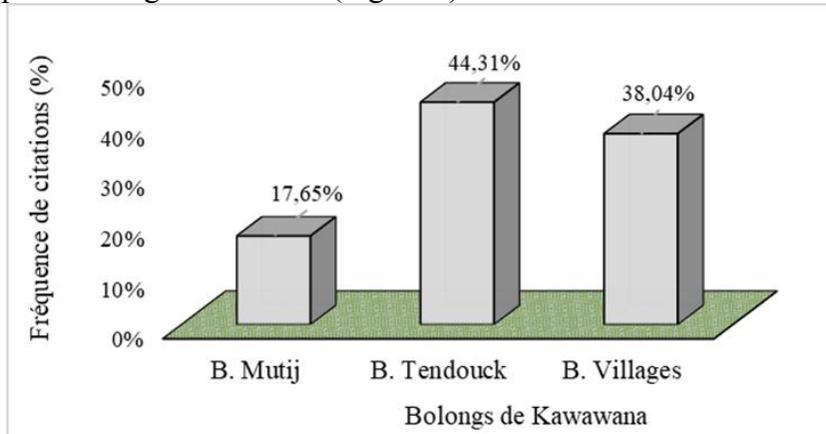


Figure 9 : Principaux bolongs de cueillette des huîtres

L'analyse des résultats montre que le bolong de Tendouck est le plus fréquenté par les cueilleurs d'huîtres, avec 44,31% de fréquences de citations. Les bolongs des villages suivent avec 38,04%. La cueillette des huîtres est faiblement exercée dans le bolong de Mutij (17,65%), ce qui est relativement en adéquation avec l'interdiction d'exploiter dans ce bolong ou alors sa fonction de frayère.

Les techniques de cueillette des huîtres

Les résultats de l'enquête révèlent des informations sur les techniques de cueillette des huîtres dans la zone (Figure 10).

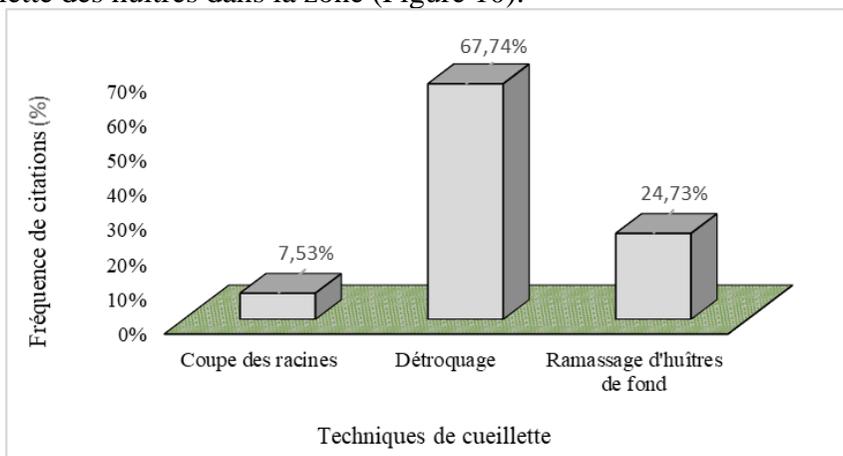


Figure 10 : Techniques de cueillette des huîtres

L'analyse de la Figure 10 révèle l'existence de savoirs endogènes sur les techniques de cueillette à savoir le ramassage d'huîtres de fond (24,73%) alors que la coupe des racines représente 7,53% des fréquences de citations. L'un des modes d'exploitation moderne le plus durable et le plus respectueux de l'environnement est la technique du détroquage qui représente 67,74% des fréquences de citations. La période de cueillette est règlementée selon les lois traditionnelles sur une durée de trois mois (mars-avril-mai).

La dynamique du stock des huîtres

La Figure 11 montre le degré de maîtrise de la dynamique du stock d'huîtres dans l'APAC *Kawawana*.

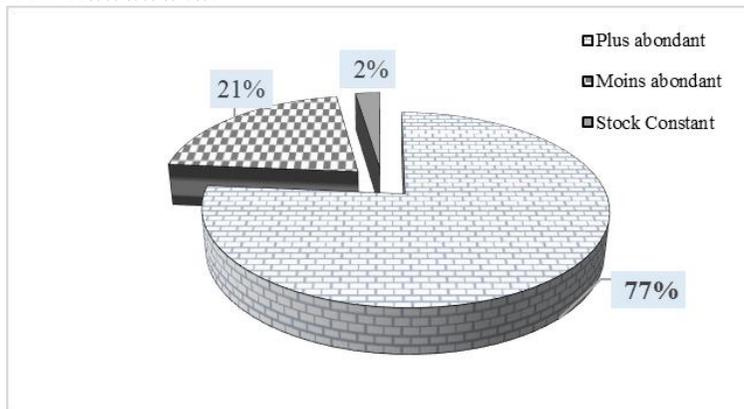


Figure 11 : Dynamique du stock des huîtres

L'analyse de la Figure 11 montre que le stock d'huîtres est plus abondant avec la création de l'APAC selon 77% des répondants contre 21% qui pensent le contraire (moins abondant). Par ailleurs, 2% des répondants pensent que le stock reste encore constant. Concernant le calibre des huîtres, l'analyse montre que 83% des répondants affirment qu'elles sont de grosse taille contre 2% pour les huîtres de petites tailles. Enfin, 15% des enquêtés déclarent que la taille des spécimens reste encore constante.

Les lieux d'écoulement des huîtres

La Figure 12 montre les lieux d'écoulement des huîtres qui varient d'une personne à une autre.

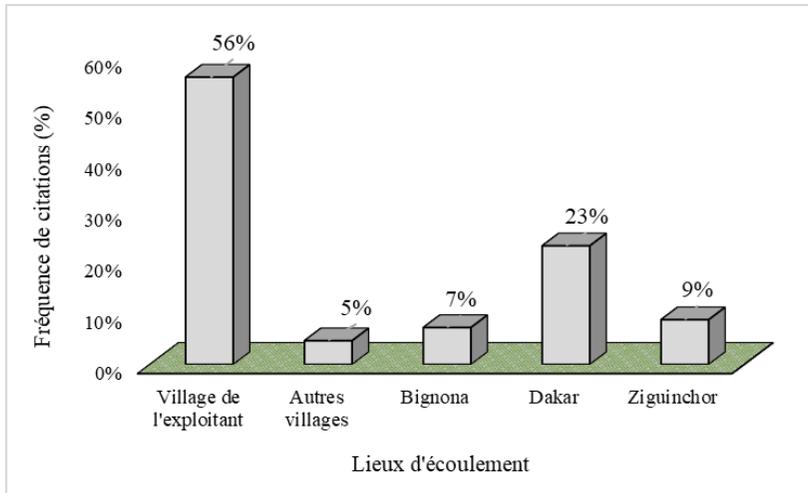


Figure 12 : Différents lieux d'écoulement des huîtres

Il ressort de l'analyse de la Figure 12, la vente des huîtres se fait plus au village de l'exploitant avec 56% de fréquences de citations et 23% de ces derniers exportent leurs huîtres vers les marchés des centres du Sud du pays et de Dakar. La vente des huîtres reste faible dans certaines localités notamment Ziguinchor (9%), Bignona (7%) et 5% au niveau des villages environnement des zones de pêche.

Les estimations du revenu des exploitants d'huîtres

La cueillette des huîtres est une activité lucrative avec des revenus trimestriels qui varient de 50 000 à plus 450 000. Cinq (5) classes d'amplitude 100 000 F cfa sont représentés dans la Figure 13.

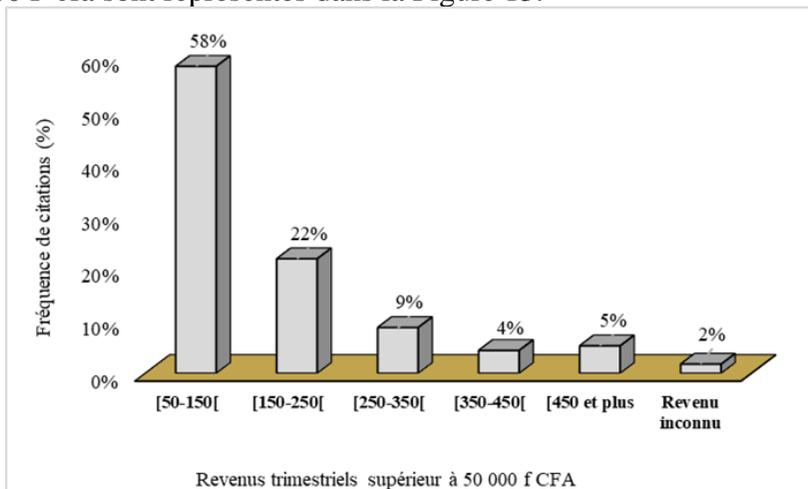


Figure 13 : Estimation du revenu trimestriel de la cueillette des huîtres

L'analyse des résultats consignés dans la Figure 13 montre que 58% des répondants gagnent un montant trimestriel compris entre 50 000 et 150 000, 22% gagnent un montant compris entre 150 000 et 250 000. Les exploitants qui gagnent un montant compris entre les intervalles de classes [250 000-350 000[, [350 000-450 000[et [450 000 et plus [sont moins représentés avec des proportions respectives de 9%, 4% et 5%. Néanmoins, il est à retenir que 2% des personnes enquêtées n'ont pas pu évaluer leur gain trimestriel.

Discussion

Répartition des activités socioéconomiques

Les résultats montrent une dynamique démographique et une répartition du genre en fonction des activités du ménage dans la zone. En outre, ils montrent aussi que ces activités sont plus exercées par des personnes âgées chez les femmes. Habitant sur la rive droite du fleuve Casamance, cette population exploite les ressources de la mangrove pour subvenir à leurs besoins. Cette frange maritime leur offre une large gamme de ressources halieutiques tirées de la cueillette des huîtres, de la saliculture et de l'exploitation des ressources ligneuses de la mangrove. La zone est peuplée à plus de 90% de diola parlant quelques variétés dialectales (variations de mots et de prononciation entre villages). D'ailleurs, les diolas sont majoritaires (plus de 60%) dans toute la région de Ziguinchor (Borrini et al., 2009). La riziculture pluviale au niveau des bas-fonds est la principale activité exercée par les diolas à l'aide d'un outil rudimentaire appelé « *Kadiandou* ». Ce savoir endogène confirme que chez les diolas les activités principales restent la riziculture de mangrove dont la récolte assure la célébration de cérémonies liées culturelles locales selon Bassène (2016). Par ailleurs, Borrini et al. (2009), soutiennent que la production du riz est un phénomène clé de la saisonnalité, de la société et de la vie familiale diola. Plus anciennement, il a été démontré un savoir-faire empirique des diolas en matière de riziculture en zones profondes (Pélissier, 1995). Cependant, les résultats de l'étude révèlent une forte mutation (conversion) vers les activités du maraîchage exercées pendant la saison sèche particulièrement par les femmes au niveau des bas-fonds. Cette mutation est due à la baisse de la pluviométrie, la salinité des casiers rizicoles et aux faibles rendements de la production rizicole. Ce résultat corrobore ceux de Aïdara et al. (2020) qui ont montré que la baisse de la pluviométrie a entraîné la salinisation et l'acidification des sols en Casamance. Ce phénomène a entraîné une forte dégradation des rizières qui s'est traduite par l'abandon progressif de certaines parcelles rizicoles par les producteurs locaux. Ainsi, entre 1968 et 2015, près de la moitié de la superficie des rizières en activité est abandonnée. En outre, Bassène (2016) justifie cet abandon de la riziculture suite à la salinisation des sols et leur acidification qui ont affecté

l'ensemble des vallées de la Casamance. On assiste dès lors à une réduction du temps de travail à la suite de la perte des surfaces aptes à la riziculture et finalement à une baisse de la production.

Dans le domaine de la saliculture, l'étude montre que les femmes collectent les croûtes de sable salé et procèdent à un processus de filtrage puis cuisson jusqu'à l'obtention des cristaux de sel. Ce résultat confirme les travaux de Vanden Berghen C., (1984) qui montre l'extraction de sel est l'affaire de femmes. Le sel est obtenu par percolation lente d'eau versée sur la terre salée. Le filtrat obtenu est bouilli jusqu'à l'obtention de cristaux de sel.

Pour pérenniser la durabilité de l'exploitation de ces ressources de la mangrove la population diola s'est donnée comme objectif de gérer et de conserver ces ressources naturelles de mangrove à travers la création de l'Aire de Patrimoine Communautaire de Mangagoulack (APAC) appelée communément Kawawana. Cette stratégie confirme celle évoquée par Cormier-Salem (2016) sur la gestion durable des forêts en tant que pratique très ancienne en Casamance. Donc le Diola veille à préserver les fruits de la mangrove dont il dépend pour son alimentation (huîtres, poissons ...), sa santé par l'utilisation du miel, des feuilles et fruits de palétuviers. D'ailleurs, Sow (2003), signale que la plupart des activités socioéconomiques étaient l'objet d'une réglementation établie et contrôlée par les chefs coutumiers. Dans le même sens, Cormier-Salem (1992), révèle que les mangroves de basse Casamance, comme dans la plupart des régions des fleuves du Sud, sont régies par une législation coutumière facilitant une gestion collective par les communautés villageoises. Cette mangrove selon Diaw (1985), appartient à l'ensemble de la communauté qui l'exploite suivant les règles traditionnelles établies par l'ensemble des habitants depuis des générations. Ce contexte explique le développement de stratégies de gestion déployées depuis des générations par les diolas selon Diatta et *al.* (2020) qui soutiennent que l'importance socioéconomique et culturelle de certaines ressources de la mangrove telles que les coquillages, les espèces totémiques, les sites rituels, les abris de totems et les abris totémiques en sont les causes explicatives.

La mangrove est un écosystème vital pour de nombreuses espèces et joue un rôle important dans la protection des côtes. Une exploitation excessive peut avoir des conséquences graves sur l'environnement.

Exploitation des espèces ligneuses

Les résultats de cette étude révèlent un savoir taxonomique local marqué par des noms locaux attribués aux palétuviers. Au niveau de la zone, *Rhizophora sp.* et *Avicennia germinans* sont les espèces de palétuviers les plus connues comparées à *Laguncularia racemosa* et *Conocarpus erectus*. Cette connaissance est due, à leur prévalence, leur importance écologique et socioéconomique. Ce résultat corrobore ceux de Vieillefon (1975) et de

Bassène (2016) qui stipulent que la végétation de mangrove en basse Casamance est composée de diverses espèces de palétuviers dont les plus importantes sont *Rhizophora sp.* et *Avicennia germinans* connues chez les Diola sous le nom de «*oumank*» et «*oubedj*». Elles sont plus connues que *Laguncularia racemosa* et de *Conocarpus erectus*. Par ailleurs les populations utilisent aussi les espèces de mangrove à des fins thérapeutiques, alimentaires et énergétiques. Ces résultats confirment ceux de Diallo (2004), qui évoque le savoir-faire des populations en termes de diagnostic et de traitement de certaines maladies humaines et animales. Selon le même auteur, les populations détiennent des techniques de valorisation des sols de mangrove. Sur le plan énergétique, les résultats montrent que ces espèces ligneuses de la mangrove sont utilisées de diverses manières pour la cuisson, car le bois de palétuviers est une source importante de combustible. Ce qui confirme les résultats de Ndongue (2003) qui note que le bois des palétuviers est principalement utilisé pour la cuisson des aliments, la transformation des coquillages en chaux et le fumage du poisson. Dans leurs rôles multiples, les palétuviers sont aussi utilisés dans la construction des maisons, des clôtures des vergers ou des exploitations maraichères. Dans le domaine de l'habitat, les palétuviers sont prélevés dans la zone d'étude pour la construction de cases, de ponts et des digues anti-sel alors que les racines du genre *Rhizophora* servent au plafonnage des maisons. Ces résultats confirment ceux de N'Decky (1996) qui a démontré que les mangroves fournissent une gamme de produits pour la construction, le bois de feu, le tannin, le fourrage, les ressources halieutiques et les médicaments à base des plantes. Au regard de la médecine traditionnelle, l'exploitation des palétuviers concerne les feuilles, les racines et/ou la tige pour le traitement de certaines maladies. Chaque espèce ligneuse joue un rôle important dans la pharmacopée locale. Ce type de résultats a été aussi obtenu par Diatta et al. (2020) qui ont noté l'importance de la médecine traditionnelle en corrélation avec la culture diola. A ce sujet, les résultats de l'étude montrent que la décoction des feuilles de *Avicennia germinans* est utilisée comme bain et boisson contre les douleurs corporelles. Entre autres, cette décoction sert aussi de bain aux femmes qui viennent d'accoucher dans de but de soulager la douleur. Ce résultat est en phase avec celui de Ndour et al. (2012), qui notent que la décoction des feuilles sénescents de *Avicennia germinans* est conseillée aux femmes comme boisson après la délivrance pour venir à bout des pertes de sang selon les croyances locales. Ces mêmes auteurs notent également qu'il est conseillé aux femmes d'inhaler la vapeur émanant de cette décoction pour les premiers soins après l'accouchement. Ces mêmes vertus thérapeutiques sont signalées pour les feuilles vertes de *Rhizophora mangle* par Doyen et Agboba (1985). Dans le même sillage, la décoction des feuilles séchées à l'ombre est prise comme boisson pour lutter contre l'hypertension et le diabète par la population locale. Dans ce même cadre,

Bassène *et al.* (2013) avaient déjà montré que les feuilles des palétuviers (*Avicennia et Rhizophora sp.*) sont utilisées pour soigner certaines maladies comme le paludisme, la diarrhée, les maux de ventre et pour alléger les douleurs des femmes avant et après l'accouchement. Les résultats de l'étude révèlent aussi que la tige de *Avicennia*, coupée en morceau puis séchée, associée au sucre et en infusion dans de l'eau permet de lutter contre l'impuissance sexuelle alors que l'ajout du miel permet de lutter contre les maux du thorax. Les pneumatophores de *Avicennia germinans* séchées et bouillies à l'eau douce donnent une boisson utilisée contre les œdèmes et la douleur des pieds. Les fruits de l'espèce sont bouillis après avoir enlevé la pulpe et donnés aux enfants comme aliment et boisson pour lutter contre les maux de ventre. Ces mêmes vertus sont notées par Bassène (2016) qui montre que les graines servent à lutter contre les maux de ventre. Elles sont cuites dans de l'eau bouillie puis le bouillon est servi comme boisson. Chez le genre ***Rhizophora***, l'apex des nouveaux rhizophores est utilisé pour calmer la douleur de la piqûre d'une raie ou d'un poisson-chat. Ce résultat corrobore celui de Ndour (2005) qui a montré dans ses travaux que, l'exploitation des palétuviers montre que l'apex des rhizophores non encore en contact avec les eaux de mer est utilisé pour soigner les maux de dents après chauffage au feu de braises. Il est aussi utilisé comme aphrodisiaque en association avec du miel en macération dans de l'eau douce. Bassène (2016), montre que, les racines que l'on ramasse pendant la saison sèche servent également à soigner des maladies, participent à soulager et à réduire les désagréments qui peuvent survenir au moment d'un accouchement naturel. Il en est de même pour la poudre issue des feuilles transportées par les eaux de marée basse en infusion dans de l'eau chaude pour soigner les personnes asthmatiques et les plaies aiguës ou chroniques. Pour *Conocarpus erectus* et *Laguncularia racemosa*, l'étude montre qu'elles sont plus utilisées pour le traitement de la gale. Les feuilles bouillies à l'eau ou malaxées de *Conocarpus* sont conseillées comme boisson et bain corporel contre les boutons qui apparaissent sur la peau des malades. En outre, les feuilles de *Conocarpus* malaxées avec l'eau prise comme boisson peuvent déclencher la diarrhée luttant ainsi contre les vers intestinaux chez l'homme et les ruminants (vaches). Ce résultat confirme celui de Ndour *et al.* (2012) selon qui les feuilles bouillies de *Conocarpus erectus* sont conseillées en bain corporel contre la gale en zone de mangrove selon les coutumes.

Dans le domaine du sacré, les branches de *Rhizophora* découpées conformément à la technique dite "*siyama*" en diola sont utilisées lors des cérémonies préparatoires des futurs initiés du bois sacré comme moyen de protection et de distinction des familles dans les villages de Tendouck et de Boutégol. Ce même résultat conforte les travaux de Diatta *et al.* (2020) ayant montré que les populations des villages de Thionck Essyl et de Mlomp

utilisent les branches de *Avicennia* qui sert de moyen de protection aux plus jeunes futurs initiés pour le bois sacré. La connaissance et la valorisation du bois sacré jouent un rôle important dans la cohésion sociale, la recherche d'une harmonie entre l'homme et les forces de la nature sans oublier la protection des initiés. Dans l'ensemble, le palétuvier du genre *Rhizophora* est le palétuvier le plus utilisé par la communauté locale. Cet usage est dû aux différents services qu'il fournit à la population locale comme l'a montré Tengberg (2005) en ce sens que son bois est pratiquement imputrescible et constitue un matériau idéal pour la construction en zones humides et de petites barques. Par contre, le bois de *Avicennia germinans* est considéré comme moins résistant et peu approprié à de tels usages. Sur le plan du calendrier d'exploitation des ressources de mangrove, le bois de mangrove est coupé pendant les mois de février, mars, avril et mai. Cette exploitation s'explique par diverses raisons liées à la période de cueillette des huîtres dans les bolongs, à la saliculture, à la cuisson et au stock de bois de chauffe dans les ménages. Cette exploitation coïncide avec la période maraîchère qui mobilise les étais issus des palétuviers pour les clôtures de jardins et des vergers. Ce résultat conforte le résultat des travaux de Bassène (2016) qui a montré que les coupes de palétuviers se font généralement en saison sèche pour la fourniture de perches et la cuisson des aliments. L'absence de coupe de bois de la mangrove pendant les mois de juin, juillet, août et septembre correspondant à l'hivernage. En effet, durant l'hivernage, la valorisation des ressources de mangrove est faible, car la population locale s'active plus dans la riziculture et les grandes cultures de plateau. Selon les croyances locales, le bois de mangrove est proscrit dans les rizières et présage d'une mauvaise récolte de riz. Ces restrictions sont fondées sur la coutume et la tradition qui imposent un système de protection de l'écosystème mangrove. Cette stratégie confirme le résultat de Diatta et al. (2023) qui ont montré que ramener un fagot de mangrove dans les villages est source de malheur capable d'obliger les producteurs à arrêter les travaux rizicoles. C'est dans cette logique que Badiane (2012) et Diatta et al. (2017) ont montré que grâce à la religion traditionnelle diola, le concept de la sacralité de l'espace a contribué de manière significative à la préservation de certaines forêts de mangrove. Ces massifs forestiers sont en général des sites naturels sacrés situés particulièrement dans les zones de mangrove bénéficiant d'un meilleur état de conservation. Dans le même ordre d'idées, l'UICN/ CEESP (2010) a noté que de nombreuses communautés locales à travers le monde ont contribué à la préservation de leurs ressources naturelles selon des règles transmises de génération en génération. Ce type de restrictions sur l'exploitation des palétuviers ont entraîné une dynamique progressive de la mangrove qui s'explique d'une part par la réglementation locale et les lois de Kawawana sur l'interdiction de la coupe du bois frais de la mangrove, aux différents

reboisements de la mangrove, mais aussi aux croyances locales sur la gestion et conservation des ressources de la mangrove d'autre part. Ce résultat confirme ceux de Diéye *et al.* (2016), de Soumaré (2017) et Solly *et al.* (2018) qui ont montré que la dynamique régressive de la mangrove en Casamance entre 1960 et 1990 s'est inversée dans les années 2000. D'ailleurs, Cormier-Salem *et al.* (2016), ont montré aussi le caractère spectaculaire des opérations de reboisement entre 2006 et 2013 soit 1400 km² dont 90% de réalisation en Casamance.

Exploitation des huîtres

Sur la base de l'enquête, les femmes exploitent des huîtres dans les bolongs de l'Aire de Patrimoine Communautaire (APAC). Le bolong principal de Tendouck est plus fréquenté pour la cueillette d'huîtres. Ce résultat confirme celui de Cormier-Salem (1989) qui a montré que la cueillette des huîtres occupe une large place dans les systèmes de production en basse Casamance. Elle souligne que la filière « huîtres » depuis la cueillette jusqu'à la vente, est entièrement entre les mains des femmes Diola. Les résultats de cette recherche révèlent la réglementation et les pratiques de cueillette des huîtres dans l'APAC. La cueillette est régie par des lois traditionnelles et/ou coutumières, mais aussi par le biais des lois de Kawawana sur la période et la technique de cueillette par les femmes. Ce résultat corrobore celui de Cormier-Salem (1989) qui a montré que, les femmes n'exploitent pas les huîtres de façon anarchique et irrationnelle dans la mangrove. La coutume villageoise impose une limitation temporelle et spatiale des ressources halieutiques. Pour assurer le respect de ces lois traditionnelles, les femmes font des veillées nocturnes et diurnes pour instituer des fétiches dans des bolongs et à certains endroits des terroirs villageois. Ces fétiches sont les indicateurs des interdits traditionnels sur la période d'exploitation des huîtres et autres ressources de la mangrove. Ce résultat est en phase avec ceux de Diatta *et al.* (2020) qui ont soutenu que ces ressources sont temporairement investies d'un pouvoir sacré localement appelé « *futongh* ou *kabène* » visant à garantir la maturité des huîtres avant leur exploitation. Plus anciennement, Dioh (1976), Seck (1986) et Cormier-Salem (1992) avaient noté que la récolte des huîtres est interrompue pendant la saison des pluies en période de riziculture. Fort heureusement que l'hivernage correspond chaque année à la période de reproduction des huîtres (Diatta *et al.* 2023). Il s'y ajoute que la culture Diola se caractérise par le respect des valeurs ancestrales et la conviction que la nature fait partie intégrante de la société. A cet égard, Artaud (2014) et Tahirindraza (2015) ont montré que les tabous, les interdits et le totémisme sont des pratiques remarquables fondées sur des connaissances empiriques pertinentes. Les résultats de l'étude montrent que la période de cueillette des huîtres dans l'APAC dure trois mois et commence du mois de mars au mois

de mai sous la veille et la vigilance des gestionnaires de Kawawana. Cette période d'exploitation des huîtres a lieu dans certains bolongs de l'APAC (Tendouck et bolongs des villages). Dans le bolong de Mutij considéré comme sacré, toute activité est interdite et l'ouverture de la cueillette dure un mois correspondant au dernier mois (Mai) avant la fermeture de la campagne de cueillette. C'est pendant cette période que les exploitants sont autorisés à cueillir les huîtres. Ce résultat conforte celui de Cormier-Salem (1989) qui a montré que, le calendrier des activités des femmes diola couvre les activités agricoles d'hivernage et activités de contre saison. Les résultats montrent aussi que la période de juin à février représente un temps de latence où les huîtres se reproduisent et donnent de naissains qui se fixent sur les rhizophores des palétuviers. Ce résultat confirme ceux de Blanc (1962) et Diadiou (1995) qui ont montré que l'huître de mangrove (*Crassostrea gasar*) se reproduit toute l'année, mais l'émission des gamètes n'a lieu que pendant la saison des pluies. Ce résultat corrobore celui de Diatta et al. (2023) qui ont montré que la cueillette et l'exploitation des huîtres sont abandonnées en hivernage à cause de leur reproduction. C'est dans ce sens que les résultats de Diatta et al. (2020) ont montré que, l'exploitation des huîtres est soumise à une réglementation stricte qui impose la suspension de l'activité de collecte le plus souvent du mois de juin au mois de janvier. La cueillette des huîtres est contrôlée par les femmes et est interdite durant les mois de reproduction qui coïncident avec l'hivernage. Dans la même optique, des forêts du terroir sont mises en défens pour assurer le renouvellement des espèces sur la base d'un système de « jachère » halieutique (Cormier-Salem,1992). Dans l'APAC, des piquets de palétuviers sont plantés dans les bassins aquacoles pour favoriser le captage des naissains. D'ailleurs, Banzhaf (2005), a montré que par le passé, l'existence de mécanismes de gestion plus soucieux de la préservation du patrimoine communautaire dans les sociétés traditionnelles. A la différence des pratiques anarchiques observées actuellement, les institutions traditionnelles pilotées par les chefs coutumiers, ont mis en place des réglementations qui visent à limiter l'accès aux ressources vitales dans le but de les préserver pour les générations futures. Au regard de cette sacralité, le respect des règles traditionnelles est une obligation pour l'ensemble des utilisateurs des ressources de la mangrove. Ainsi, le décrochage et le ramassage des huîtres de fond sont autorisés et couramment pratiqués par les femmes. Toutefois, les conséquences qui découlaient autrefois du non-respect de ces interdits conduisaient à la mort des palétuviers. La technique de décrochage des huîtres permet donc la préservation des forêts de mangrove en offrant aux naissains plus de niches écologiques. Contrairement, la coupe des rhizophores détruit non seulement l'habitat, mais aussi la mangrove. Compte tenu de cette conséquence connue des exploitants, les femmes accordent actuellement un immense respect aux pratiques traditionnelles et lois d'usage

des ressources de la mangrove de Kawawana. D'ailleurs, le résultat de l'étude met en évidence une perception positive de l'état actuel du stock d'huîtres en termes d'abondance et de grosseur des huîtres dans l'APAC. Ce résultat est un indicateur positif de la qualité des huîtres récoltées et d'un système de gestion écologiquement durable.

Commercialisation des huîtres

L'étude indique la perception des populations sur la vente des huîtres récoltées dans l'APAC. La vente des huîtres a lieu sur place à l'échelle du village de l'exploitant puisque les acheteurs viennent se procurer du produit *in situ* où le prix est abordable en plus de la possibilité de trouver des huîtres en quantité suffisante. Parfois certains acheteurs donnent de l'argent aux femmes avant même la campagne d'exploitation. Ce résultat confirme celui de Bassène (2016) qui soutient que les huîtres sont avant tout destinées à la vente et à la consommation familiale des cueilleuses. Dans le même sens, Delphine (1997) a montré que, les femmes n'ont pas de problème d'écoulement des huîtres séchées sur le marché national. D'ailleurs, l'étude montre que l'offre serait inférieure à la demande du marché national malgré les possibilités de conservation des huîtres séchées pendant plusieurs mois. Cette situation explique la préférence des cueilleuses à écouler leurs huîtres à Dakar où le prix de vente est meilleur que celui des marchés locaux de Ziguinchor. Ce résultat corrobore celui de Cormier-Salem (1989) qui a montré que les huîtres sont écoulées, par les cueilleuses elles-mêmes ou par un "*bana-bana*" sur le marché le plus proche de Ziguinchor ou à Dakar. Le résultat des gains trimestriels montre que l'activité est lucrative. Il montre une diversité de revenus dont ceux modestes polarisent la majorité des exploitants (58%). Certains exploitants gagnent actuellement des revenus élevés de 450 000 F cfa comparés à 150 000 F cfa de gain avant la création de Kawawana. La variation actuelle du revenu trimestriel s'explique par les lois traditionnelles et par la surveillance des ressources naturelles de Kawawana. Ce résultat confirme celui de Diatta (2020) qui a souligné que les huîtres rapportent des revenus importants, estimés à 500 000 F cfa par campagne. Ce résultat reste différent de celui de Cormier-Salem (1986) qui a noté que les femmes *Diola aramé* vendent les huîtres crues à Ziguinchor ou à Dakar et gagnent environ 109 000 F cfa par an pour un moindre investissement.

Conclusion

L'exploitation des ressources naturelles associée à leur conservation dans l'Aire de Patrimoine Communautaire (APAC) de Mangagoulack démontre l'existence d'une relation étroite entre les communautés locales et leur environnement. Cette étude met en lumière l'importance socioéconomique de la valorisation des ressources naturelles de la mangrove

par la communauté locale depuis des générations. Elle montre aussi que les populations locales ont toujours contribué à la préservation des ressources de mangrove d'autant qu'elles en dépendent pour leur alimentation, leur santé (usages médicaux) et bien d'autres services offerts par la mangrove. Cette forme de gestion basée sur le savoir endogène des populations leur a permis de gagner des revenus. Il est important de connaître la valeur des savoirs endogènes relatifs à la conservation des ressources naturelles afin d'assurer au mieux la gestion durable des forêts de mangrove en Casamance particulièrement à Kawawana. Ce résultat démontre l'existence de solutions durables qui respectent à la fois la richesse socioculturelle des communautés locales et la biodiversité de la mangrove. Sur cette base, l'étude recommande la valorisation et la préservation des savoirs locaux en vigueur dans l'APAC de Mangoulack à l'échelle des forêts de mangrove du Sénégal.

Remerciements

Les acteurs du présent article remercient les communautés de l'APAC particulièrement le comité de gestion et son Président. Par ailleurs, ils tiennent aussi à remercier le Laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie (LAFE) de l'Université Assane Seck de Ziguinchor.

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. Aidara C. A. Lamine Fall & Yancouba Sane, (2020). Diagnostic des Contraintes de Mise en Valeur Rizicole des Sols Fluvio-Marins du Marigot de Bignona, Basse Casamance, Sénégal, *European Scientific Journal* Vol.16, No.3, pp. 359-377.
2. ANSD, (2013). Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie, Rapport définitif du Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage (RGPHAE), 418p.
3. Artaud H. (2014). De l' « efficacité » symbolique des interdits à leur fonctionnalité écologique. *Delta du Saloum (République du Sénégal)*, Dakar, *Faculté des Sciences et techniques*, Thèse de troisième cycle, Université Cheikh Anta Diop, 180 p.

4. Badiane S. D., (2012). Espaces forestiers de la Casamance amphibie (Sénégal). Déterminisme territorial, biodiversité et stratégies de conservation. Thèse de doctorat unique. Spécialité : Environnement littoral, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 320 p.
5. Badji S., (2015). Contribution à l'étude des mollusques exploités dans l'AMP de Abéné et dans les îles de la commune de Kafountine (Boune et Boko). Mémoire de Master 2 : Gestion des Ecosystèmes Aquatiques (IUPA)/UCAD, 61 p.
6. Banzhaf M., (2005). Les impacts socioéconomiques de la gestion décentralisée des ressources naturelles : La contribution des conventions locales à la lutte contre la pauvreté, Réseau Sectoriel Développement Rural Afrique (RSDRA) Groupe de Travail Gouvernance des Ressources Naturelles, Projet Pilote Droit Foncier et Systèmes fonciers, 97p.
7. Bassène O.A., (2016). L'évolution des mangroves de la Basse Casamance au sud du Sénégal au cours des 60 dernières années : surexploitation des ressources, pression urbaine, et tentatives de mise en place d'une gestion durable. Thèse doctorat en Géographie, Université de Lyon ; Université de Saint-Louis (Sénégal), 310 p.
8. Bassène Olivier Agnandoul, Hervé Cubizolle, Marie Christine Cormier Salem & Boubou A. SY, (2013). L'impact des changements démographiques et socioéconomiques sur la perception et la gestion de la mangrove en Basse Casamance (Sénégal), vol 88-4/2013, pp. 299-315.
9. Blanc A., (1962). Rapport sur la situation de l'ostréiculture au seuil du III^{ème} plan et sur l'huitre des palétuviers, complément à l'étude des huîtres des palétuviers, 78 p.
10. Blasco F., (1991). Les mangroves, *La recherche* n° 22, 231, pp. 445-453.
11. Borrini-Feyerabend G., Christian Chatelain & Philippe Tous, (2009). Kawawana en marche, Rapport pour l'Association des Pêcheurs de la Commune de Mangagoulack, CENESTA, le PNUD/FEM/SGP et la FIBA, 79p.
12. Carrere R., (2009). Les mangroves africaines : leur importance pour les populations et la biodiversité, dans Bojang, F & Ndeso-Atanga, (ed). L'importance des forêts de mangrove pour la pêche, la faune sauvage et les ressources en eau en Afrique (p. 3-7) *Nature et Faune (FAO/PNUE)*, 24 (1), 19p.
13. Charline Gaudin, (2006). Cadre Juridique International et National de Protection des Mangroves Etudes juridiques de la FAO, 94 p.
14. Cormier-Salem M.-C., Dieye B. & Sane T., (2016). « Légitimité des politiques de reboisements de mangrove en Casamance ». *In : L.*

- Descroix, S. Djiba, T. Sané, V. Tarchiani (eds), *Eaux et sociétés face au changement climatique dans le bassin de la Casamance*. Paris, l'harmattan: pp. 189-210.
15. Cormier-Salem M. C., (1999). Rivière du sud : Société et mangrove ouest-africaine, Paris, édition IRD, vol 1, 416 p.
 16. Cormier-Salem, M. C., (1992). : Gestion et évolution des espaces aquatiques : La Casamance. Paris, Editions de l'ORSTOM, Collection Etudes et Thèses, 583 p.
 17. Cormier-Salem M. C., (1989). Une pratique revalorisée dans un système de production en crise : La cueillette des huîtres par les femmes Diola de Basse-Casamance (Sénégal), Cah. Sci. Hum. 25 (1-2), pp. 91-107.
 18. Coulibaly Djakalidja, (2012). Développement Durable et Savoirs Autochtones : une Nouvelle Perspective pour les Sciences Sociales, vol. 8, No.26 ISSN : 1857 – 7881 pp. 66-76.
 19. Delphine Grandcolas, (1997). Les femmes et la cueillette des huîtres dans le Saloum (Senegal), Centre de Recherches Oceanographiques de Dakar-Thiaroye, 76 p.
 20. Diadiou H. D., (1995). Biologie de l'huître de palétuvier *Crassostrea gasar* (Dautzenberg) dans l'estuaire de la Casamance (Senegal): Reproduction, larve et captage du naissain ; Doctorat d'Université (Mention Océanographie Biologique, 97 p.
 21. Diallo D., (2004). « Savoirs locaux et bases de données pour la gestion des écosystèmes et le développement durable en zone soudano-sahélienne », Institut polytechnique rural de Katibougou (Mali), In : Colloque international « Développement durable : leçons et perspectives », Ouagadougou (Burkina Faso), pp. 85-90.
 22. Diatta C. S., (2012). « Le rôle des sites naturels sacrés pour la conservation des ressources naturelles marines et côtières : l'exemple du Petit-Kassa et de l'aire du patrimoine autochtone et communautaire de Mangagoulack (Casamance) ». Mémoire de Master : Gestion des Ecosystèmes Aquatiques, Institut Universitaire des Pêches et d'Aquaculture (IUPA), UCAD, 87 p.
 23. Diatta C. S., Fall M.B., Dieme B. E. A., Thiam M. D. & Diouf M. (2023). La Perte de Savoirs et de Pratiques Endogenes: Risques pour l'Environnement Naturel du Territoire Blouf en Basse Casamance (Senegal). European Scientific Journal, ESJ, 19 (14), pp. 77-110.
 24. Diatta C. S., Diouf M., Sow A. A. & Karibuhoye C., (2020). La Civilisation Joola et la gestion des mangroves en Bassa-Casamance, Sénégal, Revue Ethnoécologie, 28 p.

25. Diatta C. S., Diouf M., Karibuhoye C. & Sow A. A., (2017). Sites naturels sacrés et conservation des ressources marines et côtières en milieu traditionnel Diola (Sénégal). *Revue d'ethnoécologie* 11, 23 p.
26. Diaw C., (1985). Forme d'exploitation du milieu, communautés humaines et rapports de production. Première approche systèmes de production et de distribution d dans l'étude dans le secteur de la pêche en Casamance, *CRODT-Dakar*, 104, 167 p.
27. Diéye E. B., Sané T., Solly B., Ba B. D., Ndour N., Sy O., Thior M., Mendy V., Tall E. H.S B., Mering C. & Diaw A. T., (2016). Dynamique de la mangrove et perceptions locales dans le Département d'Oussouye (Basse-Casamance, Sénégal) entre 1972 et 2018, *Tropicultura* 2295-8010 V 40 n 1, 27 p.
28. Dioh B. C., (1976). L'ostréiculture au Sénégal, thèse de doctorat d'état, Science et médecine Vétérinaire 107 p.
29. Doyen A. et C. Agboba, (1985). La mangrove à usages multiples de l'estuaire du Saloum (Sénégal), Dakar, 145 p.
30. Marut J. C., (2010). Le conflit de Casamance : ce que disent les armes. Paris Kartala 420 p.
31. N'Decky L. K., (1996). Implications socio-culturelles de l'introduction de nouvelles variétés de riz dans les mangroves de la Casamance, Mémoire de maîtrise, Université Gaston Berger de Saint-Louis, 92 p.
32. Ndongue B., (2003). Études des impacts socioéconomiques et écologiques du fumage de poissons dans la réserve de Biosphère du Delta du Saloum. Projet mangrove, 69 p.
33. Ndour, N., (2005). Caractérisation et étude de la dynamique des peuplements de mangrove du Delta du Saloum (République du Sénégal), Dakar, Faculté des Sciences et techniques, Thèse de troisième cycle, Université Cheikh Anta Diop, 180 p.
34. Ngor Ndour, Sara Dieng & Mamadou Fall, (2012). « Rôles des mangroves, modes et perspectives de gestion au Delta du Saloum (Sénégal) », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 11 Numéro 3, 15p.
35. Pelissier P., (1995). Transition foncière en Afrique Noire : du temps des terroirs au temps des finages (Ed.), dynamique des systèmes agraires : terre, terroir, territoire : les tensions foncières, Paris, ORSTOM, *Colloques et séminaires*, pp. 305-316.
36. Seck A. A., (1986). L'exploitation des mollusques dans le cadre d'un aménagement de la mangrove sénégalaise : le cas des huîtres et des arches. Mémoire de DEA Science de l'environnement Université de Dakar, 122 p.

37. Solly B., Diéye E. B., Sané T. & Diaw A. T., (2018). Dynamique de la Mangrove de Thiobon dans l'estuaire de la Casamance (Sénégal) entre 1972 et 2017, *European Scientific Journal* Vol.14, No.33, 118p.
38. Soumare S., (2017). Analyse de la dynamique et de la gestion de la mangrove dans la commune de Kafountine en Bassa-Casamance (Senegal), Mémoire de Master, UFR ST/UASZ, 122p.
39. Sow Marcel, (2003). Pratiques culturelles et conservation de la biodiversité en Guinée, *Éducation Relative à l'Environnement*, Vol. 4, pp. 289-295.
40. Tahirindraza H., (2015). Les tabous au service de la conservation durable de l'espace Tanalana, sud-ouest de Madagascar. Recherche participative pour le soutien de gestion durable des terres au Plateau Mahafaly au sud-ouest du Madagascar. *Sustainable Land Management in Madagascar (SuLaMa)*, 10 p.
41. Tengberg M., (2005). Les forêts de la mer. Exploitation et évolution des mangroves en Arabie orientale du Néolithique à l'époque islamique. In: *Paléorient*, vol. 31, n°1. Anciennes exploitations des mers et des cours d'eau en Asie du Sud-Ouest. Approches environnementales. pp. 39-45.
42. UICN/CEESP, (2010). La diversité bio-culturelle conservée par les peuples autochtones et les communautés locales. Exemples et analyses, 71p.
43. UICN, (1999). Plan de gestion de la Réserve de Biosphère du Delta du Saloum : Zonage et plan d'action, Dakar : UICN, Volume 2, 89 p.
44. Vanden Berghen C., (1984). L'extraction de sel en Basse-Casamance (Sénégal) et les effets de cette industrie traditionnelle sur la formation des paysages. In *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, Bulletin 3-4, pp. 235-244.
45. Vieillefon J., (1975). Notice explicative de la carte pédologique de la Basse Casamance au 1/100 000. Paris, ORSTOM, 59 p.
46. Yameogo L., (2015). « Le patrimoine méconnu des bois sacrés de la ville de Koudougou (Burkina Faso) : de la reconnaissance à la sauvegarde », *Cahiers de géographie du Québec*, Vol.59, n° 166, pp. 71-90.

Étude des propriétés physico-chimiques et microbiologiques d'un biofertilisant élaboré à partir d'un mélange de résidus de récolte, d'un consortium bactérien et de roche phosphatée

*Boueunan Wongbe Beralex
Bongoua-Devisme Affi Jeanne*

Laboratoire de Pédologie et Agriculture Durable,
UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières,
Université Felix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire
Bahan Lemonou Franck Michaël
Centre National de Recherche Agronomique-CNRA,
station de recherche de Man, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p148](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p148)

Submitted: 17 April 2024

Accepted: 12 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Wongbe Beralex, B., Affi Jeanne, B.-D., & Lemonou Franck Michaël, B. (2024). *Étude des propriétés physico-chimiques et microbiologiques d'un biofertilisant élaboré à partir d'un mélange de résidus de récolte, d'un consortium bactérien et de roche phosphatée*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 148. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p148>

Résumé

En Afrique subsaharienne, la croissance démographique rapide et la dégradation des sols ont entraîné une forte utilisation d'engrais chimiques pour soutenir l'agriculture. Cependant, cette dépendance aggrave la dégradation des sols et génère des problèmes environnementaux. Pour contrer cela, l'utilisation de biofertilisants émerge comme une solution durable pour maintenir la fertilité des sols tout en réduisant l'impact environnemental. Ainsi, différentes formulations de bio-phospho-composts ont été développées, combinant du phosphate naturel du Maroc (RPM), des résidus de récolte de riz et de maïs, et des bactéries solubilisatrices de phosphate (BSP). L'objectif était d'évaluer leurs propriétés pour estimer leur valeur fertilisante.

L'analyse des bio-phospho-composts finaux produits (C1, C2, C3) a montré qu'ils avaient un pH légèrement alcalin, des rapports C/N entre 10,20 et 11,81, et étaient riches en éléments fertilisants tels que le phosphore, l'azote, le potassium et le carbone. Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre les paramètres chimiques des différents composts, suggérant

que la dose de RPM n'a pas eu d'effet discernable. De plus, nos résultats ont révélé que les composts ont atteint un état de maturité avec plus de 80% de taux de décomposition en seulement cinq semaines de compostage, indépendamment de la dose de RPM, probablement en raison de la présence d'un consortium bactérien.

Cette étude montre que l'ajout de bactéries solubilisatrices de phosphate a considérablement réduit la durée de compostage à 5 à 6 semaines, au lieu de 4 à 7 mois. Les bio-phospho-composts obtenus présentent des propriétés amendantes et fertilisantes, qui doivent être vérifiées par des cultures en conditions de champ.

Mots-clés: Roche phosphatée naturelle, Bactéries solubilisatrices, Résidus organiques, Bio-phospho-compost

Study of the physicochemical and microbiological properties of a biofertilizer developed from a mixture of crop residues, bacterial Consortium, and phosphate Rock

Boueunan Wongbe Beralex

Bongoua-Devisme Affi Jeanne

Laboratoire de Pédologie et Agriculture Durable,
UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières,
Université Felix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Bahan Lemonou Franck Michaël

Centre National de Recherche Agronomique-CNRA,
station de recherche de Man, Côte d'Ivoire

Abstract

In sub-Saharan Africa, rapid population growth and soil degradation have led to heavy use of chemical fertilizers to support agriculture. However, this dependency exacerbates soil degradation and generates environmental problems. To counter this, the use of biofertilizers is emerging as a sustainable solution to maintain soil fertility while reducing environmental impact. Thus, various formulations of bio-phospho-composts have been developed, combining natural phosphate from Morocco (RPM), rice and maize crop residues, and phosphate-solubilizing bacteria (BSP). The objective was to evaluate their properties to assess their fertilizing value.

The analysis of the final bio-phospho-composts produced (C1, C2, C3) showed that they had a slightly alkaline pH, C/N ratios between 10.20 and 11.81, and was rich in fertilizing elements such as phosphorus, nitrogen,

potassium, and carbon. However, no significant difference was observed in the chemical parameters of the different composts, suggesting that the RPM dose had no discernible effect. Furthermore, our results revealed that the composts reached a mature state with an over 80% decomposition rate in just five weeks, regardless of the RPM dose, likely due to the presence of a bacterial consortium. This study shows that the addition of phosphate-solubilizing bacteria significantly reduced the composting duration to 5 to 6 weeks, instead of 4 to 7 months. The resulting bio-phospho-composts exhibit amending and fertilizing properties, which need to be verified through field crop trials.

Keywords: Natural phosphate rock, Solubilizing bacteria, Organic residues, Bio-phospho-compost

Introduction

En Afrique subsaharienne, la rapide croissance démographique associée à la dégradation progressive de la fertilité des sols a contraint à une utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture pour stimuler une production agricole suffisante (Sawadogo et *al.*, 2021). Cependant, diverses recherches ont mis en évidence que cette dépendance exclusive à ces engrais ne garantit pas une agriculture durable (Mahmood et *al.*, 2016 ; Atieno et *al.*, 2020). En effet, l'utilisation excessive d'engrais minéraux, combinée à la surexploitation des terres agricoles au détriment des jachères, entraîne une dégradation accélérée de la fertilité des sols (Biaou et *al.*, 2017 ; Gnahoua et *al.*, 2023 ; Agegnehu et *al.*, 2021). De plus, cet excès d'engrais minéraux peut avoir des répercussions environnementales néfastes et affaiblir la résistance des plantes face aux attaques d'insectes et de champignons (Sawadogo et *al.*, 2022).

Face à ces défis, une réorientation vers des méthodes alternatives de gestion de la fertilité des sols est devenue impérative. Dans cette optique, l'utilisation de biofertilisants émerge comme une solution prometteuse, permettant de maintenir la fertilité des sols tout en réduisant l'impact environnemental associé aux engrais chimiques (Biaou et *al.*, 2017 ; Gnahoua et *al.*, 2023; Agegnehu et *al.*, 2021).

La recherche de stratégies innovantes pour améliorer la fertilité des sols est donc devenue une priorité. Cela comprend l'utilisation d'amendements réfléchis tels que la roche phosphatée naturelle (Saleem et *al.*, 2013 ; Mashori et *al.*, 2013 ; Abbasi et *al.*, 2015), le recours aux microorganismes du sol en tant qu'agents biofertilisants (Asuming-Brempong et Anipa, 2014; Cherif, 2014; Taktek, 2015), ainsi que la valorisation des résidus de récolte et des déchets organiques qui peut être une solution à leur élimination (Dagbenonbakin et *al.*, 2012).

Des études ont montré les avantages de l'utilisation de fumiers et de composts pour améliorer la structure du sol et augmenter son activité biologique (Weill and Duval, 2009 ; Jobin and Petit, 2004). De plus, l'association de matière organique et de roche phosphatée a été mise en avant pour améliorer la qualité des composts et les rendements des cultures céréalières (Bekayo, 2003 ; Saleem et *al.*, 2013 ; Essui, 2020 ; Konaté et *al.*, 2022). Par ailleurs, l'utilisation de bactéries solubilisatrices de phosphate pour améliorer l'efficacité des roches phosphatées est une alternative envisageable (Vessey, 2003 ; Giles et *al.*, 2012 ; Asuming-Brempong et Anipa, 2014 ; Taktek, 2015). Aussi, bien des travaux ont montré une amélioration de la valeur fertilisante du compost produit lorsque les résidus sont compostés avec de la fiente durant 14 jours (Essui, 2020 ; Konaté et *al.*, 2022). Cependant d'après Larbi (2006), Kitabala et *al.*, (2016) et Konaté et *al.*, (2022), l'effet du compost sur le rendement des cultures peut être influencé par sa qualité mais aussi par la dose appliquée. C'est donc dans cette veine que différentes formulations de bio-phospho-composts, à base de roche phosphatée à différentes doses, de résidus de pailles de riz, de bactéries solubilisatrices de phosphates et de fientes de volaille, ont été élaborés, afin de répondre à ces enjeux. La présente étude vise à analyser les propriétés physico-chimiques et microbiologiques de ces bio-phospho-composts élaborés afin d'apprécier leur valeur fertilisante.

Matériel et méthodes

Description du site d'étude

Cette étude a été menée à Dompleu, situé dans la région de Man en Côte d'Ivoire (Figure 1), avec des coordonnées géographiques de 07°20'19'' de latitude Nord et 07°31'11'' de longitude Ouest. Dompleu bénéficie d'un climat tropical monomodal, caractérisé par une saison sèche de novembre à février et une saison des pluies de mars à octobre. La pluviométrie annuelle dans la région varie entre 1300 et 2400 mm. Les sols de Man sont typiquement peu gravillonnaires (< 30 %), de couleur rouge (2,5YR à 5YR), profonds (> 1 m), et fortement désaturés, caractérisés par leur acidité et une faible disponibilité en phosphore soluble (Koné et *al.*, 2010 ; Kpan et *al.*, 2023).

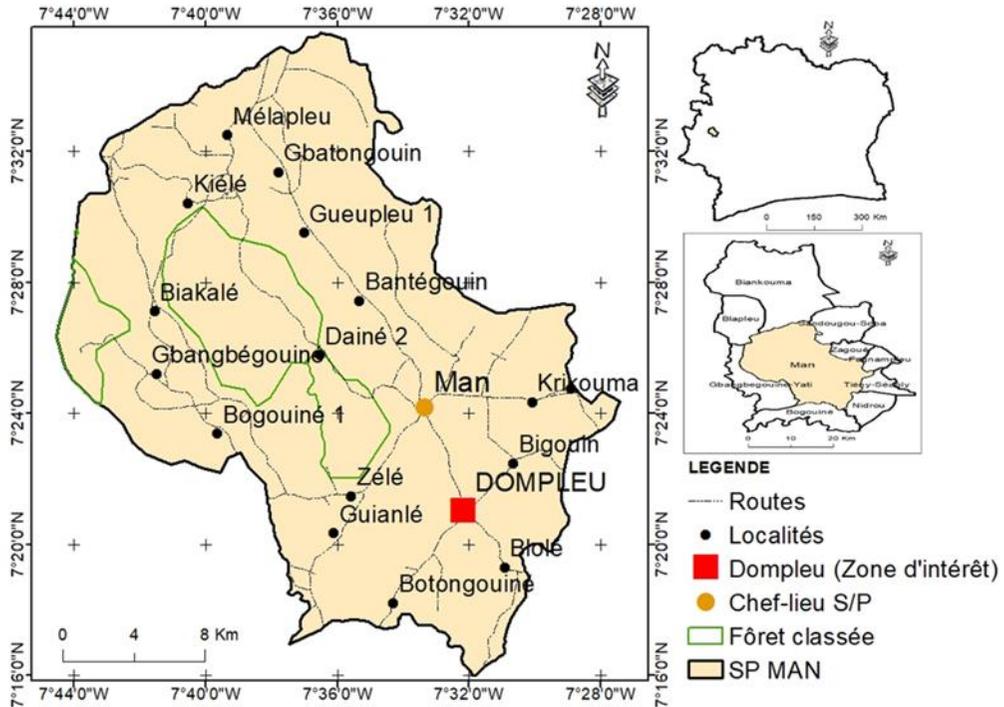


Figure 1. Localisation du site d'étude

Matériel

Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de résidus de récolte (paille de riz et de maïs) utilisés pour le compostage. La mélasse de canne à sucre constitue le sucre pour le développement des microorganismes.

Fertilisant

La roche phosphatée du Maroc (RPM) dont la composition est présentée dans le tableau (I) a été fournie par l'office chérifien du phosphate (OCP), et constitue la principale source de phosphore utilisée pour la fabrication du phospho-compost.

Tableau I : Composition chimique de la roche phosphatée du Maroc (RPM)

Eléments chimique	P ₂ O ₅	CO ₂	SO ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	F ₂ O	H ₂ O
Teneur (%)	30	6,44	1,29	6,64	49,54	1,16	0,2	0,41	2,21	2,13

Matériel biologique

Un consortium bactérien solubilisateur de phosphate isolé des parcelles rizicoles de Dompleu sur le milieu Pikovskay's (PVK) solide a constitué le matériel biologique.

Fiente de volaille

La fiente de volailles est composée des déjections de poules de chair et de pondeuses a été utilisée dans le compostage

Méthodes

Echantillonnage

Une parcelle rizicole de bas-fonds d'une superficie de 701 m² a été sélectionnée à Dompleu (7°20'43''N / 7°31'51''W). Des échantillons de sol ont été prélevés de manière aléatoire à une profondeur de 0-20 cm à l'aide d'une tarière, puis mélangés pour obtenir un échantillon composite représentatif de la parcelle d'étude. Cet échantillon composite a ensuite été divisé en deux parties : l'une destinée à l'analyse microbiologique et l'autre à la caractérisation physico-chimique.

Caractérisation physico chimique des sols de la parcelle expérimentale

Avant la mise en place de l'essai, des échantillons de sols (0-20 cm) ont été collectés dans la parcelle, mélangés pour former un échantillon composite. La caractérisation physico-chimique des sols de la zone d'étude a concerné les paramètres physiques (granulométrie) et chimiques (pH, C, N, P, K, Ca, Mg, CEC). Elle a été réalisée au laboratoire des sols et des végétaux de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro.

- **Caractérisation physique**

L'analyse granulométrique a été réalisée par la méthode à la pipette de Robinson-Köln qui consiste tout d'abord à détruire la matière organique à l'aide de l'eau oxygénée (H₂O₂) et à disperser l'argile par l'hexamétaphosphate de sodium. Ainsi, les fractions fines de 0 à 0,002 mm (argile) et de 0,002 à 0,02 mm (limon fin) sont déterminées à partir de prélèvements effectués à l'aide de la pipette de Robinson, après un temps de sédimentation, suivant la loi de Stokes. Les fractions grossières de 0,02 à 0,05 mm (limon grossier) et les sables sont déterminés par tamisage à sec, après siphonage.

- **Caractérisation chimique**

L'analyse chimique a concerné divers paramètres, tels que la matière organique (MO), l'azote total (N), le pH, le phosphore assimilable (P assimilable), les bases échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺), et la capacité d'échange cationique (CEC). Les méthodes d'analyse utilisées incluent la méthode Walkley et Black pour la MO, la méthode Kjeldahl pour l'azote, la méthode électrométrique pour le pH, la méthode Bray I pour le P assimilable, la spectrométrie en absorption atomique pour Ca²⁺ et Mg²⁺, la méthode à émission de flamme pour Na⁺ et K⁺, et l'extraction avec une solution d'argent thiourée pour la CEC.

Caractéristique microbiologique

- Dénombrement de la microflore bactérienne

A partir de la suspension initiale du sol, dans un rapport sol/solution (1/10 g/ml), des dilutions successives de sol de 10^{-1} à 10^{-6} sont réalisées pour ensemercer soit les microplaques, ou soit les boîtes de pétri. Chaque boîte de pétri ou microplaques contient le milieu Nutrient Broth (NB) constitué de 8 g Nutrient Broth (NB) Difco TM et de 1000 ml d'eau ultra pure, additionné de nystatine, est utilisé pour le dénombrement de la microflore totale aérobie.

Elle reçoit 100 μ l de la suspension-dilution de sol avec 3 répétitions par dilution, et un témoin non inoculé pour chaque ensemencement, puis est mise en incubation à une température de 30°C. Après incubation, le nombre de puits positifs correspondant à l'apparition d'un trouble bactérien est déterminé à la densité optique 620 nm. Les résultats obtenus sont traités par un programme statistique déterminant le Nombre le Plus Probable (NPP) de bactéries présente dans l'échantillon qui est exprimé en nombre de bactéries par g de sol sec.

- Recherche, isolement et sélection des Bactéries solubilisatrices de phosphates (BSP)

La recherche des bactéries solubilisatrices de phosphates (BSP) a été réalisée dans des boîtes de Pétri contenant le milieu de Pikovskay's (PVK) stérilisé à 115 °C pendant 30 minutes. Ce milieu est composé de glucose (10 g), de sulfate d'ammonium hydraté (0,01 g), de chlorure de potassium (0,2 g), de chlorure de sodium (0,2 g), de sulfate de magnésium heptahydraté (0,1 g), de sulfate de manganèse monohydraté (0,002 g), de sulfate de fer heptahydraté (0,002 g), d'extrait de levure (0,5 g), de tricalcium phosphate (5 g), d'agar (15 g), de bleu de bromophénol (0,025 g) et de nystatine (2 gouttes).

Après 7 jours d'incubation, les souches ont été sélectionnées et isolées en fonction de leur diversité morphologique. La distinction morphologique des colonies a été réalisée en se basant sur des critères macroscopiques décrits par Sharma et al. (2011), comprenant la forme, la couleur, l'aspect et le diamètre des colonies ainsi que des halos de solubilisation. L'apparition d'un halo transparent autour des colonies en croissance indique la solubilisation du phosphate, due à la présence d'acides produits par les BSP (Figure 2).

Le processus d'isolement s'est déroulé en trois étapes : une pré-culture, une sélection et une purification des souches bactériennes sur le milieu PVK, selon la méthode décrite par Guety et al. (2024). Les souches ont été sélectionnées et isolées en fonction de leur distinction morphologique basée sur des critères similaires, puis le diamètre des colonies et celui des halos de solubilisation des phosphates ont été mesurés, et l'indice de solubilisation (IS) a été calculé selon la formule suivante.

$$IS (\%) = \frac{\text{Diamètre de la colonie} + \text{Diamètre de la zone claire}}{\text{Diamètre de la colonie}}$$

Les souches isolées et purifiées, présentant un indice de solubilisation le plus élevé ($IS > 2$), ont été choisies puis cultivées dans un milieu liquide PVK afin de les multiplier, dans le but d'obtenir une quantité significative d'inoculum bactérien pour la production d'une solution de microflore accélératrice (ME). Ces différentes souches bactériennes, une fois réunies, formeront notre inoculum bactérien, désigné comme consortium bactérien dans le cadre de cette étude (Figure 3).

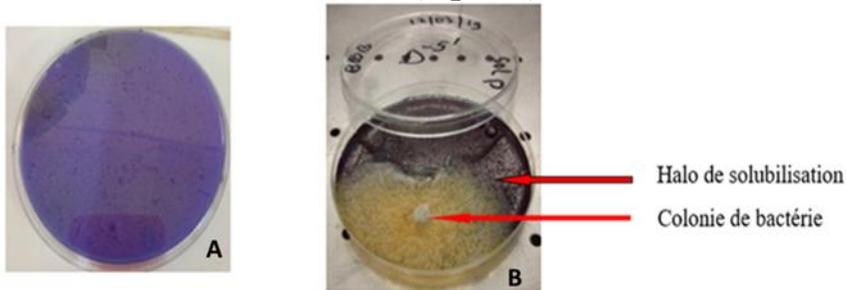


Figure 2 : Milieu témoin non inoculé (A), Microplaque contenant le milieu Pikovskay's solide inoculé présentant un halo de solubilisation autour d'une colonie bactérienne (B)

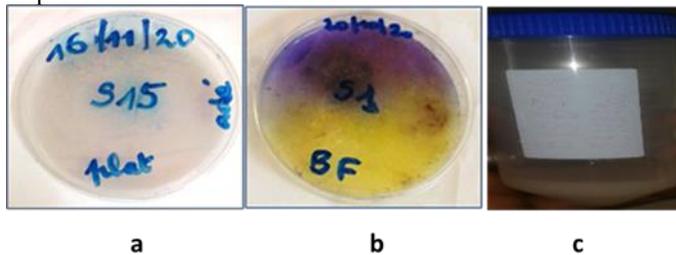


Figure 3: a) Isolât S15 ; b) Isolât S1 et c) consortium bactérien (S15 +S1)

- Préparation de la solution de microorganismes efficaces (ME)

Pour la préparation du phospho-compost, la solution ME s'est faite en mélangeant 8 ml du consortium bactérien isolé à 32 ml de mélasse et 760 ml d'eau stérile. La solution de 800ml obtenue a été incubé pendant 7 jours à 30 °C. Ensuite, la solution initiale fabriquée (800ml) a été ajoutée dans un seau contenant 0,8 litre de mélasse et 78,4 litres d'eau stérile afin d'obtenir 80 litres d'une solution de microorganismes efficaces (ME) prête à l'emploi. Cette quantité a suffi pour préparer tous les traitements de compost (Figure 4).



Solution initiale

Solution finale 80L

Figure 4: Solution de la microflore accélératrice efficace (ME) initiale et finale

- Quantification et analyse de la diversité microbienne isolée des sols
L'analyse des communautés bactériennes présentes dans le consortium isolé s'est effectuée grâce à la biologie moléculaire basée sur l'extraction de l'ADN total des isolats bactériens au laboratoire d'écologie microbienne de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) au Québec, Canada (Québec, QC Canada).

L'analyse des séquences ainsi que leur regroupement en unités taxonomiques des séquences a été effectué sur la plateforme bio-informatique du LEM de l'IRDA et ont été regroupées en OTUs sur la base de 97 % de similarité entre les séquences. La diversité bactérienne a été évaluée à travers l'indice de diversité de Shannon (Sh), l'indice Evenness (E) et l'indice Chao1(C).

Fabrication du bio-phospho-compost

- Collecte des résidus organiques de récolte

Les résidus organiques (RO) constitués de paille de riz et de maïs sont collectés auprès des paysans puis découpés finement à la machette afin de faciliter la décomposition de ceux-ci lors du compostage. La caractérisation chimique de ces résidus RO a été faite. La dose de 750 kg/ha a été utilisée dans cette étude comme suggéré dans les travaux de Kouamé *et al.*, (2017).

- Préparation du bio-phospho-compost

Trois composts (C1, C2 et C3) ont été élaborés en utilisant trois doses différentes de roches phosphatées du Maroc (RPM) : respectivement 150 kg/ha, 300 kg/ha et 450 kg/ha. Les roches phosphatées ont été combinées avec des résidus de récolte (RO) à la dose de 750 kg/ha, du fumier de volaille à raison d'un tiers du poids des RO utilisé, et une solution de microorganismes

efficaces (ME) apportée à raison de 8,8 litres par couche. Cette combinaison visait à accélérer la décomposition aérobie des matériaux organiques.

Le compostage a été réalisé en suivant la méthode décrite par la FAO (2002). Les résidus de récolte (RO) collectés ont été préalablement arrosés d'eau et laissés au repos pendant 7 jours. Pour le compostage, une première couche a été constituée en empilant une couche de paille, suivie d'une couche de fumier, puis d'une couche de roche phosphatée du Maroc (RPM), et enfin de 8,8 litres de la solution de microorganismes accélératrice efficaces (ME) préparée précédemment, afin d'accélérer la décomposition aérobie des résidus. Cette opération a été répétée trois fois jusqu'à ce que le tas atteigne une hauteur, une largeur et une longueur d'un mètre, puis il a été recouvert d'une bâche en plastique (Figure 5).

Après deux semaines, la masse s'est réduite et l'andain s'est aplati. La bâche a été retirée et la masse entière a été retournée pour favoriser la décomposition aérobie. De plus, des trous d'environ 15 cm ont été réalisés dans le composteur pour permettre l'évacuation de l'eau et maintenir une humidité adéquate. En règle générale, le compost est considéré comme prêt lorsque le tas s'est refroidi et que sa hauteur est réduite à 70 cm.



Figure 5 : Dispositif de compostage : Couche 1 avec paille et fumier (a) ; apport de microflores accélératrice efficace (ME) par couche (b) ; apport de la roche phosphatée (RP) par couche (c) ; Superposition de différentes couches de résidus organiques (d) ; compost final recouvert pour décomposition (e)

- Collecte des données et caractérisation chimique des composts fabriqués

Au cours du compostage, des retournements hebdomadaires ont été réalisés sans apport d'eau jusqu'à la maturation des composts. A l'intérieur de chaque tas, les mesures hebdomadaires ont été prises à partir du 10^e jour du

compostage avant et après chaque retournement et ont concerné la température, l'humidité et la faune. Des échantillons du compost ont été prélevés chaque dix (10) jours sur les différents composts jusqu'à leur maturation pour la détermination des paramètres suivants : le niveau de décomposition, le pH, le taux de décomposition (Td), les faunes, le nombre de BSP, le carbone organique, l'azote et la teneur en phosphore (P_2O_5).

Les bio-phospho-compost mures ont été ensuite caractérisés pour déterminer leur valeur fertilisante.

Pendant le processus de compostage, des retournements hebdomadaires ont été effectués sans ajout d'eau jusqu'à la maturation des composts. À l'intérieur de chaque tas, des mesures hebdomadaires ont été prises à partir du 10^e jour du compostage, avant et après chaque retournement, portant sur la température, l'humidité et la présence de la faune. Des échantillons de compost ont été prélevés tous les dix jours sur les différents composts jusqu'à leur maturation, afin de déterminer les paramètres suivants : le niveau de décomposition, le pH, le taux de décomposition (Td), la faune, le nombre de BSP, le carbone organique, l'azote et la teneur en phosphore (P_2O_5). Les bio-phospho-composts matures obtenus ont ensuite été caractérisés pour évaluer leur valeur fertilisante.

√ Humidité

L'humidité des composts a été vérifiée pendant les retournements puis le taux d'humidité a été déterminé après séchage de l'échantillon à 105°C pendant une nuit selon la formule suivante :

$H (\%) = ((P1 (g) - P2(g)) / P2 (g)) * 100$ ou H est le taux d'humidité du compost ; P1 (g) représente la masse humide de l'échantillon de compost et P2 (g) : la masse sèche de l'échantillon de compost.

√ Température

La température du tas a été notée à l'aide d'un thermomètre enfoui au centre de chaque compost durant 7-10 minutes, régulièrement, chaque cinq (05) jours, (le matin). Cette mesure a été effectuée pour tous les traitements.

√ pH

La détermination des différents pH a été réalisée sur des prises différentes, dans un rapport échantillon/solution 1/2,5 puis agité pendant 5 minutes. Après avoir laissé reposer pendant 2h, la mesure des pH est effectuée dans le surnageant

√ Teneur en phosphore (P_2O_5), azote, carbone, matière organique et bases échangeables

Les teneurs en phosphore assimilable a été déterminée par colorimétrie après extraction avec la méthode Mehlich (1984), et en phosphore total selon la méthode d'Olsen modifié par Dabin (Olsen et Sommers, 1982), les bases échangeables K, Ca, Mg, Mn selon Helmke et Sparks, 1996).

Le carbone organique total (C) et l'azote total Kjeldahl (N) ont été mesurés, respectivement par la méthode Walkley-Black et la méthode Kjeldahl. Le rapport C/N est alors calculé en fonction de la concentration en C et N. La matière organique est déterminée en multipliant par 2.

√ Taux de décomposition

Un échantillon d'environ 50 g de matières en décomposition a été prélevé chaque dix (10) jours dans chaque traitement. Le prélèvement s'est fait après un mélange homogène du tas. À l'aide d'un tamis de 2 mm de diamètre, la fraction fine (Mf), inférieure à 2 mm de diamètre, et celle grossière (Mg), supérieure à 2 mm de diamètre, ont été recueillies puis ont été pesée à l'aide d'une balance électronique pour déterminer les masses respectives.

$Td (\%) = (Mf \times 50g) / 100$ où Td = taux de décomposition, la masse fine (Mf) = (50g - masse grossière (Mg) et 50g la masse de la matière en décomposition prélevée.

√ Comptage de la population macrofaune

Les tas ont été fouillés pour identifier d'éventuelle macrofaune. Il s'agit de noter et compter la présence de : vers de terre épigés, mille-pattes (diplopodes), vers blanc (larve des hannetons), grillons (orthoptères), crustacés (cloportes), asticots (diptères).

√ Dénombrement des microorganismes présent dans le compost

Le dénombrement de la microflore a été déterminé sur le milieu NB (Nutrient Broth) et celle solubilisant le phosphate sur le milieu Pikovskay's (PVK) liquide. Après, 3 jours (NB) et 7 jours (PVK) d'incubation, le nombre de bactéries totales et solubilisatrices de phosphate a été déterminé grâce au lecteur de microplaque.

Traitements statistiques des données collectées

L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel statistical analysis system (SAS) version 9.0, au seuil de significativité de 5% selon le test de Student and Newman-Keuls (SNK) pour comparer les moyennes observées sous les différents composts.

Résultats

Caractérisations physico-chimiques et microbiologique des sols de la zone d'étude

Granulométrie et caractéristiques chimiques

La caractérisation des sols de Dimpleu révèle une texture sablo-limoneuse, composée de 61,1 % de limon et 30,9 % de sable (Tableau I). Dans l'ensemble, le sol est acide, avec un pHeau de 5,2 et un pHkcl de 4,1 (Tableau I). La différence de pH ($\Delta pH = pHeau - pHkcl$) est supérieure à 1, ce qui indique un potentiel d'acidification fort du sol. En effet, une différence de pH significative entre les deux mesures suggère une grande réserve d'acidité. Les

teneurs en azote (0,06 %), phosphore (0,91 %), potassium (0,09 %), carbone (0,64 %) et matière organique (1,1 %) sont faibles. Une décomposition normale de la matière organique est observée, avec un rapport C/N de 10,7 (Tableau I). La capacité d'échange cationique (CEC) est faible (15,1 cmol+.kg-1) et le taux de saturation est moyen (inférieur à 60 %) (Tableau I).

Caractéristique microbiologique du sol

- Enumération bactérienne

Le nombre de bactéries totales aérobies (BT) cultivables, dénombrées sur le milieu NB est de 50.10³ bactéries /g de sol sec et est très hautement significativement à P < 0.0001 plus importante que celle solubilisatrices du phosphore (BSP) avec 2,1. 10³ bactéries /g de sol sec (Tableau II).

Tableau I : Caractéristiques physico-chimiques des sols avant expérimentation

Paramètres	Valeurs
Argile (%)	8
Limon (%)	61,1
Sable (%)	30,9
pHeau	5,2
pH _{KCl}	4,1
P total (g.kg ⁻¹ sol sec)	9,125
P assi (g.kg ⁻¹ sol sec)	4,3
C organique (g.kg ⁻¹ sol sec)	6,4
N total (g.kg ⁻¹ sol sec)	0,6
MO (g.kg ⁻¹ sol sec)	11,01
C/N	10,7
K (g.kg ⁻¹ sol sec)	0,9
Na ⁺ (mmol+.kg ⁻¹)	0,45
Ca ⁺⁺ (mmol+.kg ⁻¹)	2,967
Mg ⁺⁺ (mmol+.kg ⁻¹)	0,53
Al ⁺⁺⁺ (mmol+.kg ⁻¹)	0,106
CEC (mmol+.kg ⁻¹)	15,11
S/T %	59,9

Tableau II : Nombre de Bactéries totales (BT) x 103/g sol sec et de bactéries solubilisatrices des phosphates (BSP) x 103/g sol sec présentes sur les sols de la parcelle étudiée

Site	BT	BSP	Pr
Dompleu	50± 7 ^a	2,1 ± 0,5 ^b	Pr* <0,0001

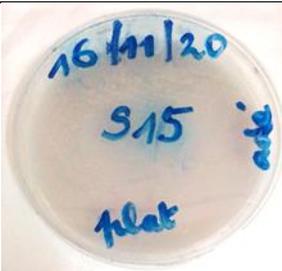
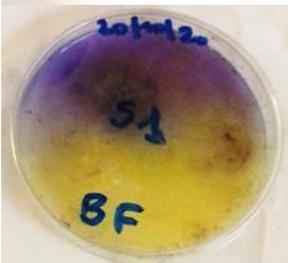
* Très hautement Significatif à P < 0,001. Les données sur une même ligne suivie de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-keuls p<0,05

Caractéristiques macroscopiques des isolats bactériens solubilisateurs de phosphates

L'étude macroscopique les isolats S15 et S1 indique que l'isolat S15 est de couleur blanche crémeux, d'aspect gluant et de forme arrondie alors que

S1 a un aspect cotonneux, de couleur jaune vert et une forme arrondie (Tableau III). S15 et S1 ont respectivement 7,6 cm et 5,8 cm comme des diamètres de la zone halo et ont obtenus au bout de 07 jours, des indices de solubilisation (IS) respectivement de 4,8 et 3,2 (Tableau III).

Tableau III : Caractéristiques macroscopiques des isolats bactériennes solubilisatrices de Phosphate. *Indice de solubilisation= IS*

Isolats	Caractères morphologiques	Photo	Diamètre Halo (cm)	IS
S15	Aspect gluant, de couleur blanc crémeux et de forme arrondie		7,6±1,3	4,8±0,9
S1	Aspect coton, de couleur jaune vert et une forme arrondie		5,8±0,4	3,6±0,6

Quantification et Richesse microbienne du consortium bactérien

Après la quantification par qPCR, le nombre total de bactéries présent dans le consortium est de $3,9.10^{+8}$ UA/g sol sec) (Tableau IV). Les indices de la diversité microbienne indiquent que l'indice de Chaos est de 257,3 alors que celui de Shannon est supérieur à 4 et que l'indice de Evenness tend vers 1 (Tableau IV), témoignant une diversité élevée avec une répartition équilibrée des espèces au sein de la population.

Composition de la diversité microbienne du consortium bactérien

L'abondance relative des principaux groupes de bactéries et des différents genres détectés dans le consortium est présentée sur les figures 6 et 7. On note cinq (05) phyla présents. Il s'agit du phylum des Firmicutes (77%), le plus dominant avec 15 genres, suivi des phyla des Actinobacteria (8%) et des Proteobactéria (8%) avec 01genre chacun, enfin le phylum des Halobacterota (5 %) avec 01genre et des Chloroflexi 2% avec 01 genre par phylum (Figure 6 et 7). Dans le consortium, les genres les plus représentatifs dans le plylum des Firmicutes sont les Clostridium sp. (22,5%) et les Bacillus sp. (14,5%) (Figure 6).

Tableau IV : Nombre de bactéries totales en Unité d’amplification (UA/ g sol sec), Nombre d’Unité Taxonomique Opérationnelles (OTU) observées et les indices de richesse microbienne (Shannon, Chao1, Evenness)

Ecologie	Quantification et Richesse microbienne				OTU Observées
	Nombre de Bactéries	Shannon	Chao1	Evenness	
Consortium	$3,9 \cdot 10^{+08}$	4,4	257,3	0,8	253

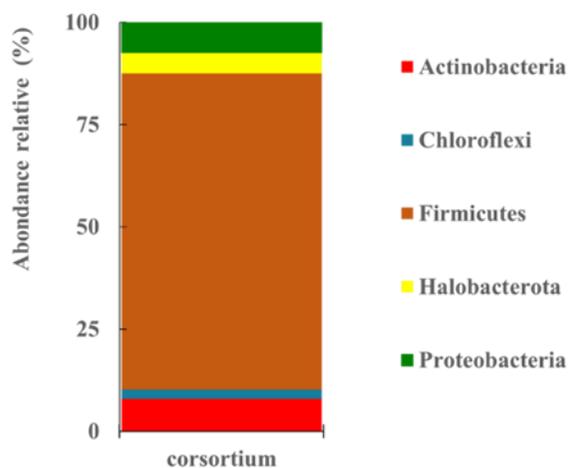


Figure 6 : Proportions relatives des principaux groupes procaryotiques détectés dans le consortium (groupes supérieurs à 1%)

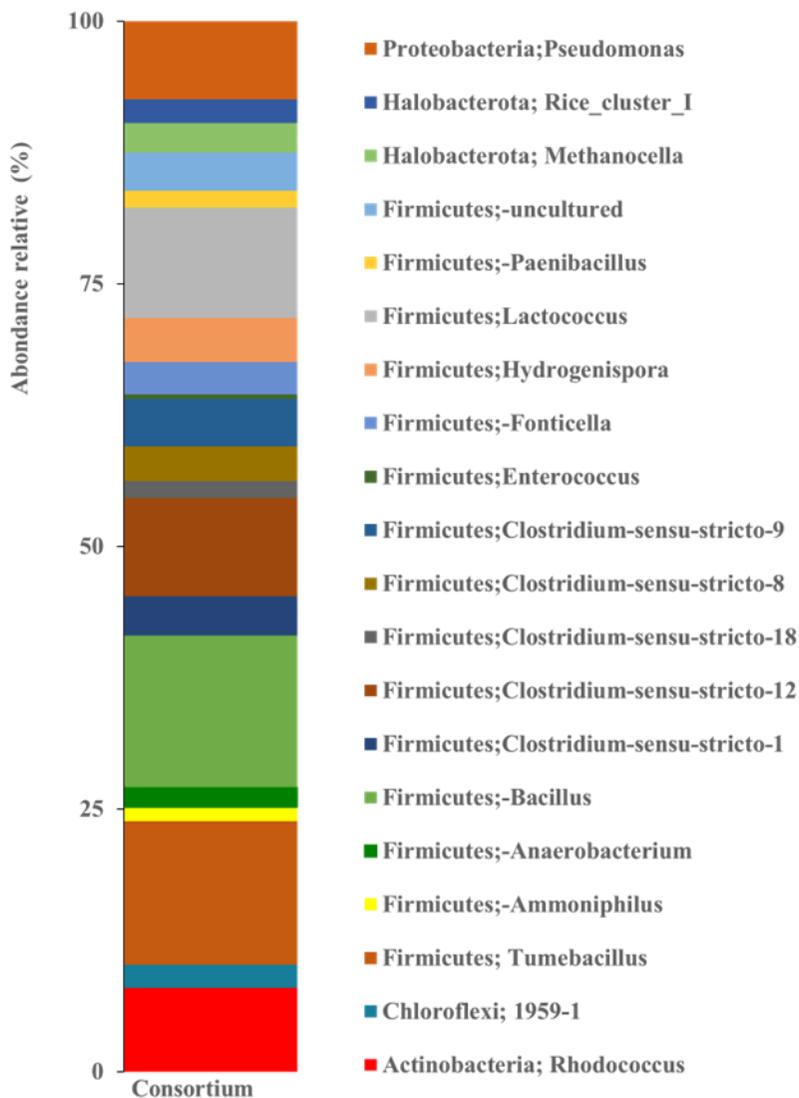


Figure 7: Proportions relatives des principaux genres procaryotiques détectés dans le consortium

Caractérisation chimique des résidus de récolte (RO) et de la fiente de volaille

L'analyse chimique des résidus organiques de récoltes (RO) montre qu'ils sont composés majoritairement du carbone (49,3 %), du potassium (25,0 g.kg⁻¹), suivi de l'azote (19,6 g.kg⁻¹) et du phosphore (1,03 g.kg⁻¹) et contiennent aussi des oligo-éléments comme Ca (2,9 g.kg⁻¹), Fe (4,66 g.kg⁻¹), Zn (5,7 g.kg⁻¹) et le Mg (1,93 g.kg⁻¹) (Tableau V).

La composition chimique de la fiente de volaille utilisée dans cette étude est caractérisée par une richesse en matière organique (N = 3,1 % ; C =

42,1 %) avec un rapport C/N = 13,37, traduisant une bonne décomposition. La fiente de volailles est moyennement riche en P (1,14 %), en K (2,8 %), en Ca (4,09 %) et en Mg (1,36 %) mais pauvre en oligo-éléments (Fe (1,06 g.kg⁻¹), Zn (0,03 g.kg⁻¹)) (Tableau V).

Tableau V : Caractéristiques chimiques et microbiologiques des matériaux utilisés dans le compostage (résidus de récolte organique (RO) et Fiente de volaille. BT (bactéries aérobies totales), BSP (bactéries solubilisateurs des phosphates), nd (non déterminé))

Nutriments	Valeurs (g.kg ⁻¹)	
	RO	Fiente
N (g/kg)	19,60	30,94
P (g/kg)	1,03	11,48
K (g/kg)	25,00	28,84
Ca (g/kg)	2,9	40,96
Mg (g/kg)	1,93	13,63
Fe	4,66	1,06
Zn	5,7	0,03
C (g/kg)	493,3	420,90
C/N	25,16	13,37
MO (g/kg)	986,6	841,8
BT (bactéries /g MS)	nd	1,3. 10 ⁷
BSP (bactéries /g MS)	nd	2. 10 ⁵

Caractérisation des composts produits

Evolution de la température lors du compostage

Sur la figure 8, on assiste à une élévation de la température dès le début du compostage jusqu' au 14^{ième} jour (la phase thermophile) puis à une chute de la température du 14^{ième} au 28^{ième} jours de compostage (phase de refroidissement) et enfin une phase de maturation qui dure 7 jours (du 28^{ième} au 35^{ième} jours du compostage). La température s'élève à 64,3 °C pour C1 (150kg RPM/ha), 65,9 °C pour le compost C2 (300kg RPM/ha) et à 67,5 °C pour le C3 (450kg RPM/ha) puis elle chute progressivement à partir du 14^{ième} jour et atteint entre 21 à 23 °C à la fin du compostage (35^{ième} jour).

Le processus de compostage se caractérise par un pH initial qui varie de 7,3 à 7,8 en fonction de la dose en roche phosphatée naturelle du Maroc (RPM). L'évolution du pH en fonction du temps montre trois phases différentes (figure 8). Le compostage passe par une phase acidogène de 14 jours, où le pH passe de 7,3 à 5,2 pour le compost 1 (C1), de 7,5 à 5,4 pour le compost 2 (C2) et de 7,8 à 5,7 pour le compost 3 (C3). Vers le 28e jour, il y a un passage rapide par une phase de neutralité quel que soit le type de compost. Au 35e jour, il y a passage par une phase d'alcalinisation où le pH atteint 7,8 pour le compost 1 (C1), 8,1 pour le compost 2 (C2) et 8,4 pour le compost 3 (C3). Le pH final légèrement alcalin (7,8 à 8,1), fait des composts un produit sans risques pour le sol et pour les plantes.

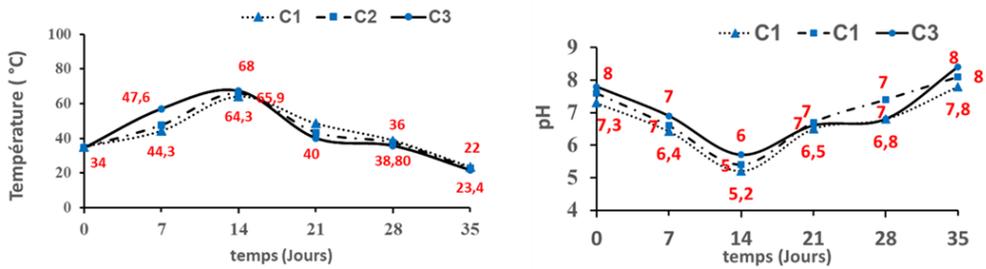


Figure 8 : Evolution de la température et du pH lors du compostage

Evolution de l'humidité du compostage

Lors du compostage, le taux d'humidité diminue significativement au cours du temps, environ 60% dans le compost jeune, il n'est plus que de 20% dans C1 mûr, 23,5 % dans C2 mûr et 24,4% dans C3 mûr dans le compost (Figure 9).

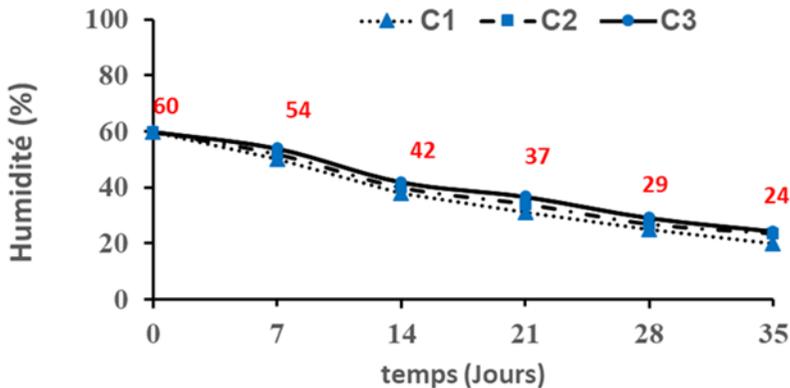


Figure 9 : Evolution du taux d'humidité lors du compostage

Evolution du taux de décomposition de la matière organique lors du compostage

Sur la figure 10, le taux de décomposition (Td) de la matière organique au 28^{ème} jour est de 50,3 % pour le compost C1 (150kg RPM/ha), 86,1% pour le compost C2 (300kg RPM/ha) et de 92,5 % pour le compost C3 (450kg RPM/ha). Au 35^{ème} jour, il est de 78 % pour le compost C1 (150kg RPM/ha), 93,5% pour le compost C2 (300kg RPM/ha) et de 98,5 % pour le compost C3 (450kg RPM/ha). L'état final des composts est présenté sur la figure 10.

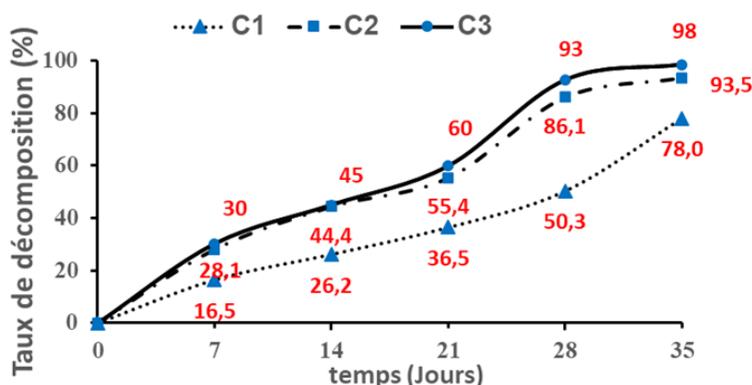


Figure 10 : Evolution du taux de décomposition des matières lors du compostage

Evolution de la matière organique (MO), azote, rapport C/N lors du compostage

Selon la figure 11, quel que soit la dose de roche phosphatée (RPM) dans le compost, la teneur en matière organique (MO) et le rapport C/N au cours du compostage baisse progressivement passant de 61 % MO initiale à environ 34,7 à 37,9 % MO et d'un rapport C/N de 28 à 29 initial à un C/N de 11 à 10 à la maturation du compost. Par contre, on assiste à un enrichissement des différents composts en azote passant initialement de 1 % N à 1,7 % N à leur maturité. D'ensemble, on constate une plus rapide minéralisation de la matière organique lorsque le compost contient la dose de 450 kg RPM/ha, comparativement aux composts C1 et C2 avec une diminution du taux de matière organique qui passe d'environ 60 % à environ 38 % après 35 jours de compostage (Figure 11).

Evolution de la microflore bactérienne aérobie totale et solubilisatrice des phosphates lors du compostage

La figure 12 indique une première phase caractérisée par la diminution du nombre de bactéries aérobie totale (BT) et des bactéries solubilisatrices de phosphates (BSP) quel que soit la dose de roche phosphatée dans le compost. Au 14^{ième} jour, les BT passent initialement de 10^8 BT/ g de matière sèche à $2,7 \cdot 10^5$ BT/ g MS pour le compost 1 (C1), à $4,3 \cdot 10^5$ BT/ g MS pour le compost 2 (C2) et à $6,5 \cdot 10^5$ BT/ g MS pour le compost 3 (C3). De même, les BSP passent initialement de 10^8 BT/ g de matière sèche à $1,3 \cdot 10^3$ BSP/ g MS pour le compost 1 (C1), à $2,5 \cdot 10^3$ BSP/ g MS pour le compost 2 (C2) et à $6,5 \cdot 10^3$ BSP/ g MS pour le compost 3 (C3). A delà des 14^{ième} jours, on note la seconde phase qui est caractérisée par l'augmentation du nombre des BT et BSP passant à environ $26 \cdot 10^8$ BT/ g MS et à $5,2 \cdot 10^5$ BSP/ g MS au 35^{ième} jour du compostage (Figure 12).

Evolution de la teneur en phosphore (P) lors du compostage

Au cours du compostage, le phosphore est conservé au sein des tas par la faible baisse en P constatée dans l'ensemble des tas. La teneur initiale en P des tas passant de 0,56 % à 0,54 % pour le compost C1, de 0,76 % à 0,74 % pour le compost C2 et de 0,96 % à 0,92 % pour le compost C3 (Figure 13). On note une perte maximale de - 4% par rapport à la teneur initiale en P des tas quel que soit la dose en roche phosphatée (RPM) appliquée.

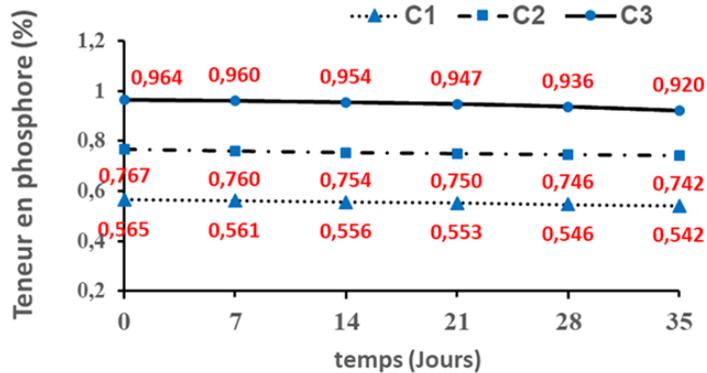


Figure 13 : Evolution de la teneur en phosphore (P) lors du compostage

Composition chimique des composts produits

Les différentes caractéristiques des composts préparés sont présentées dans le tableau VI. Le compost C1 présente des valeurs de MO totale (378 g/kg MS), de carbone (18,4 %) et de C/N (11,8) plus élevées que celles des composts C2 et C3 (Tableau VI). Elles sont respectivement de 35,5 % MO ; 17,75% C et un rapport C/N de 10,8 pour la C2 contre 34,7 % MO ; 17,35% C et un C/N de 10,2 pour la C3. En dehors de ces trois éléments (MO, C, C/N) dont les teneurs dans le C1 sont supérieures à celle des C2 et C3, tous les autres éléments nutritifs ont des teneurs plus élevées dans le compost C3 suivi du compost C2. En comparant, les paramètres des différents bio-phospho-composts avec la norme NFU 44-051, on constate que qu'ils répondent tous aux exigences des valeurs seuils définies par la norme NFU 44-051 (Tableau VI).

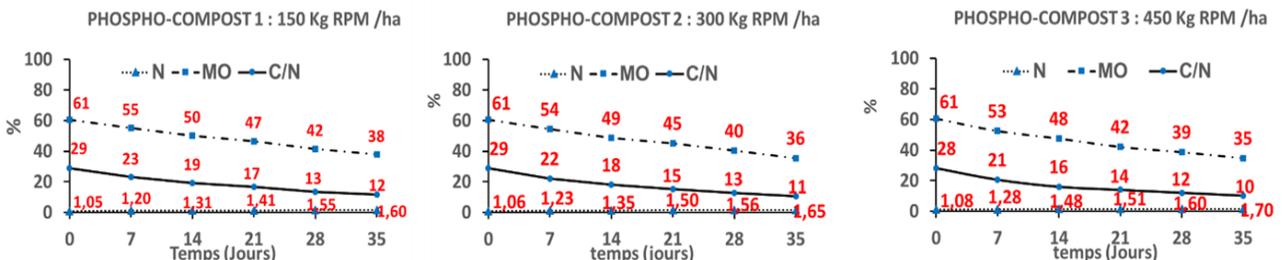


Figure 11 : Evolution de la teneur en matière organique (MO), azote, rapport C/N lors du compostage

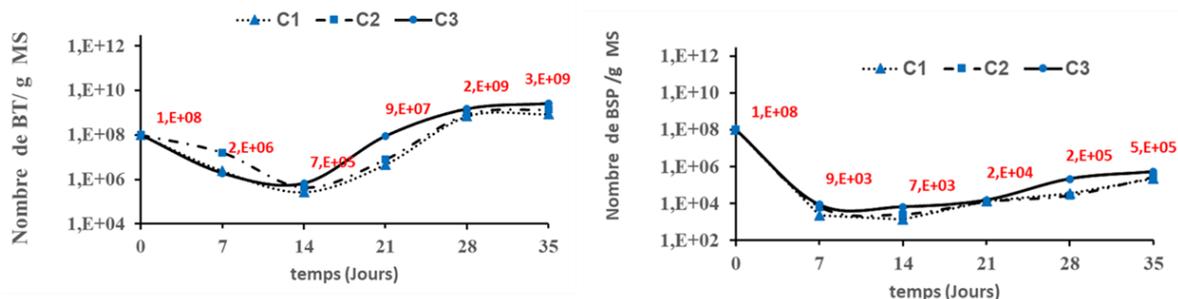


Figure 12: Evolution des bactéries aérobies totales (BT) et solubilisatrices des phosphates (BSP) lors du compostage par g de matière sèche

Tableau VI: Caractéristiques chimiques des composts finaux C1 (150 kg RPM/ha), C2 (300 kg RPM/ha) et C3 (450 kg RPM/ha). Source AFNOR, (2006)

Paramètres	C1	C2	C3	Norme NFU 44- 051
pHeau	7,8a	8,1a	8,4a	
P ₂ O ₅ total (% MS)	0,64c	1,25b	1,92a	< 3 %
C organique (% MS)	18,9a	17,5ab	17,35ab	< 3 %
N total (% MS)	1,6a	1,65a	1,7a	< 3 %
MO (g.kg ⁻¹ sol sec)	37,8 a	35,5 ab	34,7 ab	> 25 %
C/N	11,81a	10,75a	10,20a	> 8
K ₂ O (% MS)	1,22b	2,05b	2, 53a	< 3 %
Na (% MS)	0,68b	0,74b	0,93a	
Ca (% MS)	24,17a	25,43a	26,2a	
Mg (% MS)	1,13a	1,77a	1,85a	
Mn (mg/ kg MS)	444b	489b	599a	
Fe (mg/ kg MS)	2513c	3248b	4427a	
Zn (mg/ kg MS)	135c	167b	189a	< 600 mg/kg MS
Taux de décomposition (%)	78	93,5	98,5	

(Les données sur la même ligne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-keuls p<0,05)

Discussion

Etat de fertilité des sols de Dompleu

La caractérisation granulométrique des parcelles rizicoles de Dompleu (Man, Côte d'Ivoire) indique que les sols sont riches en limons avec plus de 60% et en sable (30%) mais ils sont pauvres en argile (moins de 10%). Cette faible teneur en argile rend ces sols moins fertiles puisque l'argile est la fraction granulométrique la plus active à cause de ces multiples fonctions en outre son association avec la matière organique formant le complexe argilo-humique qui est le site d'échange des cations, et anions (Kouadio et al., 2018). De plus, les faibles valeurs de pH eau (5,2) et de pHKCl (4,1) indique que les

sols sont moyennement acides avec une variation de pH supérieur à 1 ($\Delta\text{pH} > 1$), traduisant un fort potentiel d'acidification du sol. Cette acidité potentielle forte des sols favorisera la diminution de la nitrification, la déficience en phosphore, la toxicité aluminique et manganique, l'indisponibilité de certains éléments nutritifs et par conséquent limitera la croissance végétale. Ce qui justifierait les faibles teneurs en azote, en P, en K observées dans les sols de parcelles étudiées. Par ailleurs, le rapport C/N des sols de la parcelle qui est de 10,7 traduit une minéralisation normale de la matière organique. Toutefois, les valeurs en carbone et en matières organiques des sols de la parcelle étudiée sont faibles, cela pourrait provenir des pratiques culturales réalisées par les agriculteurs, qui est la surexploitation des sols des parcelles rizicoles, et constituer un obstacle à la bonne productivité du riz sur cette parcelle rizicole (Biaou et al., 2017; Gnahoua et al., 2023 ; Agegnehu et al., 2021). La valeur de la capacité d'échange cationique (CEC) obtenue des sols de la parcelle rizicole de Dompleu est faible ($15 \text{ mmol}^+ \cdot \text{Kg}^{-1}$) et est inférieure à la valeur seuil qui est de l'ordre de $15 \text{ Cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ proposée dans la littérature (Kouadio et al., 2018). Cette faible CEC de ces sols stipule qu'ils ont une faible capacité de rétention des bases et des cations en cas d'apport d'engrais minéral. Le taux de saturation en bases est moyen avec $V < 60$, indiquant que le sol n'est pas complètement saturé en éléments nutritifs essentiels, ce qui peut limiter la disponibilité des nutriments pour les plantes et nécessiter des apports réguliers en fertilisants pour maintenir la fertilité du sol

La caractérisation microbiologique a révélé un nombre important de bactéries aérobies totales et de bactéries solubilisatrices de phosphates de l'ordre de $5 \cdot 10^4$ bactéries par /sol sec. Toutefois, ce nombre de BT ou de BSP est 800 fois plus faible que celui dénombré sur la parcelle rizicole de la station de recherche de Man ($4290 \cdot 10^4$ bactéries par /sol sec) lors des études menées par Boueunan, (2019). Cette différence pourrait provenir du fort taux en limon et également de la faible teneur en matière organique constaté sur les sols de la parcelle rizicole de Dompleu. Cela pourra favoriser une structure massive des sols en réduisant l'aération et par conséquent inhiber la prolifération de la microflore (Annabi, 2005). Il ressort de cette caractérisation physico-chimique et microbiologique que l'utilisation donc dans le cas de cette étude d'amendements organiques comme le compost, qui constitue une source importante de matière organique et d'éléments nutritifs pour le sol (Saleem et al., 2013), pourra servir à la restauration du sol et remédier à cette baisse de la fertilité constatée.

Caractéristiques chimiques des bio phospho-composts

Caractéristiques du compostage

Quelle que soit la dose de roche phosphatée du Maroc (RPM) ajoutée au compost, nos résultats mettent en évidence une hausse de la température de

20 °C à 70 °C dès le deuxième jour et jusqu'au quatorzième jour du processus de compostage, témoignant d'une production de chaleur significative. Cette élévation initiale de la température est attribuable à la présence abondante de microorganismes thermophiles responsables de la décomposition de la matière organique des substrats (Chennaoui et *al.*, 2016), ainsi qu'à la richesse en matières organiques facilement biodégradables. Au cours du compostage, ces composés organiques sont dégradés par des microorganismes via le processus de fermentation aérobie, entraînant une production importante de chaleur et de dioxyde de carbone. Selon Attrassi et *al.*, (2005), cette montée rapide de la température en début de compostage est également influencée par la nature et la composition des mélanges initiaux utilisés, ainsi que par l'activité précoce des microorganismes. L'analyse moléculaire de la diversité bactérienne du consortium ajouté aux résidus organiques initiaux révèle la prédominance d'espèces telles que *Clostridium* spp. (22%), *Bacillus* spp. (14%), et *Pseudomonas* spp. (7,5 %), réputées pour leur capacité à solubiliser les phosphates et à produire des acides (Kutu et *al.*, 2019). Ces espèces, durant le processus de compostage, produisent des enzymes qui favorisent et accélèrent la dégradation de la matière organique. Par ailleurs, indépendamment de la dose de RPM, une acidification du milieu est observée lors de la décomposition des résidus organiques par les microorganismes thermophiles. Cette acidification est due à la libération d'acides humiques de la matière organique, favorisant ainsi la solubilisation du phosphate naturel (Ablede et *al.*, 2020). Cette acidification pourrait résulter de la production d'acides organiques issus de la décomposition des composés organiques, affectant ainsi le pH du milieu (Taktek, 2015; Yu et *al.*, 2011). Le maintien de conditions thermophiles et acidophiles pendant environ deux semaines dans les tas de compost témoigne du bon déroulement du processus de compostage, éliminant ainsi les microorganismes pathogènes et une grande partie des substances phytotoxiques (Biekre et *al.*, 2018).

Le rapport C/N initial, de l'ordre de 29, diminue progressivement au cours des cinq semaines de compostage pour atteindre une valeur comprise entre 10,20 et 11,8, indépendamment de la dose de RPM. Cette diminution est attribuable à la consommation prédominante de carbone par rapport à l'azote lors de la minéralisation de la matière organique par les microorganismes. Un rapport C/N compris entre 10,20 et 11,8 au 35^e jour atteste de la maturité des bio-phospho-composts. Selon Sow (2018), un compost mûr présente un rapport C/N inférieur ou égal à 20 et est considéré comme de qualité pour une utilisation en agriculture.

Nos résultats révèlent une phase de maturation d'environ deux semaines, caractérisée par une diminution progressive de la température et une alcalinisation progressive du milieu jusqu'au 35^e jour, date à laquelle le taux de décomposition des différents composts est de 78% pour le C1, 93,5% pour

le C2 et 98,5% pour le C3. Cette remontée du pH est causée par la consommation des acides et la production d'ammonium, signes de maturation du compost. Ainsi, l'obtention d'un compost mûr avec un taux de décomposition supérieur à 80% en seulement cinq semaines de compostage, quel que soit la dose de RPM, peut être attribuée à la composition du consortium bactérien ajouté au compost ainsi qu'à l'ajout de matériaux riches en sucre tels que la mélasse de canne à sucre, source directe de carbone pour les microorganismes, favorisant ainsi leur activité spécifique et accélérant la décomposition des matériaux organiques.

Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par Ablet et *al.* (2019), qui ont constaté un compost phosphaté mature à base de roche phosphatée du Togo et du Maroc, sans inoculation bactérienne, après 14 semaines de compostage. Ils diffèrent également de ceux de Lompo et *al.* (2009) et d'Ousmane et *al.* (2020), dont les composts phosphatés ont nécessité entre 4 et 7 mois de compostage. L'ajout de BSP a considérablement réduit la durée de compostage à 5 semaines. De plus, cette étude a révélé une accélération du taux de décomposition du tas de compost avec une dose élevée de roche phosphatée du Maroc (300 à 450 kg/ha), atteignant un taux de décomposition de plus de 92%.

Caractéristiques des composts produits

La caractérisation des bio-phospho-composts finaux produits (C1, C2, C3) a révélé qu'ils présentent un pH légèrement alcalin et des rapports C/N compris entre 10,20 et 11,81, traduisant ainsi une décomposition normale de la matière organique et une forte minéralisation de celle-ci. Les concentrations élevées en éléments fertilisants tels que le phosphore (P), l'azote (N), le potassium (K), le carbone (C), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), ainsi que les concentrations relativement moyennes en oligoéléments tels que le fer (Fe), le manganèse (Mn) et le zinc (Zn), indiquent que ces bio-phospho-composts possèdent des propriétés amendantes et fertilisantes. Conformément aux normes définies par la norme NFU 44-051, établie par Leclerc (2001) et Sow (2018), ces composts répondent aux exigences des valeurs seuils. De plus, le pH final légèrement alcalin des bio-phospho-composts produits (compris entre 7,8 et 8,4) en fait des produits sans risques pour le sol et les plantes, conformément à la norme NFU 44-051. Cette valeur de pH obtenue dans notre expérimentation est cohérente avec les travaux de Ablet et *al.*, (2020), qui ont obtenu un pH final similaire (compris entre 7,5 et 8,5) pour le phospho-compost réalisé avec la roche phosphatée du Maroc (RPM).

Les valeurs du taux de décomposition, du pH, de la teneur en azote (N), phosphore (P), potassium (K), ainsi qu'en oligoéléments (calcium (Ca), magnésium (Mg), manganèse (Mn), zinc (Zn), fer (Fe), sodium (Na)) sont globalement plus élevées lorsque le compost contient la dose D450,

comparativement aux doses D300 et D150. Cette augmentation du pH, plus marquée lorsqu'on augmente la dose en RPM, pourrait être attribuée à sa richesse en CaO, représentant 49,5 % de la RPM, qui joue un rôle de tampon dans le milieu et élève le pH pendant le compostage. Selon Dabre et al. (2017), cette hausse du pH est due à la liaison du calcium contenu dans le phosphate naturel du Maroc (49 % Ca) au complexe argilo-humique, favorisant ainsi la baisse de la concentration des ions H^+ dans la solution du sol et, par conséquent, augmentant le pH du milieu. De même, l'augmentation de la teneur en phosphore (P), carbone (C), azote (N), ainsi que du nombre des bactéries totales aérobies (BT) et solubilisatrices de phosphates (BSP), plus importante à la dose D450 qu'à la dose D150 et D300, peut être attribuée à la diversité des espèces bactériennes présentes dans le consortium utilisé, dont les activités favorisent la décomposition des matériaux organiques du compost et la libération des minéraux. Comme l'ont souligné Kutu et al., (2019), la qualité et l'efficacité du compost dépendent de facteurs tels que la composition et la diversité de la communauté microbienne fonctionnelle présente dans le compost. Il est également possible que la teneur en P_2O_5 de la RPM, différente dans chaque dose, joue un rôle dans ces observations.

Conclusion

Cette étude a été entreprise dans le but d'analyser les propriétés physico-chimiques et microbiologiques des bio-phospho-composts élaborés afin d'apprécier leur valeur fertilisante. Nos résultats mettent en évidence que les bio-phospho-composts finaux produits (C1, C2, C3) présentent un pH légèrement alcalin, des rapports C/N compris entre 10,20 et 11,81, et sont enrichis en éléments fertilisants tels que le phosphore (P), l'azote (N), le potassium (K) et le carbone (C), quelle que soit la dose de RPM, ce qui atteste de leur qualité amendante et fertilisante.

Il ressort de cette étude que l'apport de bactéries solubilisatrices de phosphate a permis de réduire considérablement la durée des composts à 5 semaines 6 semaines au lieu de 4 mois à 07 mois.

Remerciements : Nous tenons à remercier sincèrement l'Office Chérifien du Phosphate (OCP-Africa) pour le soutien financier et le Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) de Man pour le soutien technique apporté à la réalisation du projet de recherche ASORPRI.

Conflits d'intérêts : Les auteurs déclarent qu'il n'y a pas de conflits d'intérêts.

Contributions des auteurs: Affi Jeanne **BONGOUA-DEVISME**, Wongbe Beralex **BOUEUNAN** ont participé à la réalisation des travaux sur le terrain,

à la conception, puis à la rédaction et à la mise en forme de l'article; Franck Michael Lemounou **BAHAN** étant le superviseur à la réalisation de toutes les étapes de ce travail.

Financement: Cette recherche a été financée par l'Office Chérifien du Phosphate (OCP) Africa.

Disponibilité des données: Les données générées ou analysées au cours de cette étude sont fournies dans leur intégralité dans l'article publié et sont accessibles chez l'auteur correspondant.

References:

1. Abbasi, M. K., Musa N., Manzoor M. (2015). Mineralization of soluble P fertilizers and insoluble rock phosphate in response to phosphate-solubilizing bacteria and poultry manure and their effect on the growth and P utilization efficiency of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Biogeosciences*, 12(15): 4607–4619. <https://doi.org/10.5194/bg-12-4607-2015>
2. Ablede K. A., Koudjega K., Ganyo K. K., Kpemoua E. K., Lombo Y., (2020). Amélioration de la solubilisation des phosphates naturels de faible réactivité par phospho compostage à base de fumier. *Bul. Rech. Agro. Ben.*, 175-181. DOI: http://www.slire.net/download/2583/article_22_pg_brab_n_sp_cial_it_ra_oct_2019_ablede_et_al_am_lioration_solubilisation.pdf
3. AFNOR (2006). Norme internationale ISO 22198 : 2006. Norme française NF U 44-051. Amendements organiques Dénominations, spécifications et marquage. 17p
4. Agegnehu, G., Amede, T., Erkossa, T., Yirga, C., Henry, C., Tyler, R., Sileshi, G. W. (2021). Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: a review. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 71(9): 852-869. <https://doi.org/10.1080/09064710.2021.1954239>
5. Annabi, M. (2005). Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine: relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse de Doctorat Institut National Agronomique, Paris-Grignon, Paris, France. 281p
6. Asuming-Brempong S. et Anipa B., (2014). The Use of Rock Phosphate and Phosphate Solubilising Fungi (*Aspergillus niger*) to Improve the Growth and the Yield of Upland Rice on Typical Kandiudal. *West African Journal of Applied Ecology*, 22(1). 27-39.

7. Atieno M, Herrmann L, Nguyen HT, Phan HT, Nguyen NK, Srean P, Than MM, Zhiyong R, Tittabutr P, Shutsrirung A, Bräu L, Lesueur D. (2020). Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the Great Mekong Region. *J Environ Manage*, 275(1): 111300. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111300.
8. Attrassi B., Mrabet L., Douira A., Ouine K., El Haloui N., (2005). Etude de la valorisation agronomique des composts des déchets ménagers. Université Ibn Tofail. Kenitra (Maroc) 6p.
9. Bekayo D. N., (2003). L'utilisation du compost est-elle une solution pour une production agricole durable des savanes africaines? In : Jamin J. Y., Boukar L. S., Floret C. . Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun. Prasac, N'Djamena, Tchad - Cirad, Montpellier, France, 3p.
10. Biaou, O. D. B., Saidou, A., Bachabi, F. X., Padonou, G. E., et Balogoun, I. (2017). Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*Daucus carota L.*) sur sol ferrallitique au sud Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5): 2315-2326. 10.4314/ijbcs.v11i5.29
11. Biekre A.H. T, TIE Bi Tra et DOGBO D. O (2018). Caractéristiques physico-chimiques des composts à base de sous-produits de ferme de Songon en Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(1): 596-609, DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.45>
12. Boueunan W. B. (2019). Caractérisation des bactéries solubilisatrices des phosphates isolées des sols de rizière : cas de la parcelle rizicole de man (ouest de la côte d'ivoire). Mémoire de Master Diplôme de Master en Sciences de la Terre Spécialité Pédologie, Université Felix Houphouët Boigny, 67p.
13. Chennaoui M, Salama Y., Makan A., Mountadar M. (2016). Compostage en cuve des déchets ménagers et valorisation agricole du compost obtenu. *Algerian journal of arid environment*, 6(2) : 53-66
14. Dabre A., Hien E., Der Some et Drevonjj (2017). Effets d'amendements organiques et phosphatés sous Zaï sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et la qualité de la matière organique en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1), 473-487.
15. Dagbenonbakin G., Djenontin A. J., Ahoyo Adjovi N., Igue M. A., Mensah G. A., (2013). Production et utilisation de compost et gestion des résidus de récolte. Fiche technique. Dépôt légal N°6529 du 18/01/2013, 1er trimestre 2013, Bibliothèque Nationale du Bénin, 12 p.

16. Essui A.R. (2020). Effets des durées de compostage de la fiente de poulet sur les paramètres agronomiques de la laitue (*Lactuca sativa* L.). Mémoire de Master en Bioressources-Agronomie, option Amélioration des ressources agricoles. Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, 45 p.
17. FAO (2002). Biofertilizer production plant, Myanmar (FAO/UNDP Project), by H. Hiraoka. Back to Office Report. Bangkok, FAO–RAP.
18. Giles C.D., Richardson A.E., Druschel G.K., Hill J.A., (2012). Organic anion-driven solubilization of precipitated and sorbed phytate improves hydrolysis by phytases and bioavailability to *Nicotiana tabacum*. *Soil Science*, 177(10): 591-598.
19. Gnahoua, J. B. G., Ouattara, M. L. M. S., Coulibali, Z., Diomandé, L. B., Soro, Y. R. (2023). Integrated Soil Fertility Management: A Promising Pathway for Sustainable Intensification of Smallholder Cotton Farming Systems in Côte d’Ivoire. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 8(1): 51-58. DOI: 10.9734/ajrcs/2023/v8i1157
20. Guety T. P., Bongoua-Devisme A. J., Kpan W. H., Kouadio K.-K. H., Bahan F. M. L. (2024). Rice straw effect on phosphate rock from Morocco (PRM) – phosphate solubilizing bacterium (PSB) combination on acid soil in Man (Ivory Coast, West Africa). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 59 (2): 10843 -10855. <https://doi.org/10.35759/JAnmPISci.v59-2.1>
21. Petit, J. and Jobin, P. (2005) La fertilisation organique des cultures. Fédération d’Agriculture Biologique du Québec, 48p.
22. Kitabala, M.A., Tshala, U.J., Kalenda, M.A., Tshijika, I.M. and Mufind, K.M. (2016) Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi. Province du Lualaba (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences*, 102, 9669-9679
23. Konate Z., N’ganzoua K. R., Bi Zro F. G., Bakayoko S., Camara M. (2022). Effet de différentes doses de compost de fiente de poulet sur la fertilité des sols et les paramètres agronomiques de la laitue (*Lactuca sativa* L.). *Agronomie Africaine*, 34(1) : 34 (1) : 117 – 131
24. Kone B., Saidou, A., Et Camara M., (2010). Effet de différentes sources de phosphate ur le rendement du riz sur sols acides. *Agronomie Africaines*, 22(1), 55–63.
25. Kouadio, E. N., Koffi, E. K., Julien, K. B., Messsoum, G. F., Brou, K., & N’guessan, D. B. (2018). Diagnostic de l’état de fertilité des ols sous culture Cotonnière dans les Principaux Bassins de Production de Côte d’Ivoire. *European Scientific Journal*, ESJ, 14(33), 221. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n33p221>

26. Kpan W. H., Bongoua-D. A.J., Kouadio K.-K.H., Kone B., Bahan F. M. L (2023). Response of lowland rice to phosphate amendments in three acidics agroecological zones of Côte d'Ivoire: Man-Gagnoa-Bouaké. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, (2023), 8(5): 135-144. DOI: 10.22161/ijeab.85.18
27. Kutu, F.R., Mokase, T.J., Dada, O.A. et al. (2019). Assessing microbial population dynamics, enzyme activities and phosphorus availability indices during phospho-compost production. *Int J Recycl Org Waste Agricult* 8, 87–97. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0231-9>
28. Larbi M., (2006). Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Thèse de doctorant. Université de Neuchâtel, Faculté des Sciences.161 p
29. Leclerc B., (2001). Guide des matières organiques Tome 1 (2ème édition). Institut technique de l'agriculture biologique (ITAB), 238 p.
30. Mahmood, I., Imadi, S.R., Shazadi, K., Gul, A. and Hakeem, K.R. (2016). Effects of Pesticides on Environment. In: Hakeem, K., Akhtar, M. and Abdullah, S., Eds., *Plant, Soil and Microbes*, Springer, Cham, 253-269. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27455-3_13
31. Mashori, N. M., Memon, M., Memon, K. S., Kakar, H. (2013). Maize dry matter yield and P uptake as influenced by rock phosphate and single super phosphate treated with farm manure. *Soil Environment*, (2013), 32(2): 130-134
32. Mehlich, A. (1984). Mehlich 3 Soil Test Extractant. A Modification of the Mehlich 2 Extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15, 1409-1416. <http://dx.doi.org/10.1080/00103628409367568>
33. Ousmane G., Mamane T. M., Saidou A. K., M. Hamissou I. GREMA., Adamou Z., (2020). Valorisation de glume de mil et balle de riz par compostage : caractérisations physico-chimiques des composts, Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Chimie, p 31-36
34. Sharma. S., Vijay, k and Ram, B.T. (2011). Isolation of Phosphate Solubilizing Microorganism (PSMs) From Soil. *Journal of Microbiology and Biotechnology Research* (2): 90-95.
35. Saleem M. M., Arshad M., and Yaseen M. (2013). Effectiveness of various approaches to use rock phosphate as a potential source of plant available P for sustainable wheat production, *Int. J. Agric. Biol.*, 15, 223–230.
36. Sawadogo J., Coulibaly P. J. D'A., Traore B., Ouedraogo J. P., Diarra A., Legma J. B., (2022). Caractérisations physico-chimiques d'un sol

- hydromorphe amendé par un biofertilisant dans un système de culture à base de cucurbitacées au Burkina Faso, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 16(5): 2457-2469. <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
37. Sawadogo J., Coulibaly P. J. D'A., Traore B., Bassole M. S. D., Kabore A. et Legma J. B., (2021). Amélioration des propriétés physico-chimiques et microbiologiques des sols par des fertilisants biologiques sous cultures de la tomate en zone Soudano-sahélienne. *Afrique SCIENCE* 19(4) : 189 – 202
 38. Sow M. (2018). Effets de deux types de compost et de la fertilisation minérale azotée sur les propriétés du sol et le rendement du riz (*Oriza sativa* L.) de Nappe en station au CRA de Djibélor. Mémoire de Master en Aménagement et Gestion des écosystèmes forestiers et agroforestiers, Université Assane Seck de Ziguinchor, 34p.
 39. Taktek S., (2015). Dissolution biologique des phosphates : Interaction bactéries – mycorhizes. Thèse Université Laval, Québec, Canada. 128p.
 40. Vessey J.K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, 255: 571–586.
 41. Yu X, Liu X, Zhu TH, Liu G.H, Mao C., (2011). Isolation and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from walnut and their effect on growth and phosphorus mobilization. *Biol Fertil Soils* 47: pp. 437–446

Aptitudes des principaux porte-greffes de *Mangifera indica* L. à supporter les variétés primeurs comme *Kent*, *Papaye* et *Ateudj* en Casamance au Sénégal

Omar Boun Atab Diedhiou

Doctorant, Université Assane Seck, Sénégal

Ousmane Ndiaye

Maître de Conférences, Ecole nationale supérieure d'agriculture, Sénégal

Ngor Ndour

Maître de Conférences, Université Assane Seck, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p178](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p178)

Submitted: 28 March 2024

Accepted: 07 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Diedhiou, O. B. A., Ndiaye, O., & Ndour, N. (2024). *Aptitudes des principaux porte-greffes de *Mangifera indica* L. à supporter les variétés primeurs comme *Kent*, *Papaye* et *Ateudj* en Casamance au Sénégal*. *European Scientific Journal*, ESJ, 20 (18), 178.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p178>

Résumé

La valeur de la production de mangue au Sénégal est estimée à près de 4 milliards de FCA. Toutefois, comme les autres filières fruits et légumes, la performance de celle de la mangue reste toujours en deçà des attentes. Afin de relever ce défi, cette étude porte sur le greffage des variétés locales pour améliorer leur productivité. Le présent travail réalisé dans le centre d'application du département d'agroforesterie qui se trouve à Ziguinchor, concerne le test de greffage de trois variétés de *Mangifera indica* L. précoces (*Papaye*, *Ateudj* et *Kent*) avec quatre porte-greffes (*Papaye*, *Sierre Léone*, *Diourou* et *Kouloubadaséky*). L'expérience a duré 18 mois (Juillet 2022 à janvier 2024). Ce travail a contribué à l'identification des meilleurs porte-greffes pour les variétés *Papaye*, *Kent* et *Ateudj*. Il est ressorti de cette expérience que la variété *Kouloubadaséky* donne un meilleur taux de réussite (93,33% \pm 11,55) avec la variété *Ateudj*. La variété *Diourou* donne le plus grand taux de réussite (90% \pm 10) avec la variété *Kent*. La variété *Papaye* a donné le meilleur taux de réussite (100%) avec elle-même. Les performances des variétés *Kouloubadaséky*, *Diourou* et *Papaye* sont révélées pour les greffons des variétés *Ateudj*, *Kent* et de *Papaye*. En effet les greffons ont donné

des taux de survie élevés 80,88% pour *Ateudj*, 79,10% pour *Kent* et 76,19% pour *Papaye*. En termes de croissance le porte greffe *Sierra Léone* donne les meilleurs taux de croissance (greffon *Ateudj* [67,26% \pm 4,77] et greffon *Kent* [52,95% \pm 11,44]). Par contre le greffon *Papaye* croit plus s'il est supporté par le porte-greffe *Diourou* avec un taux de croissance de 71,71% \pm 8,25.

Mots-clés: *Mangifera indica* – Porte-greffe- Casamance-Sénégal

The ability of the main *Mangifera indica* L. rootstocks to support early varieties such as *Kent*, *Papaye*, and *Ateudj* in Casamance, Senegal

Omar Boun Atab Diedhiou

Doctorant, Université Assane Seck, Sénégal

Ousmane Ndiaye

Maître de Conférences, Ecole nationale supérieure d'agriculture, Sénégal

Ngor Ndour

Maître de Conférences, Université Assane Seck, Sénégal

Abstract

The value of mango production in Senegal is estimated at nearly 4 billion francs. However, like other fruit and vegetable sectors, the performance of the mango sector remains below expectations. In order to meet this challenge, this study focuses on the grafting of local varieties to improve their productivity. The present work, carried out at the Agroforestry Department's application center in Ziguinchor, concerns the grafting test of three early *Mangifera indica* L. varieties (*Papaye*, *Ateudj* and *Kent*) with four rootstocks (*Papaye*, *Sierre Léone*, *Diourou* and *Kouloubadaséky*). The experiment lasted 18 months (July 2022 to January 2024). This work contributed to the identification of the best rootstocks for the *Papaye*, *Kent* and *Ateudj* varieties. This experiment showed that the *Kouloubadaséky* variety gives a better success rate (93.33% \pm 11.55) with the *Ateudj* variety. The *Diourou* variety gave the highest success rate (90% \pm 10) with the *Kent* variety. The *Papaye* variety gave the best success rate (100%) with itself. The performances of the *Kouloubadaséky*, *Diourou* and *Papaye* varieties are revealed for the grafts of the *Ateudj*, *Kent* and *Papaye* varieties. Grafting yielded high survival rates: 80.88% for *Ateudj*, 79.10% for *Kent* and 76.19% for *Papaye*. In terms of growth, the Sierra Leone graft holder gave the best growth rates (*Ateudj* graft [67.26% \pm 4.77] and *Kent* graft [52.95% \pm 11.44]). *Papaya*, on the other hand,

grows best when supported by *Diourou* rootstock, with a growth rate of 71.71% \pm 8.25.

Keywords: *Mangifera indica* - Rootstock- Casamance-Senegal

Introduction

Avec un rapport global de près de 4 milliards de FCFA au Sénégal, en fournissant de l'emploi à près de 20000 personnes dont près de 50% de femmes en 2011, le secteur de la mangue est important dans l'économie nationale. Cependant son potentiel reste largement sous-exploité. En 2017, environ 3 600 tonnes de mangues fraîches sont transformées, soit une valeur de 250 millions de FCFA (Badji, 2018). Le secteur de la mangue apporte surtout aux femmes et aux jeunes des revenus additionnels dans les exploitations familiales en milieu rural (Strebelle, 2013). Malgré son importance, le vieillissement des vergers est prégnant en Casamance (Diatta, *et al.*, 2018 et Ndiaye *et al.*, 2020). Cette situation est liée à la pression démographique et le manque de renouvellement des vergers. L'amélioration de la filière mangue et l'application de technologies appropriées tout au long de la chaîne de valeur pourraient offrir des opportunités d'emplois surtout aux femmes et aux jeunes. Par ailleurs Ndiaye *et al.*, (2020) ont observé beaucoup d'asymétrie sur les troncs de manguiers relatives à l'adéquation porte-greffe et scion. Cette asymétrie apparente à la zone de jonction des tissus des deux variétés suscitait une variabilité du développement de la cime du houppier. Diedhiou *et al.*, (2021) ont montré que les variétés *Diourou*, *Kouloubadaséky* et *Sierra léone* offrent une croissance en hauteur et en diamètre plus élevée que la variété *Pince* ; il en est de même pour la croissance racinaire. Il est pertinent de s'intéresser aux effets des porte-greffes locaux sur la croissance des variétés primeurs à forte valeur ajoutée. Les variétés *Kent* et *Keitt* sont les plus prisées à l'export cependant les forts pics de populations de mouches des fruits coïncident avec la maturation des mangues *Keitt* (Ndiaye *et al.*, 2012 ; Konta *et al.*, 2015). Les mangues *Papaye*, *Ateudj* et *Kent* arrivant tôt sur le marché enregistrent de faibles pertes dues aux infestations des Tephritidae. Ainsi l'étude a pour objectif d'évaluer l'aptitude des variétés locales *Diourou*, *Kouloubadaséky*, *Papaye* et *Sierra léone* à porter les greffons de *Ateudj*, *Kent* et *Papaye*. Il s'agit spécifiquement de :

- ❖ Evaluer la croissance des plants greffés selon la variété et le porte greffe,
- ❖ Déterminer les combinaisons de greffage suscitant des asymétries associées à la zone de jonction des tissus du porte-greffe et scion.

I. Matériel et méthodes

1.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée dans la ferme du Département d'Agroforesterie de l'Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ). Elle est située dans l'arrondissement de Niaguis, département de Ziguinchor (Figure 1). La zone est caractérisée par un climat de type sud-soudanien côtier marqué par l'existence de deux saisons: une saison sèche et une saison pluvieuse (Sagna, 2005). La pluviométrie moyenne annuelle sur la série 1980-2018 est de 1302,04 mm (Coly *et al.*, 2020). Les températures minimales et maximales mensuelles sont respectivement de 21,5° C et 35° C durant la série 1990 à 2016 (Coly *et al.*, 2020). Les sols de la commune de Ziguinchor appartiennent aux terres du plateau continental, présentent deux types de sols: les sols ferrugineux tropicaux lessivés et les sols ferralitiques faiblement à moyennement désaturés (Charreau *et al.*, 1967).

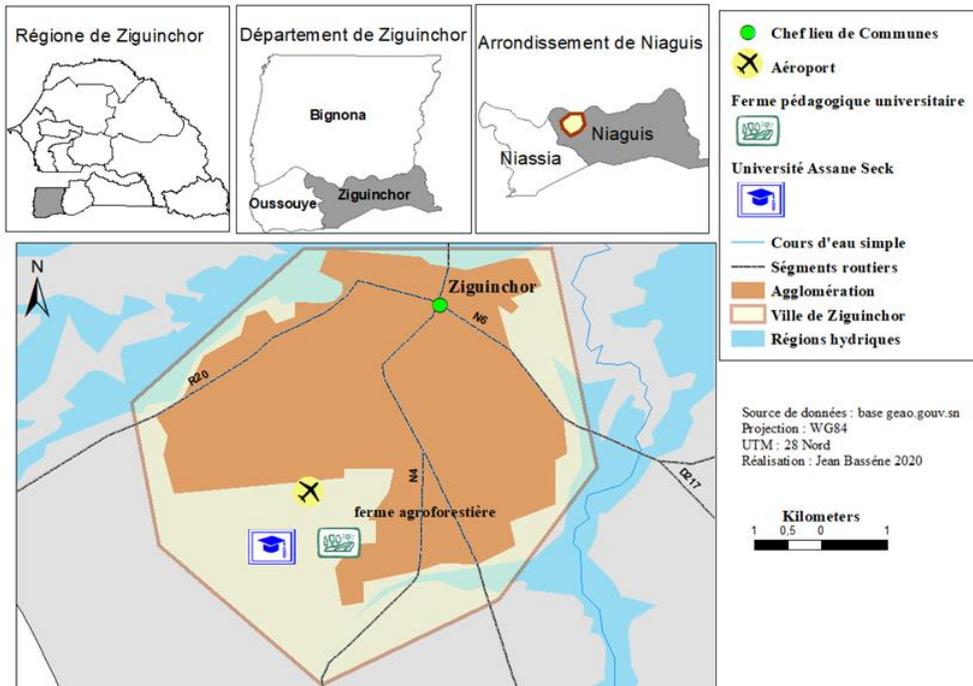


Figure 1 : Carte de localisation de la ferme du département d'agroforesterie (Ndiaye *et al.*, 2022)

1.2. Matériel végétal

Les variétés *Sierra Léone*, *Papaye*, *Kouloubadaséky* et *Diourou* ont été utilisés comme porte-greffes. Les noix de ces variétés proviennent de Mlomp/Oussouye (Diédhiou *et al.*, 2021). Les greffons des variétés *Ateudj*, *Kent* et *Papaye* ont été utilisés. Les greffons proviennent de Diabir/ Ziguinchor. Les

greffons en arrêt de croissance et turgescents sont meilleurs pour une reprise rapide.

1.3. Dispositif expérimental

Le dispositif est en parcelles divisées et constitué de 4 blocs distants de 1,10 m. Chaque bloc est divisé en 3 grandes parcelles (Figure 2). Les grandes parcelles sont distantes de 50cm. Chaque grande parcelle est composée de 4 petites parcelles. Chaque petite parcelle renferme 20 gaines. Les petites parcelles sont distantes de 25cm. Les petites parcelles correspondent aux modalités du facteur Types de porte-greffes et les grandes parcelles aux modalités du facteur types de greffon. L'expérience a duré 18 mois.

Facteur1 : Types de porte-greffes :

- ✓ Variété *Siéra Léone* (Sl)
- ✓ Variété *Diourou* (Di)
- ✓ Variété *Kouloubadaséky* (Kl)
- ✓ Variété *Papaye* (Py)

Facteur2 Types de greffon :

- ✓ Variété *Ateudj* (At)
- ✓ Variété *Papaye* (Py)
- ✓ Variété *Kent* (Kt)

Les 12 traitements sont :

- Sl x At; Di x At; Kl x At; Py x At
- Sl x Py; Di x Py; Kl x Py; Py x Py
- Sl x Kt ; Di x Kt ; Kl x Kt ; Py x Kt

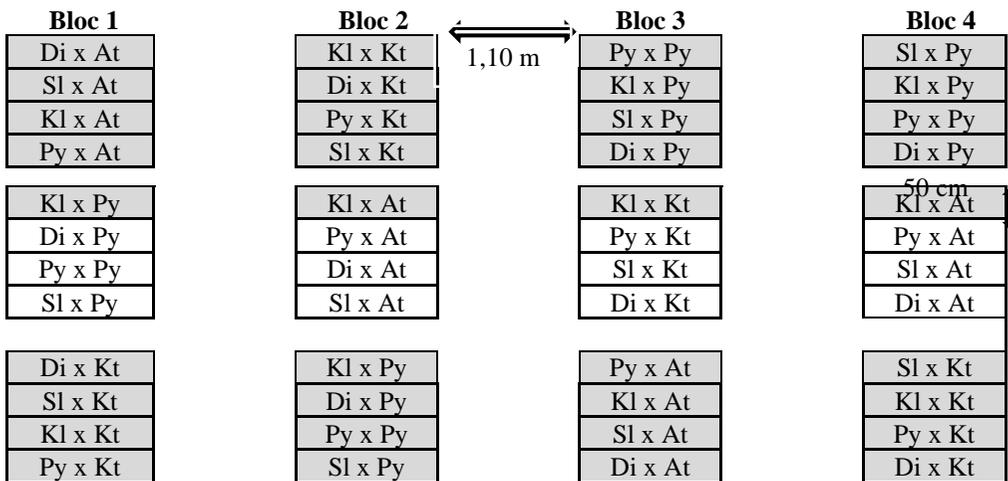


Figure 2 : Dispositif expérimental

1.4. Greffage

1.4.1. Technique de greffage pratiquée

Dans chaque petite parcelle 10 plants ont été greffés pour chaque greffon. Les greffons bien noués et en arrêt de croissance ont été choisis sur des sujets qui ne présentent pas de signe de maladie visible.

Une taille est faite avant d'entamer le greffage proprement dit. La méthode en double fente a été appliquée pour tous les traitements. C'est une méthode qui permet une soudure adéquate et maximise les chances de réussite chez *Mangifera indica* L. La méthode consiste à :

- Enlever le bourgeon terminal et les éventuelles branches du porte-greffe à l'aide d'un sécateur ;
- Une première entaille est faite puis une seconde entaille verticale au 2/3 de la première sur le greffon et aussi sur le porte-greffe. L'entaille est faite à l'aide d'un couteau ; et le greffon est inséré dans l'entaille du porte-greffe et puis les deux parties sont ligaturées avec des sachets transparents.

1.4.2. Suivi du greffage

Après 4 jours un passage est fait pour voir les reprises. Une surveillance régulière est faite par 3 jours pour observer la reprise et enlever les bourgeons sur le porte-greffe. Chez les pieds dont la reprise est constatée, le sachet est ôté en haut du greffon pour ne pas bloquer l'évolution des nouvelles pousses sur le scion. Les nouvelles pousses du porte-greffe sont régulièrement enlevées pour éviter la concurrence avec le greffon.

Un décompte des pieds réussites sera fait pour chaque traitement et ceci permettra de calculer le taux de réussite selon la formule suivante.

$$\text{Taux de réussite par traitement} = \frac{\text{nombre de plants greffés réussis par traitement}}{\text{nombre total de plants greffés par traitement}} \times 100$$

1.4.3. Mesure autour de ligne cicatricielle de greffage

Un mois après greffage, la longueur initiale du greffon est mesurée et aussi la longueur du rajout. Les diamètres en bas du point de greffage et en haut du point de greffage (au niveau du greffon) sont mesurés.

Le taux de croissance est obtenu à partir de la formule suivante

$$\text{Taux de croissance} = \frac{\text{Longueur de rajout du greffon après 1 mois de greffage}}{\text{Longueur total du greffon après 1 mois de greffage}} \times 100$$

1.5. Collecte et traitement des données

Le Tableur Excel a été utilisé pour la saisie des données collectées et le traçage des tableaux. Les données collectées ont été analysées avec le logiciel XLSTAT. Des analyses de variances (ANOVA) ont été faites au seuil

de 5% et les tests de comparaison de moyennes avec test de Fisher. Les variables ont été soumis à une analyse multivariée.

2. Résultats et discussion

2.1. Résultats

2.1.1. Taux de réussite au greffage et taux de survie

Le tableau 1 montre la variation du taux de réussite au greffage en fonction des traitements pour le greffon *Papaye*. L'analyse de variance montre qu'il y a une différence significative entre les traitements ($P=0,012$). Le porte-greffe *Papaye* avec le greffon *Papaye* (PyxPy) a donné un taux de réussite au greffage de 100%. Le plus faible taux de réussite au greffage ($63,33\% \pm 5,77$) est obtenu avec le traitement SlxPy (porte-greffe *Sierra Léone* avec le greffon *Papaye*).

Tableau 1 : Taux de réussite du greffage avec *Papaye*

Traitements	Taux de réussite (%)
Di x Py	93,33 ($\pm 11,55$) b
Kl x Py	64,44 ($\pm 22,19$) a
Py x Py	100 (± 0) b
Sl x Py	63,33 ($\pm 5,77$) a
Moyenne	80,28 ($\pm 20,47$)
p-value	0,012

Légende : Di : porte-greffe *Diourou*, x : greffage, Py : *Papaye*, Kl : *Kouloubadaséky* et Sl : *Sierra Léone*

Le tableau 2 montre le taux de réussite au greffage en fonction des traitements pour le greffon *Ateudj*. L'analyse de la variance montre une différence significative entre la variété *Kouloubadaséky* et la variété *Sierra Léone* ($P=0,017$). Le porte-greffe *Kouloubadaséky* a enregistré le plus grand taux de réussite au greffage (93,33%) comparé à celui obtenu par les porte-greffes *Diourou* (70%) et *Papaye* (75%) qui sont les plus faibles.

Tableau 2 : Taux de réussite du greffage avec *Ateudj*

Traitements	Taux de réussite (%)
Di x At	91,67 ($\pm 14,43$) b
Kl x At	93,33 ($\pm 11,55$) b
Py x At	75 (± 25) a
Sl x At	70 (± 10) a
Moyenne	82,5 ($\pm 17,51$)
p-value	0,017

Légende : Di : *Diourou*, x : greffage, At : *Ateudj*, Kl : *Kouloubadaséky*, Py : *Papaye* et Sl : *Sierra Léone*

Le tableau 3 montre le taux de réussite au greffage en fonction des traitements pour le greffon *Kent*. L'analyse de la variance montre une

différence significative entre la variété *Diourou* et la variété *Kouloubadaséky* ($P= 0,027$). Le porte-greffe *Diourou* a donné le plus grand taux de réussite au greffage (90%) comparé au porte-greffe *Kouloubadaséky* qui a donné le plus faible taux de réussite au greffage (68,06%).

Tableau 3 : Taux de réussite du greffage avec *Kent*

Traitements	Taux de réussite (%)
Di x Kt	90 (± 10) b
Kl x Kt	68,06 ($\pm 18,79$) a
Py x Kt	83,33 ($\pm 28,87$) b
Sl x Kt	73,89 ($\pm 6,74$) a
Moyenne	78,82 ($\pm 17,89$)
p-value	0,027

Légende : *Di* : *Diourou*, *x* : greffage, *Kt*: *Kent*, *Kl* : *Kouloubadaséky*, *Py* : *Papaye* et *Sl* : *Sierra Léone*

Le tableau 4 donne le taux de survie par rapport aux greffons. Il ressort de ce tableau que le greffon *Ateudj* donne un meilleur taux de survie (80,88%) par rapport aux taux du greffon *Papaye* (76,19%) et greffon *Kent* (79,10%).

Tableau 4 : Taux de survie des greffons

Greffons	Taux de survie (%)
<i>Papaye</i>	76,19
<i>Ateudj</i>	80,88
<i>Kent</i>	79,10

2.1.2. Taux de croissance

Le tableau 5 donne la variation du taux de croissance en fonction des traitements. L'analyse de variance montre qu'il y a une différence moyennement significative entre les traitements ($P= 0,002$). La variété *Diourou* donne un plus grand taux de croissance (71,71%) comparé à la variété *Sierra Léone* qui donne le plus faible taux de croissance (59,96%).

Tableau 5 : Taux de croissance selon les traitements pour le greffon *Papaye*

Traitements	Taux de croissance (%)
Di x Py	71,71 ($\pm 8,25$) b
Kl x Py	69,51 ($\pm 9,32$) b
Py x Py	63,27 ($\pm 6,82$) ab
Sl x Py	59,96 ($\pm 10,72$) a
Moyenne	66,24 ($\pm 9,68$)
p-value	0,002

Légende : *Di* : porte-greffe *Diourou*, *x* : greffage, *Py* : *Papaye*, *Kl* : *Kouloubadaséky* et *Sl* : *Sierra Léone*

Le tableau 6 montre la variation du taux de croissance en fonction des traitements pour le greffon *Ateudj*. L'analyse de variance montre qu'il y a une différence moyennement significative entre la variété *Sierra Léone* et la

variété *Papaye* ($P= 0,005$). Le plus grand taux de croissance est noté avec la variété *Sierra Léone* (67,26%). La variété *Papaye* donne le plus faible taux de croissance (57,78%).

Tableau 6 : Taux de croissance en fonction des traitements pour le greffon *Ateudj*

Traitements	Taux de croissance (%)
Di x At	63,81 ($\pm 7,74$) b
Kl x At	59,66 ($\pm 7,87$) ab
Py x At	57,78 ($\pm 4,79$) a
Sl x At	67,26 ($\pm 4,77$) b
Moyenne	62,52 ($\pm 7,16$)
p-value	0,005

Légende: Di : *Diourou*, x : greffage, At : *Ateudj*, Kl : *Kouloubadaséky*, Py : *Papaye* et Sl : *Sierra Léone*

Le tableau 7 donne la variation du taux de croissance en fonction des traitements pour le greffon *Kent*. L'analyse de variance montre qu'il y a une différence significative entre les traitements ($P= 0,012$). La variété *Sierra Léone* donne le plus grand taux de croissance (52,95%) par contre, la variété *Diourou* donne le plus faible taux de croissance (41,74%).

Tableau 7 : Taux de croissance en fonction des traitements pour le greffon *Kent*

Traitements	Taux de croissance (%)
Di x Kt	41,74 ($\pm 17,14$) a
Kl x Kt	42,30 ($\pm 25,82$) a
Py x Kt	45,95 ($\pm 14,97$) a
Sl x Kt	52,95 ($\pm 11,44$) b
Moyen total	46,05 ($\pm 16,62$)
p-value	0,012

Légende :Di : *Diourou*, x : greffage, Kt: *Kent*, Kl : *Kouloubadaséky*, Py : *Papaye* et Sl : *Sierra Léone*

Le tableau 8 montre la variation du diamètre des plants après greffage en fonction des traitements. L'analyse de variance montre qu'il y a une différence significative en fonction des traitements quelques soit le niveau de diamètre mesurés. La variété *Diourou* donne des différences de diamètres en fonction des greffons sauf pour le greffon *Kent* dont le diamètre au-dessus du point de greffage (0,6cm) est similaire au diamètre en dessous du point de greffage. La variété *Kouloubadaséky* présente des asymétries à tous les niveaux de diamètre mesurés pour tous les greffons. La variété *Papaye* donne des symétries à tous les niveaux de diamètre mesurés pour le greffon *Papaye*. De même pour le greffon *Kent*, le porte greffe *Papaye* donne des mesures de diamètres qui sont proche (1,4 cm, 1 cm et 1,2 cm). Par contre le porte greffe *Papaye* donne des asymétries à tous les niveaux de diamètre mesurés pour le greffon *Ateudj*. Le porte greffe *Sierra Léone* donne des mesures de diamètre

qui sont presque similaires pour le greffon *Kent* et le greffon *Ateudj*. Par contre, la variété *Sierra Léone* présente des asymétries à tous les niveaux de diamètre mesurés pour le greffon *Papaye*.

Tableau 8 : Variation du diamètre après greffage en fonction des traitements

Traitements	Diamètre en dessous (cm)	Diamètre P.G. (cm)	Diamètre au-dessus (cm)
Di x At	1,3 (±0,28) b	1,7 (±0,14) b	0,95 (±0,07) ab
Di x Kt	0,6 (±0,07) a	0,95 (±0,35) a	0,6 (±0) a
Di x Py	1,15 (±0,21) b	1,35 (±0,21) b	0,8 (±0) ab
Kl x At	1,15 (±0,21) b	1,4 (±0,42) b	0,6 (±0) a
Kl x Kt	0,95 (±0,49) ab	1,25 (±0,78) b	0,75 (±0,35) a
Kl x Py	1,35 (±0,21) b	1,7 (±0,28) b	1,05 (±0,07) b
Py x At	1,05 (±0,07) b	1,45 (±0,07) b	0,8 (±0,14) ab
Py x Kt	1,2 (±0,14) b	1,4 (±0,14) b	1 (±0) b
Py x Py	0,75 (±0,21) a	0,75 (±0,35) ab	0,75 (±0,21) a
Sl x At	1 (±0) b	1,25 (±0,07) b	0,7 (±0) a
Sl x Kt	1 (±0) b	1,5 (±0,28) b	1 (±0) b
Sl x Py	0,8 (±0) ab	1,1 (±0) ab	0,55 (±0,07) a
Moyenne	1,02 (±0,26)	1,35 (±0,32)	0,79 (±0,19)
p-value	0,004	0,006	0,002

Légende : Diamètre P.G. : diamètre au point de greffage

Di : porte greffe Diourou ; Kl : porte greffe Kouloubadaséky ; Py : porte greffe Papaye en même temps utilisé comme greffon aussi ; Sl : porte greffe Sierra Léone ; Kt : greffon Kent ; At : greffon Ateudj

2.1.3. Corrélation entre les variables évaluées et les différents traitements

A travers l'analyse des composantes principales (ACP) réalisée, la figure 3 présente la répartition des traitements en fonction des variables mesurées sur les plants et le tableau 9 met en exergue les valeurs de corrélation entre elles.

Les axes F1 et F2 indiquent 64,68% de la variabilité étudiée. La Longueur total du greffon (après un mois de greffage), la longueur du rajout, le taux de croissance et le diamètre 3 contribuent à 84,91% à la formation de l'axe F1 tandis que le Taux de réussite, la longueur initiale et le diamètre 2 contribue à 86,45% à la formation de l'axe F2. Ainsi suivant les valeurs positives de F1, les traitements présentent un taux de croissance, une Longueur totale (longueur greffon après un mois de greffage), et un Diamètre 3 (soustraction entre le Diamètre 1 et Diamètre 2) élevés. Par ailleurs le taux de réussite, le Diamètre 1 (diamètre au point de soudure) et le Diamètre 2 (diamètre au-dessus du point de soudure) issues des traitements augmentent dans le sens des valeurs positives de F2. Mais la Longueur initiale du greffon augmente dans le sens des valeurs négatives de F2. Donc trois groupes peuvent s'individualiser. Les traitements DixPy, DixAt, KlxPy et SlxAt influencent fortement le Diamètre 1 (1,15cm), la longueur totale après greffage (32,62cm),

la longueur du rajout LAG (22,83cm) le Diamètre 3 (0,73cm) et le taux de croissance (68,07%). Les traitements KlxAt, PyxPy, PyxKt, DixKt, KlxKt, PyxAt et SlxKt influencent négativement le Diamètre 1 (1,05cm), la longueur du rajout LAG (12,10cm), le Diamètre 3 (0,62cm), le taux de croissance (51,94cm) et influencent le Diamètre 2 (0,43cm) et le taux de réussite au greffage (83,37%). Le traitement SlxPy qui influence négativement la Longueur initiale du greffon (10,83cm) le Diamètre 2 (0,3cm) et le taux de réussite au greffage (63,33%) (Figure 3).

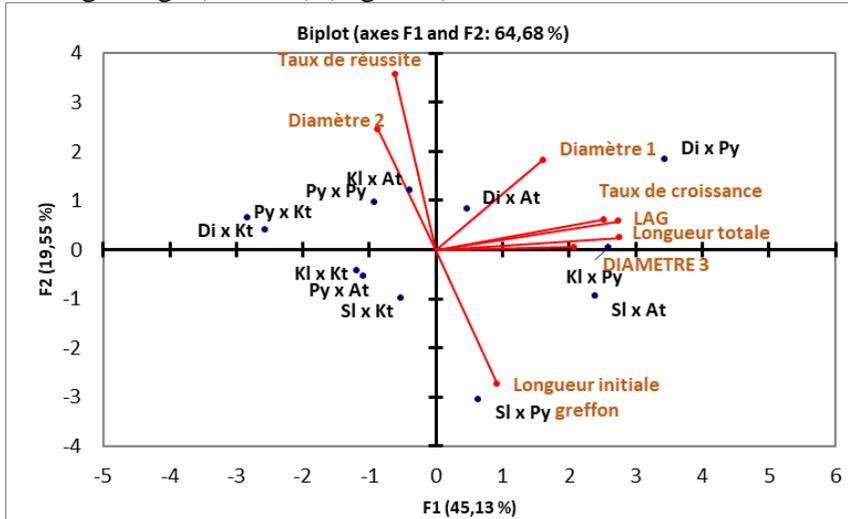


Figure 3 : Répartition des traitements en fonction des variables évaluées

Légende : Diamètre 1 : diamètre au point de greffage ; Diamètre 2 : diamètre au-dessus du point de greffage

Diamètre 3 : Diamètre 1- Diamètre 2 ; LAG : longueur de rajout du greffon après un mois de greffage ; Longueur totale : longueur totale du greffon après un mois de greffage

Tableau 9: Corrélation entre les variables évaluées

Variables	Longueur greffon (cm)	Longueur totale (cm)	Diamètre 1 (cm)	Diamètre 2 (cm)	LAG (cm)	Taux de croissance (%)	Diamètre 3 (cm)	Taux de réussite (%)
Longueur greffon	1							
Longueur totale	0,369	1						
Diamètre 1	-0,006	0,406	1					
Diamètre 2	-0,048	-0,136	0,245	1				
LAG	0,262	0,994	0,422	-0,136	1			
Taux de croissance	0,112	0,911	0,218	-0,307	0,932	1		
Diamètre 3	0,026	0,467	0,761	-0,443	0,481	0,407	1	
Taux de réussite	-0,486	-0,117	-0,029	0,315	-0,063	0,062	-0,238	1

2.2. Discussions

2.2.1. Taux de réussite en fonction des variétés

La variété *Papaye* donne un meilleur taux de réussite au greffage (100%) comparé à la variété *Sierra Léone* qui donne le plus faible taux (63,33%). Ici la variété *Papaye* donne un taux de réussite de 100% pour le greffon de la même variété. Le tableau 2 montre une différence significative entre les variétés. La variété *Kouloubadaséky* donne le plus grand taux de réussite (93,33%) pour le greffon d'*Ateudj*. La variété *Diourou* donne le meilleur taux de réussite pour le greffon de *Kent*. Ces résultats montrent que les variétés locales répondent bien au greffage. Ces résultats confirment ceux *Diedhiou et al.*, 2021 qui ont étudié le greffage chez la variété *Kent* avec comme porte-greffe les variétés locales et montrent que la variété *Diourou* donne le meilleur taux de réussite. La variété *Sierra Léone* donne également des taux de réussite élevés qui varient entre 63-73%, c'est la plus utilisée comme porte-greffe au Burkina Faso où on l'appelle Mangot vert (*Drabo et al.*, 2022). Elle est également utilisée dans beaucoup d'autres pays en Afrique de l'Ouest ceci a été évoqué par *J-Y. Rey et al.*, (2004). Les taux moyen de réussite au greffage sont de 80,28% pour le greffon de la variété *Papaye*, de 82,5% pour le greffon de la variété *Ateudj* et de 78,82% pour le greffon de la variété *Kent*, le *Mangifera indica* L. répond bien aux greffages ceci pourrait s'expliquer par le fait que moins le porte-greffe est âgé, plus il est très actif quant aux mécanismes qui conduisent à la soudure avec le greffon. Ceci est évoqué par *Ohler* (1979) qui confirme que le greffage réussit plus rapidement sur les jeunes sujets. Ces résultats sont en phase avec ceux de *Djaha et al.* (2012) qui montre le même fait chez *Anacardium occidentale* L. et ceux obtenus par *Soloviev et al.* (2004) sur le prunier d'Afrique *Sclerocarya birrea* (A.RICH.) HOCHST. En dehors des porte-greffes, la méthode de greffage utilisée peut aussi influencer le résultat ceci a été confirmé par *Bognina* (2017) qui a étudié le greffage chez *Anacardium occidentale* L. et a montré qu'à trois semaines après greffage il y a une différence significative du taux de réussite selon la méthode utilisée. *Yélouassi et al.*, (2021) affirment que la reprise des plants greffés de *Anacardium occidentale* L. dépend de la technique de greffage utilisée. La sensibilité des espèces selon la technique de greffage a été mise en évidence à travers plusieurs études (*CNSF*, 2001 ; *Lamien et al.*, 2008 ; *Bouzaién et al.*, 2011 et *Batamoussi et al.*, 2017). En effet, le greffage est un des moyens rapides de fixation des meilleurs caractères de fructification que *Leakey et al.* (2005) jugent d'une technicité simple, à faible coût et facile à transférer aux populations.

2.2.2. Taux de survie

Les taux de survie des greffons (*Papaye* [76,19%], *Ateudj* [80,88%] et *Kent* [79,10%]) sont élevés. En effet le taux d'échec de *Papaye* est de 23,84%, celui d'*Ateudj* est de 19,12% et celui de *Kent* est de 20,9%. Le greffage est effectué en période d'hivernage. Les pourcentages d'échecs sont causés par les conditions climatiques défavorables telles que la température et l'humidité qui ont causés le dessèchement et la pourriture de point de greffage. Ces résultats confirment ceux de Dehegani (2020) qui a obtenu un taux d'échec de 20% chez *Citrus volkamerainaa* en période d'hivernage.

2.2.3. Taux de croissance

Le taux de croissance des greffons après un mois de greffage en fonction des variétés. Il ressort de ces tableaux que la variété *Sierra Léone* donne les meilleurs taux de croissance (greffon *Ateudj* [67,26%] et greffon *Kent* [52,95%]) excepté pour le greffon *Papaye* où la variété *Diourou* donne le plus grand taux de croissance (71,71%). On note une croissance élevée et rapide pour ces variétés après greffage. Ces résultats confirment ceux de Lamien *et al.* (2008) qui ont trouvé que les plants greffés de *Saba senegalensis* (A.DC.) P. ont rattrapé les plants non greffés en termes de croissance en hauteur.

2.2.4. Croissance en diamètre des pieds greffés

La variation du diamètre est évaluée à trois niveaux avec une différence significative entre les variétés. Ces résultats confirment ceux d'Aschalew *et al.* (2022) qui ont étudié l'évaluation de la croissance et du rendement des variétés de *Mangifera indica* L. dans le district et ont montré qu'il y a une différence significative en ce qui concerne les paramètres de croissance végétative entre les variétés de *Mangifera indica* L. Il en est de même pour Gebresmon *et al.* (2021) qui ont eu des différences de diamètres entre les variétés de *Mangifera indica* L. Les diamètres des porte-greffes varient entre 0,6 cm et 1,35 cm, ces résultats sont presque similaires à ceux obtenues par Thakriya *et al.* (2017) qui ont eu des diamètres qui varient entre 0,5 cm et 1,57 cm avec des porte-greffes de *Mangifera indica* L. Il ressort la variété *Papaye* donne des symétries à tous les niveaux de diamètre mesuré pour cette même variété utilisé comme greffon. Ceci montre que la variété *Papaye* présente une bonne affinité à elle-même. La variété *Sierra Léone* qui présente une bonne affinité pour le greffon *Ateudj*. La variété *Diourou* présente une bonne affinité au greffage pour la variété *Kent* (greffon).

Conclusion

Au terme de ce travail consacré essentiellement à l'étude de greffage des variétés locales de *Mangifera indica* L. trois greffons (*Papaye*, *Kent* et *Ateudj*) et quatre porte-greffes (*Diourou*, *Papaye*, *Sierra Léone* et *Kouloubadaséky*), il est conseillé d'utiliser des porte-greffe de *Diourou* pour produire la *Kent* et des porte-greffe de *Sierra Léone* pour produire des mangues *Ateudj*. L'étude a permis de faire une comparaison entre les porte-greffes mais aussi entre greffon de variétés à forte valeur ajoutée. Ces résultats pourront faciliter le choix des variétés dans l'installation de vergers modernes. La simplicité et le coût relativement faible du greffage devraient favoriser une appropriation rapide par les producteurs de mangue.

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. Aschalew E., Sintayo D., Temesgen G. & Wakeyo T., (2022), Growth and Yield Performance Evaluation of Mango (*Mangifera indica* L.) Varieties in Adola Rede District, Guji Zone, Southern Ethiopia, *American Journal of Plant Biology*, Vol. 7, No. 3, 2022, pp. 136-142
Doi: 10.11648/j.ajpb.20220703.14
2. Badji K. (2018), « Filière mangue : un secteur en plein essor », *Délices* (Magazine bimestrielle gastronomique), Dakar n° 027, pp 6-7
3. Batamoussi H. M., Tokore Orou Méré S. B. J., Moussa I., Karami O. M., Amanoudo M. E & Lawson R. G. (2017). Contribution à l'amélioration du taux de réussite au greffage de l'anacardier (*Anacardium occidentale*) en pépinière dans la commune de Parakou au Nord-Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(5) : 2270-2276
Doi: <https://dx.doi.org/10.4314/jbcs.v11i5.25>
4. Bognina A., (2017). Essai de multiplication par greffage d'une accession d'*Anacardium occidentale* à grosses pommes à la station de recherche de Banfora. Mémoire : Université Nazi Boni (UNB) (Burkina Faso) 13p
5. Bouzaïen G., Albouchi A., Rejeb H., Laamouri A., & Ammari Y., (2011). Raccourcissement de la période d'entrée en production du pacaier par la recherche des techniques de greffage adéquates. *Actes des 15èmes Journées Scientifiques de l'INRGREF* : « Valorisation des

- Produits Forestiers Non Ligneux* », 28-29 Septembre 2010, *Gammarrth-Tunis Annales de l'INRGREF* (2011) 15, Numéro spécial, 15-25
6. Charreau C. & Fauck R. 1967. Les sols du Sénégal. *Etudes Sénégalaises*, 9: 115-54.
 7. CNSF, (2001). Amélioration du matériel végétal. Rapport d'activités techniques. Ouagadougou, Burkina Faso. Pp. 44-51.
 8. Coly I., Badji A., Ngom D., Goudiaby A.O.K., & Dramé M. 2020. Structure and Diversity of Parks in the Tenghory Districk (Lower Casamance, Senegal). *American Journal of Agriculture and Forestry*, 8(5): 198-207. Doi: 10.11648/j.ajaf.20200805.13
 9. Diatta U., Ndiaye O., Diatta P., & Djiba S., (2018). Caractérisation et typologie des vergers à base *Mangifera indica* L. dans les communes de Djinaky, Diouloulou, Kafountine et Kataba 1 (Casamance, Sénégal). 13th *International Scientific Forum*, ISF 2018, 4-6.
 10. Diedhiou O.B.A., Ndiaye O., Camara B., Sambou A., Ndiaye S. and Ba C.T. (2021) Growth, Development and Suitability for Kent of Mango Rootstocks on Soil Substrates Collected under *Anacardium occidentale* L., *Khaya senegalensis* (Desv.) A. Juss and *Mangifera indica* L., in Casamance, Senegal. *American Journal of Plant Sciences*, 12, 1800-1816. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.1212126>
 11. Dehegani S. (2020). Etude de la compatibilité et de l'affinité de quatre variétés de greffons d'agrumes «Washington Navel, Navelina, Orograndé, Nules» sur deux porte-greffes «*Citrangue carrizo* et *Citrus volkameriana* ». *Mémoire*. Université Abdelhamid Badis-Mostaganem 138p
 12. Djaha J. B. A., Adoro A. A. N., Koffi E. K., Ballo C. K. & Coulibaly M., (2012). Croissance et aptitude au greffage de deux génotypes d'*Anacardium occidentale* (*Anacardium occidentale* L.) élites utilisés comme porte-greffe en Côte d'Ivoire *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(4) : 1453-1466 Doi: 10.4314/ijbcs.v6i4.5
 13. Drabo C., Sanou J., Nikiema Z., Dao A., & Sawadogo, (2022). Diversité variétale des manguiers (*Mangifera indica* L.) et des pratiques culturales associées à la production au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 16(2) : 787-797 Doi: <https://doi.org/10.35759/JABs.178.8>
 14. Gebresmon G., Negasi T., & Berhan M., (2021). Germination and seedling growth response of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars to different nursery potting media. *Agriculture & Food Security* 11p.
 15. Konta I. S., Djiba S., Sane S., Diassi L., Ndiaye A. B. & Nova K., (2015). Etude de la dynamique de *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) dans les vergers de mangues en Basse

- Casamance: influence des facteurs climatiques. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9(6): 2698-2715 Doi: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i6.15>
16. Lamien N., Kabore A. K., & Tamini Z., (2008) Greffage de quatre fruitiers locaux (*Tamarindus indica* L., *Saba senegalensis* (A. DC.) Pichon, *Lannea microcarpa* Engl. Et K. Krause et *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst au Burkina Faso. Vol 30, n° 1- janvier-juin 2008, *Science et technique*, Sciences naturelles et agronomie 8p.
 17. Leakey R. R. B., Tchoundjeu Z. Schreckenber K., Shackleton S. E. & Shackleton C. M., (2005). Agroforestry Tree Products (AFTPs) ; Targeting Poverty Reduction and Livelihoods. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 3(1) ; 1-23.
Doi: 10.1080/14735903.2005.9684741
 18. Ndiaye O, Coly I, Ndiaye S. M., Sarr F., Ndiaye S & Ba C. T., (2022). Effet de la variété et du type de terreau sur la croissance et le développement des plants de *Mangifera indica* L, Casamance . *Int. J. Biol. Chem.Sci.*16(1):54-72 Doi : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i1.6>
 19. Ndiaye O., Diatta U., Nibaly M., Djiba S., Badji K., & Ndiaye S., (2020). Caractérisation des Vergers de *Mangifera indica* L. en Basse Casamance, Sénégal. *European Scientific Journal* April 2020 édition Vol.16, No.12 ISSN: 1857-7881 (Print) e -ISSN 1857-7431. Pp.338-358
DOI: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2020.v16n12p338>
 20. Ndiaye O., Vayssieres J.F., Rey J. Y., Ndiaye S., Diedhiou P. M., Ba C. T., & Diatta P., (2012). Saisonnalité et gamme des mouches des fruits (Tephritidea, diptères) identifiées dans les plantes hôtes des vergers des Niayes et du plateau de Thiès (Sénégal). *Fruits*, 2012, vol. 67, p. 311-331
 21. Ohler, J.G., (1979). Cashew. Amsterdam, Netherlands. Koninklijk Instituut voor de Tropen ,250p.
 22. Rey J.Y., Diallo T.M., Vannière H., Didier C., Keita S & Sangare M., (2004). La mangue en Afrique de l'Ouest francophone : variétés et composition variétale des vergers. *Fruits* vol. 59.p. 191-208 Doi: 10.1051/fruits:2004018
 23. Soloviev P, Niang TD., & Gaye A. (2004). Propagation par greffage du prunier d'Afrique (*Sclerocarya birrea* A. Rich Hochst.) au Sénégal *Fruit*, 59(4) : 275-280 Doi: 10.1051/fruits:2004026
 24. Strebelle J., (2013), Analyse et propositions sur la construction des marché locaux-nationaux-régionaux en Afrique-Analyse complémentaire, Bruxelles, La Coopération Belge au développement, l'Union Européenne

25. Thakriya HR., Singh V., Bhanderi DR, Paramar JR and Unnati A. (2017). Influence of mango rootstock by different soaking treatments on germination percentage and growth. *International Journal of Chemical Studies* 2017 ; 5(5) : 1275-1277
26. Yélouassi D., Akpo E., Adandonon A. et Balogoun I. (2021). Efficacité des techniques de greffage pour l'adéquation aux porte-greffes de cajou. *African Crop Science Journal*, vol. 29, N°3, pp. 339-354
Doi: <https://dx.doi.org/10.4314/acsj.v29i3.2>

Étude ethnomédicinale des plantes utilisées dans le traitement de quelques maladies du foie dans la sous-préfecture de Bengassou (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)

Akpo Siallou Amino Prisca

Kouakou Donthy Kouakoubah Richard

Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale,
UFR des Sciences de la Nature (SN), Université Nangui Abrogoua,
Abidjan, Côte d'Ivoire

N'guessan Bla Ghislaine

Laboratoire de Agro-Valorisation,
Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

Koné Mamidou Witabouna

Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale,
UFR des Sciences de la Nature (SN), Université Nangui Abrogoua,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Tra Bi Fézan Honora

Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale,
UFR des Sciences de la Nature (SN), Université Nangui Abrogoua,
Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p195](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p195)

Submitted: 18 May 2024

Accepted: 20 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Siallou Amino Prisca, A., Donthy Kouakoubah Richard, K., Bla Ghislaine, N., Witabouna, K. M., & Fézan Honora, T. B. (2024). *Étude ethnomédicinale des plantes utilisées dans le traitement de quelques maladies du foie dans la sous-préfecture de Bengassou (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 195.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p195>

Résumé

Les maladies du foie peuvent constituer une principale source de menace pour la santé publique. En Afrique, la situation est plus complexe en raison des contaminations par les virus des hépatites B et C. En Côte d'Ivoire, la prévalence des hépatites est de 12 % pour l'hépatite virale B et de 5 % pour

l'hépatite virale C. Le traitement médical constitue l'un des défis majeurs à relever pour les vaincre. Cependant, le coût élevé du traitement proposé par la médecine moderne, oblige la plupart des patients à recourir à la médecine traditionnelle. Il est donc nécessaire d'explorer le monde végétal pour rechercher les plantes médicinales pouvant constituer une alternative thérapeutique non négligeable. L'objectif de cette étude est d'inventorier les plantes médicinales utilisées dans le traitement traditionnel des atteintes hépatiques à Bengassou dans le département de Bocanda (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). Les enquêtes ethnobotaniques ont été menées dans cette localité auprès de 23 tradipraticiens, à l'aide d'un questionnaire. Dans cette étude, trois pathologies du foie que sont l'ictère, l'hépatite et la cirrhose ont été recensées. Quarante-quatre (44) espèces végétales ont été répertoriées avec leurs modes d'utilisation. Les feuilles (76 %) constituant la partie de plante la plus utilisée, sont couramment préparées sous forme de décoction (82 %). La voie orale (50 %), reste principalement celle conseillée pour l'administration des remèdes. Les investigations sur l'implication des plantes médicinales dans les recettes contre ces affections ont montré que *Alchornea cordifolia* (Cpr= 17,65 %), *Costus afer* (Cpr= 11,76 %), *Morinda lucida* (Cpr= 11,76 %), *Newbouldia leavis* (Cpr= 11,76 %) et *Vernonia colorata* (Cpr= 11,76 %) entrent dans la plupart des préparations médicamenteuses. Selon ces résultats, les plantes recensées pourraient être utiles dans la lutte contre certaines atteintes hépatiques, particulièrement l'hépatite, la cirrhose et l'ictère.

Mots-clés: Plantes médicinales, hépatite, cirrhose, ictère, Bengassou, Côte d'Ivoire

Ethnobotanical study of medicinal plants used in the traditional treatment of liver diseases in the Bengassou sub-prefecture (central-eastern Côte d'Ivoire)

Akpo Siallou Amoin Prisca

Kouakou Donthy Kouakoubah Richard

Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale,
UFR des Sciences de la Nature (SN), Université Nangui Abrogoua,
Abidjan, Côte d'Ivoire

N'guessan Bla Ghislaine

Laboratoire de Agro-Valorisation,
Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

Koné Mamidou Witabouna

Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale,
UFR des Sciences de la Nature (SN), Université Nangui Abrogoua,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Tra Bi Fézan Honora

Laboratoire de Botanique et Valorisation de la Diversité Végétale,
UFR des Sciences de la Nature (SN), Université Nangui Abrogoua,
Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

Liver disease can be a major threat to public health. In Africa, the situation is more complex due to contamination by hepatitis B and C viruses. In Côte d'Ivoire, the prevalence of hepatitis is 12% for viral hepatitis B and 5% for viral hepatitis C. Medical treatment is one of the major challenges in overcoming them. However, the high cost of treatment offered by modern medicine forces most patients to turn to traditional medicine. It is therefore necessary to explore the plant world in search of medicinal plants that could provide a significant therapeutic alternative. The aim of this study is to inventory the medicinal plants used in the traditional treatment of hepatitis in Bengassou in the Bocanda department (central-eastern Côte d'Ivoire). Ethnobotanical surveys were carried out in this locality among 23 traditional practitioners, using a questionnaire. In this study, three liver pathologies were identified: jaundice, hepatitis and cirrhosis. Forty-four (44) plant species were listed, along with their modes of use. Leaves (76%), the most widely used part of the plant, are commonly prepared as a decoction (82%). The oral route (50%) remains the preferred method for administering remedies.

Investigations into the involvement of medicinal plants in recipes to treat these ailments showed that *Alchornea cordifolia* (Cpr= 17.65%), *Costus afer* (Cpr= 11.76%), *Morinda lucida* (Cpr= 11.76%), *Newbouldia leavis* (Cpr= 11.76%) and *Vernonia colorata* (Cpr= 11.76%) are used in most medicinal preparations. According to these results, the plants listed could be useful in combating certain liver disorders, particularly hepatitis, cirrhosis and jaundice.

Keywords: Medicinal plants, hepatitis, cirrhosis, jaundice, Côte d'Ivoire

Introduction

Le foie joue un rôle fondamental dans la régulation de divers processus physiologiques. Son activité est liée à différentes fonctions vitales, comme le métabolisme des glucides et des lipides, la sécrétion de la bile et le stockage des vitamines (Ahsan *et al.*, 2009). C'est un organe de détoxification des déchets métabolites et des composés toxiques de l'organismes (Adewusi *et al.*, 2010). Il est également impliqué dans les processus biochimiques en fournissant des éléments nutritifs, de l'énergie et dans la reproduction. Dès lors, son dysfonctionnement peut provoquer de nombreuses maladies et constituer une source de menace pour la santé publique et un problème dans le monde entier (Adewusi *et al.*, 2010). Les maladies du foie se manifestent sous forme d'inflammation (hépatite) ou de nécrose dans les cas plus sévères (OMS, 2016). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), elles étaient, en 2013, la septième cause de mortalité dans le monde. Elles sont responsables de 1,4 million de décès par an. Ces pathologies sont notamment dues, aux cancers du foie et aux cirrhoses liés aux hépatites (OMS, 2016). Les virus de l'hépatite B (VHB) et l'hépatite C (VHC) représentent 60 % des causes de cirrhoses et 80 % des causes de carcinome hépatocellulaire (Kodjoh, 2015). En Afrique, les contaminations par les virus des hépatites B et C sont responsables de nombreux décès liés, dans 15 à 25 % des cas, à une complication hépatique, principalement à une cirrhose ou à un cancer du foie (Couzigou, 2007). En Côte d'Ivoire, la prévalence des maladies du foie est de 12 % pour l'hépatite virale B et de 5 % pour l'hépatite virale C (Enel *et al.*, 2015). Dans ce pays, les hépatites virales sont responsables de 8,4/100 000 décès par cancer et de 36,3/100 000 décès par cirrhose, chaque année, soit respectivement 1 932 et 8 349 décès, soit un total de 10 281 décès pour 23 millions d'habitants (OMS, 2016). Malgré les efforts visant à prévenir les hépatites et leurs complications à travers des campagnes de sensibilisation et de dépistage précoce, le traitement médical constitue l'un des défis majeurs à relever pour les vaincre. Cependant, les coûts élevés du dépistage, du bilan et du traitement proposé par la médecine moderne, obligent la plupart des patients à recourir à la médecine traditionnelle (Anzouan *et al.*, 2022). La couverture ivoirienne, très disparate sur l'étendue du pays aussi bien pour les

soins de santé primaire que secondaire et de spécialités, est l'une des principales difficultés dans le domaine de la santé (Goba, 2012). Selon le Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté (DSRP), seulement 44 % de la population vivent à moins de 5 km d'un centre de santé, 27 % entre 5 et 15 km et 29 % parcourent plus de 15 km pour s'y rendre, surtout en milieu rural (DSRP, 2009). Ainsi, une grande partie de ces populations fréquentent les tradipraticiens pour leurs soins de santé parce que ces acteurs sont plus accessibles. Il devient, dès lors, impératif d'explorer le monde végétal pour recenser les plantes médicinales utilisées dans la pharmacopée ivoirienne pour traiter les affections du foie. Ainsi l'objectif général de ce travail est de contribuer à l'amélioration de la prise en charge des atteintes hépatiques en Côte d'Ivoire. Plus spécifiquement, il s'agira de recenser dans la sous-préfecture de Bengassou, département de Bocanda, les plantes médicinales utilisées contre les pathologies du foie, de collecter des données relatives aux organes de ces plantes, et de réaliser une analyse floristique des espèces végétales obtenues.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

La zone d'étude est la sous-préfecture de Bengassou (7°06' de latitude Nord et 4°49 de longitude Ouest) dans le département de Bocanda, au Centre-Est de la Côte d'Ivoire (Figure 1). Elle est limitée au nord par la sous-préfecture de Bocanda et de Kouadioblékro, au sud par le département de M'Batto, à l'est par le département de Bongouanou et à l'ouest par le département de Dimbokro. Sa végétation est de type forêt dense semi-décidue à *Celtis* spp. et *Triplochiton scleroxylon* K. Schum (Guillaumet & Adjanohoun, 1971). La population est majoritairement constituée d'autochtones Baoulé et de ressortissants de la sous-région ouest africaine (Nigériens, Burkinabés, Maliens, ...). Les activités menées dans cette localité sont l'agriculture, le commerce et l'artisanat (Préfecture de Région du N'Zi, 2014).

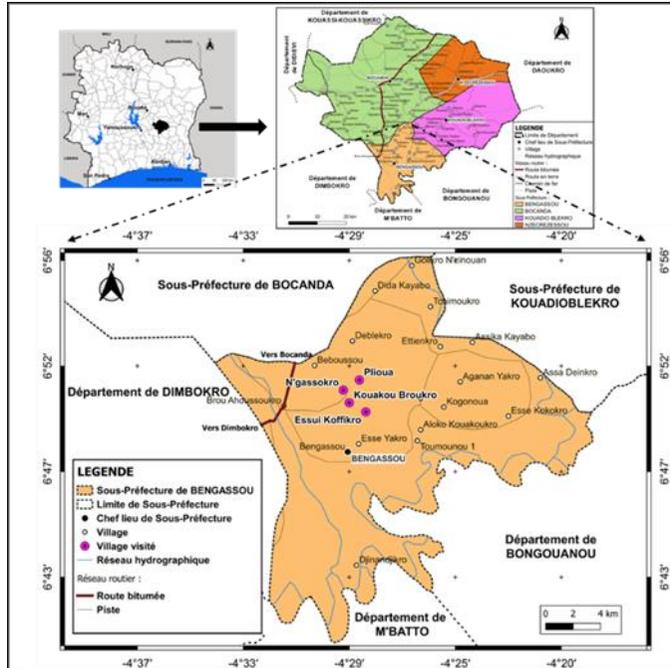


Figure 1. Localisation de la Sous-Préfecture de Bengassou en Côte d'Ivoire
(Source : BNETD/CIGN, 2014)

Collecte de données

Choix du site et des praticiens de la médecine traditionnelle (PMT)

Cette étude s'est déroulée dans la période de septembre 2017 à juillet 2018 dans la sous-préfecture de Bengassou. Cette localité a été retenue pour son accessibilité à aux informations et la facilité de communication.

Les tradipraticiens ont été choisis sur la base de la confiance qui leur est accordée et surtout, parce qu'ils sont reconnus comme des personnes ressources incontournables dans le traitement de plusieurs pathologies dans la localité.

Enquête ethnobotanique

La présente étude a été réalisée à partir d'une série d'entretiens semi-structurés à partir d'un questionnaire pré-élaboré. Les renseignements recherchés ont porté sur les plantes utilisées pour traiter les atteintes hépatiques, les organes de plante utilisés, le mode de préparation des recettes ainsi que le mode d'administration. Les informateurs ont été sélectionnés sur la base des recommandations faites par les chefs des différentes localités. Au total, 23 praticiens de la médecine traditionnelle (PMT) se sont rendus disponibles et ont accepté de répondre aux questions. Les questions ont été posées en langue locale (Baoulé) et en présence d'un guide. Les recettes concernant les pathologies du foie ont été recensées. À la fin de l'enquête, les échantillons de plantes recensées ont été prélevés pour la confection d'un

herbier. Ils ont été formellement identifiés au Centre National de Floristique (CNF) de l'Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY. Le système de classification phylogénique APG IV (APG IV, 2016) a été utilisé pour actualiser les noms et familles des espèces végétales obtenues.

Traitements de données

Les données collectées ont été saisies sur le logiciel Epidata 3.1 et traitées à l'aide du logiciel Excel dont les différents figures et tableaux ont été réalisés à l'aide du logiciel Excel.

Évaluation des données sociodémographiques

Lors des entretiens semi-structurés avec les PMT, les données sociodémographiques recueillies ont été analysées à travers plusieurs variables que sont le sexe, l'âge et le niveau d'instruction.

Parties de plantes utilisées, modes de préparation et d'utilisation des recettes

Les noms locaux, les parties utilisées, les modes de préparation et d'utilisation des plantes médicinales utilisées, dans le traitement des maladies hépatiques ont été obtenus auprès des tradipraticiens de Bengassou.

Distribution des plantes médicinales utilisées contre les maladies du foie recensées

La distribution des plantes contre ces pathologies a été réalisé par le diagramme de Venn. Selon Chen & Boutros (2011), celui-ci est une figure simple qui permet de vérifier, dans la présente étude, les interactions possibles entre les différents ensembles associés aux maladies du foie.

Niveau de connaissance des plantes médicinales

Le niveau de connaissance des plantes médicinales, entrant dans le traitement des pathologies du foie, est un bon indice pour évaluer la crédibilité des informations reçues et le niveau de connaissance des plantes au sein d'une population (Tardio & Pardo-de-Santayana, 2008). Il a été évalué par la Fréquence de Citation (FC) déterminée par la formule suivante :

$$FC (\%) = \left(\frac{N_c}{N_t} \right) \times 100$$

Nc : nombre de citations de la plante considérée ;

Nt : nombre total de citations de toutes les plantes.

Accord sur l'utilisation des plantes médicinales

Pour évaluer l'accord sur l'utilisation des plantes médicinales pour une thérapie donnée, le Niveau de Fidélité (NF) a été retenu. Le NF est un

paramètre qui repose sur la concordance des réponses des informateurs pour une indication thérapeutique donnée. Il a été utilisé pour estimer le potentiel de guérison relatif de chaque plante médicinale en fonction de la proportion d'informateurs qui étaient d'accord sur son utilisation contre une catégorie d'affection donnée (Friedman *et al.*, 1986). Le NF permet de voir pour quelle affection une espèce particulière est plus efficace et s'obtient selon la formule :

$$NF(\%) = \frac{N_p}{N} \times 100$$

N_p : nombre d'informateurs ayant mentionné une espèce pour un certain usage p ;

N : nombre d'informateurs ayant cité cette espèce pour n'importe quel usage.

Implication des plantes médicinales dans les recettes contre les maladies

Le nombre de recettes impliquant une espèce (monospécifique), voire deux (bispécifique) ou plusieurs (plurispécifique) a été évaluée par la Contribution des plantes à la recette (Cpr). La Cpr est la contribution de chaque plante dans la constitution des recettes. Elle permet d'apprécier la fréquence d'implication d'une plante dans les recettes (Dassou *et al.*, 2014). Elle a été calculée par la formule :

$$Cpr(\%) = \left(\frac{N_r}{N_t} \right) \times 100$$

N_r : nombre de recettes sollicitant la plante ;

N_t : nombre total de recettes.

Résultats

Données sociodémographiques

Au cours de cette étude, 23 Praticiens de la Médecine Traditionnelle (PMT), répartis entre 17 hommes (73,9 %) et 6 femmes (26,09 %), ont été rencontrés. Parmi eux 16 (74,07 %) sont âgés de 50 à 75 ans et 7 (30,43%) dont l'âge est compris entre 35-49. Treize (56,52 %) sont non scolarisés, (26,09 %) ont fait le primaire et (17,39 %) le secondaire (Tableau 1). Les PMT interrogés sont pour la plupart des hommes, âgés de 50 à 75 ans et non scolarisés.

Tableau 1. Caractéristiques sociodémographiques des PMT recensés dans la sous-préfecture de Bengassou

Paramètres	Bengassou
Effectif	23
Sexes (%)	
Masculin	73,91
Féminin	26,09
Classe d'âge (%)	
[35-49]	30,43
[50-75]	69,56
[76-85]	0
Niveau d'instruction (%)	
Non scolarisés	56,52
Primaire	26,09
Secondaire	17,39

Richesse floristique des plantes recensées

L'étude a permis d'inventorier 44 espèces végétales utilisées dans le traitement des atteintes hépatiques (Tableau 2). Elles se répartissent en 43 genres appartenant à 28 familles botaniques. Les familles les plus représentées sont les Fabaceae (6 espèces) puis les Lamiaceae et des Rubiaceae avec 4 espèces, chacune. Viennent ensuite, les Anacardiaceae, Asteraceae, Bignoniaceae, Hypericaceae et Solanaceae, 2 espèces, chacune.

Tableau 2. Plantes médicinales utilisées contre les maladies du foie recensées dans la Sous-préfecture de Bengassou (Département de Bocanda) avec leurs paramètres ethnobotaniques

Espèces végétales	Famille	Noms usuels ou locaux (Baoulé)	Partie(s) utilisée(s)	Mode de préparation	Mode d'utilisation	Mal.	FC (%)	NF icère (%)	NF hépatite (%)	NF cirrhose (%)	Cp r (%)
<i>Achyranthes aspera</i> L.	Amaranthaceae	Ahopkoua gnassoua	Feuilles	Décoction	Orale	Cirrhose	0,98	0	0	100	2,94
<i>Aframomum albobviolaceum</i> (Ridl.) K. Schum.	Zingiberaceae	N'zalo	Feuilles	Décoction	Orale, Cutanée	Ictère, Hépatite	2,94	75	25	0	8,82
<i>Albizia adianthifolia</i> (Schumach.) W. Wight	Fabaceae	Goliforko	Écorce de tronc	Décoction	Orale	Cirrhose, Hépatite	1,96	0	50	50	2,94
<i>Alchornea cordifolia</i> (Schumach. & Thonn.) Müll.Arg.,	Euphorbiaceae	Djéka	Feuilles, Écorce de tronc	Décoction, Trituration	Orale, Cutanée, Anale	Ictère, Hépatite	3,92	75	25	0	17,65
<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.	Bromeliaceae	Ablèlè	Fruits	Décoction	Orale	hépatite	0,98	0	100	0	2,94
<i>Annona senegalensis</i> Pers.	Annonaceae	Amlon gnassoua	Feuilles	Décoction	Orale, Cutanée	Hépatite	0,98	0	100	0	2,94
<i>Anthocleista nobilis</i> G.Don	Gentianeaceae	Wowoliwo	Feuilles, Écorce de tronc	Décoction	Orale, Cutanée	Ictère, Hépatite	1,96	50	50	0	8,82
<i>Bombax buonopozense</i> P. Beauv.	Malvaceae	Kpouka, angbodjou	Feuilles	Décoction	Cutanée	Ictère	2,94	100	0	0	8,82
<i>Capsicum frutescens</i> L.	Solanaceae	Kpèssèkpèssè	Feuilles, Fruits	Décoction	Orale, Cutanée, Oculaire	Ictère	0,98	100	0	0	2,94
<i>Cnestis ferruginea</i> DC.	Connaraceae	N'gonsien kplakassa	Feuilles	Décoction	Orale, Anale, Cutanée	Ictère	2,94	100	0	0	8,82
<i>Costus afer</i> Ker Gawl.	Costaceae	Agnin	Fruits, Feuilles	Décoction	Orale, Cutanée	Cirrhose, Hépatite, Ictère	3,92	25	25	50	11,76
<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch. & Dalziel	Fabaceae	Atrèlè	Feuilles	Décoction	Orale, Cutanée	Ictère	2,94	100	0	0	14,71
<i>Diospyros monbuttensis</i> Gürke,	Ebenaceae	Gnanmien waka	Feuilles, Racines	Décoction, Trituration	Cutanée, Anale	Ictère	1,96	100	0	0	8,82
<i>Distemonanthus benthamianus</i> Baill.	Fabaceae	Waka rovia	Feuilles	Décoction	Orale	Ictère	2,94	100	0	0	11,76
<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.	Asteraceae	N'da loublé	Feuilles, Racines	Décoction	Orale, Anale	Cirrhose, Hépatite	1,96	0	50	50	8,82

Espèces végétales	Famille	Noms usuels ou locaux (Baoulé)	Partie(s) utilisée(s)	Mode de préparation	Mode d'utilisation	Mal.	FC (%)	NF icère (%)	NF hépatite (%)	NF cirrhose (%)	Cp r (%)
<i>Entandrophragma angolense</i> (Welw.) C.DC.	Meliaceae	Louklou	Feuilles, Écorce de tronc	Décoction	Orale, Anale, Cutanée	Ictère	0,98	100	0	0	2,94
<i>Ficus sur</i> Forssk.	Moraceae	Aloma waka	Feuilles	Décoction	Orale	Ictère, Hépatite	1,96	50	50	0	5,88
<i>Griffonia simplicifolia</i> (DC.) Baill.	Fabaceae	Ago	Feuilles	Décoction	Orale	Ictère	1,96	100	0	0	5,88
<i>Harungana madagascariensis</i> Lam. ex Poir.	Hypericaceae	Modja moda gnassoua	Feuilles	Décoction	Orale, Cutanée	Cirrhose, Ictère	2,94	75	0	25	11,76
<i>Hoslundia opposita</i> Vahl	Lamiaceae	Anoumanliè	Feuilles	Décoction, Trituration	Orale, Oculaire	Ictère	2,94	100	0	0	8,82
<i>Leonotis nepetifolia</i> (L.) R.Br.	Lamiaceae	Coumienmon	Feuilles	Expression	Oculaire	Ictère	2,94	100	0	0	11,76
<i>Lippia multiflora</i> Moldenke	Verbenaceae	Blomangnrin	Feuilles	Décoction	Orale	Ictère, Hépatite	2,94	67	33	0	8,82
<i>Luffa aegyptiaca</i> Mill.	Cucurbitaceae	Flomlin	Feuilles	Décoction, Trituration	Orale, Anale, oculaire	Ictère	2,94	100	0	0	8,82
<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	Amango	Feuilles, Écorce de tronc	Décoction	Cutanée	Ictère	1,96	100	0	0	5,88
<i>Morinda lucida</i> Benth.	Rubiaceae	Koya	Feuilles, Écorce de tronc	Décoction	Orale, Cutanée, Anale	Ictère	3,92	100	0	0	11,76
<i>Newbouldia laevis</i> (P.Beauv.) Seem.	Bignoniaceae	Tonzué	Feuilles, Écorce de tronc	Décoction	Orale, Cutanée	Cirrhose Ictère	3,92	75	0	25	11,76
<i>Ocimum gratissimum</i> L	Lamiaceae	Aré mangnrin	Feuilles	Décoction	Cutanée, Anale	Ictère	0,98	100	0	0	2,94
<i>Olax subscorpioidea</i> Oliv.	Olacaceae	Akan	Feuilles	Décoction	Orale, Cutanée	Ictère	2,94	100	0	0	8,82
<i>Olyra latifolia</i> L.	Poaceae	Féfé	Feuilles	Décoction	Orale	Cirrhose, Hépatite	2,94	0	50	50	8,82
<i>Oxyanthus unilocularis</i> Hiern	Rubiaceae	Idjréa waka	Écorce de tronc	Décoction	Orale	Cirrhose	0,98	0	0	100	5,88

Espèces végétales	Famille	Noms usuels ou locaux (Baoulé)	Partie(s) utilisée(s)	Mode de préparation	Mode d'utilisation	Mal.	FC (%)	NF icère (%)	NF hépatite (%)	NF cirrhose (%)	Cp r (%)
<i>Paullinia pinnata</i> L.	Sapindaceae	Tron'di	Feuilles	Décoction	Orale, Cutanée	Ictère	2,94	100	0	0	8,82
<i>Rauvolfia vomitoria</i> Afzel.	Apocynaceae	Kakapkipki	Feuilles, Racines	Décoction	Orale	Hépatite	0,98	0	100	0	2,94
<i>Sarcocephalus latifolius</i> (Sm.) E.A.Bruce	Rubiaceae	Lèguè	Écorce de tronc	Décoction	Orale, Cutanée	Ictère	1,96	100	0	0	8,82
<i>Senna alata</i> (L.) Roxb.	Fabaceae	Gboko	Feuilles, Racines	Décoction	Orale, Cutanée, Anale	Ictère	1,96	100	0	0	5,88
<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link	Fabaceae	Bacangan manda	Feuilles	Expression, Trituration	Oculaire, Cutanée; Anale	Ictère	1,96	100	0	0	5,88
<i>Solanum nigrum</i> L.	Solanaceae	Fouégna	Feuilles	Expression	Oculaire	Ictère	1,96	100	0	0	5,88
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	Bignoniaceae	Abissréré	Feuilles	Décoction	Orale, Cutanée	Ictère;	2,94	100	0	0	11,76
<i>Spondias mombin</i> L.	Anacardiaceae	Trohan	Feuilles	Décoction	Orale	Ictère Hépatite	1,96	67	33	0	5,88
<i>Tectona grandis</i> L.f.	Lamiaceae	Teck	Feuilles	Décoction	Orale, Cutanée, Anale	Ictère	2,94	100	0	0	8,82
<i>Trichilia prieureana</i> A. Juss.	Meliaceae	N'yro	Feuilles	Décoction	Orale	Ictère	0,98	100	0	0	2,94
<i>Uncaria africana</i> G.Don	Rubiaceae	Akossabouin	Feuilles	Décoction	Orale	Ictère	0,98	100	0	0	2,94
<i>Vernonia colorata</i> (Willd.) Drake	Asteraceae	Abovi	Feuilles, Racines	Décoction	Orale, Cutanée	Cirrhose Ictère	3,92	75	0	25	11,76
<i>Vismia guineensis</i> (L.) Choisy	Hypericaceae	Modja modja bla	Feuilles	Décoction	Cutanée	Ictère	0,98	100	0	0	2,94
<i>Vitellaria paradoxa</i> C.F.Gaertn.	Sapotaceae	N'gouan gnassoua	Écorce de tronc	Décoction	Orale, Cutanée	Ictère	1,96	100	0	0	5,88

FC : Fréquence de Citation ; NF : Niveau de fidélité ; Mal. : Maladies ; Cpr : Contribution à la recette

Parties de plantes utilisées, modes de préparation et d'utilisation

L'étude a montré que dans la sous-préfecture de Bengassou, les feuilles (76 %) sont, de loin, les plus utilisées contre les maladies du foie (Figure 2). Elles sont suivies des écorces de troncs (14 %), les racines (8%) et les fruits (2 %).

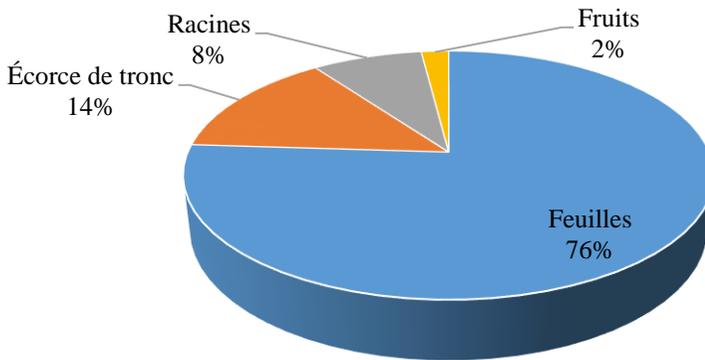


Figure 2. Spectre des parties de plantes médicinales utilisées

Les différentes parties de plantes contre les maladies du foie sont préparées sous forme de décocté (82 %), de triturat (8 %), d'instillât oculaire (8 %) puis de macéré, 2 % (Figure 3). La décoction reste le mode de préparation le plus indiqué.

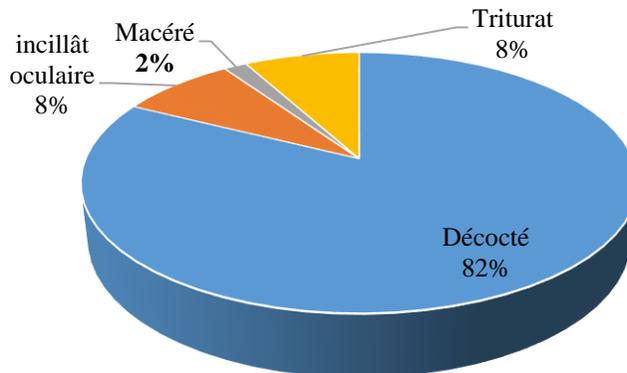


Figure 3. Spectre des modes de préparation des plantes médicinales utilisées

La voie orale (50 %) reste la principale voie d'utilisation des préparations médicamenteuses contre les maladies du foie. Elle est suivie des voies cutanée (32%) et anale (14 %), puis quelques rare fois, la voie oculaire, 4 % (Figure 4). La voie orale est de loin la plus utilisée.

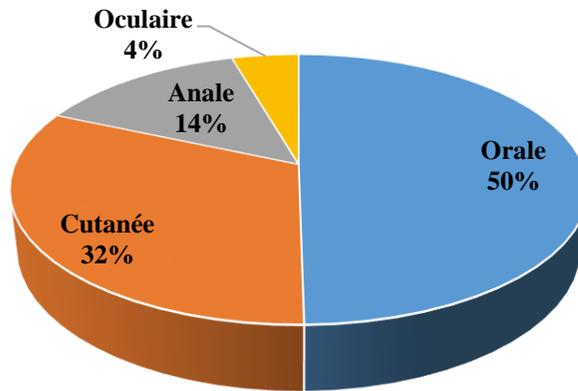


Figure 4. Spectre des voies d'administration des plantes médicinales utilisées

Distribution des plantes médicinales contre les pathologies recensées

Au cours de cette étude, trois pathologies du foie ont été inventoriées dans la sous-préfecture de Bengassou : l'ictère, l'hépatite et la cirrhose.

De toutes ces maladies, l'ictère est celle qui est traitée par un nombre élevé de plantes, 26 espèces, contre 3 pour les hépatites et 2 pour la cirrhose. Six (6) plantes sont utilisées aussi bien contre l'ictère que l'hépatite, tandis qu'une seule espèce traite à la fois les trois affections. En ce qui concerne, les couples cirrhose-ictère et cirrhose-hépatite, trois espèces sont conjointement utilisées dans la médication de chacun d'entre eux (Figure 5).

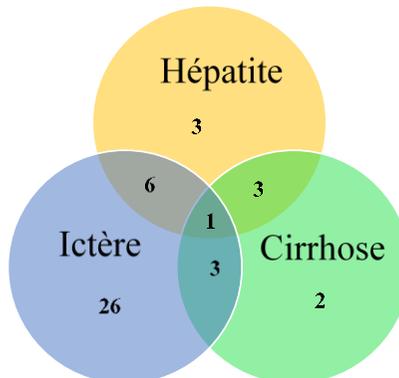


Figure 5. Diagramme de Venn de répartition du nombre de plantes médicinales utilisées contre les atteintes hépatiques

Niveau de connaissance des plantes médicinales

L'étude du niveau de connaissance des plantes utilisées contre les affections du foie a montré que les fréquences de citation pour les différentes espèces sont faibles et varient de 0,98 % à 3,92 %. Cependant, *Alcornea cordifolia*, *Costus afer*, *Morinda lucida*, *Newbouldia leavis* et *Vernonia*

colorata avec des FC= 3,92 % restent les plus connues pour traiter ces affections.

Accord sur l'utilisation des plantes médicinales contre les atteintes hépatiques

L'étude de l'accord sur l'utilisation des plantes médicinales contre les pathologies du foie par les guérisseurs de la sous-préfecture de Bengassou a montré que dans le cas de l'ictère, les niveaux de fidélité sont élevés pour 26 espèces. Parmi ces espèces figurent *Paullinia pinnata*, *Leonotis nepetifolia*, *Hoslundia opposita*, *Annona senegalensis*, *Sarcocephalus latifolius*, *Senna alata*, *Senna occidentalis*, *Solanum nigrum*, *Bombax buonopozense*, *Capsicum frutescens*, *Cnestis ferruginea*, *Morinda lucida* et *Vitellaria paradoxa* (NF=100 %). Par contre, en ce qui concerne, d'une part l'hépatite, 3 espèces *Ananas comosus*, *Annona muricata* et *Rauvolfia vomitaria* ont des NF élevés (NF=100 %) ; et d'autre part, pour la cirrhose, *Achyranthes aspera* et *Oxyanthus unilocularis* sont les 2 plantes ayant des NF élevés (NF=100 %).

Implication des plantes médicinales dans les recettes contre les pathologies du foie

Quarante-deux recettes médicamenteuses ont été obtenues à partir des plantes médicinales recensées. Sur les 42 recettes, 13 sont monospécifiques (30,95%) et 29 plurispécifiques, (64,44%) associent 2 à 12 plantes. *Alchornea cordifolia* (Cpr= 17,65 %) est l'espèce qui revient le plus dans les recettes. Viennent par la suite *Costus afer*, *Morinda lucida*, *Newbouldia leavis* et *Vernonia colorata* avec Cpr= 11,76 % chacune. Ces résultats montrent que les recettes médicamenteuses contre les maladies du foie à Bengassou sont généralement constituées d'association de plantes.

Discussion

Les résultats de cette étude menée dans la sous-préfecture de Bengassou ont montré que les praticiens de la médecine traditionnelle enquêtés dans la sous-préfecture de Bengassou sont essentiellement des hommes âgés de 50 à 75 et non scolarisés. Kouakou *et al.* (2020) étaient parvenus à ce résultat dans la même région indiquant clairement que, dans cette zone, les hommes sont plus impliqués dans la recherche de solution de la santé du foie que les femmes. Selon Benlamdini *et al.* (2014), l'âge avancé des guérisseurs est le fait de l'acquisition de la connaissance des plantes et leurs usages sur de longues années d'expériences.

Au total, 44 espèces végétales réparties 43 genres et 28 familles, ont été recensées. La famille la plus représentée est celle des Fabaceae. Cette forte représentation de la famille des Fabaceae peut s'expliquer par la nouvelle nomenclature de l'APG IV qui associe désormais les familles des Mimosaceae

et Caesalpiniaceae à celle des Fabaceae (APG, 2016). Nous pouvons donc dire que cette famille présente une gamme d'espèces végétales capables de guérir les maladies du foie.

L'étude a également montré que diverses parties des plantes sont utilisées pour la préparation des remèdes. Parmi elles, les feuilles sont régulièrement employées dans ces préparations. Plusieurs études ethnomédicinales sont déjà parvenues à un tel résultat : Sylla *et al.* (2018) et Kouakou *et al.* (2020). La prédominance des feuilles s'explique par leur accessibilité et leur facile manipulation (Tra Bi *et al.*, 2008).

La décoction est le principal mode de préparation des remèdes. Cette pratique pourrait s'expliquer d'une part, par le fait que l'eau reste un solvant disponible, à moindre coût et, d'autre part, par le fait que la décoction peut atténuer, voire éliminer les effets toxiques de beaucoup de recettes (Salhi *et al.*, 2010).

La voie orale est la principale voie d'administration des préparations médicamenteuses. Cette voie reste bien indiquée pour traiter les pathologies des organes internes.

Sur les quarante-quatre espèces végétales répertoriées, 26 sont utilisées uniquement pour traiter l'ictère qui n'est, en réalité, qu'un symptôme de la pathologie du foie. Ce qui montre que les tradipraticiens confondent l'ictère et les hépatites. Selon Guinnin *et al.* (2015), la majorité des tradipraticiens n'identifient pas stricto sensu les hépatites. Ils se basent plutôt sur les symptômes qui leur sont associés.

Costus afer est la seule espèce utilisée pour traiter l'ictère (NF= 25 %), l'hépatite (NF= 25 %), et la cirrhose (NF= 50 %). C'est une espèce dont les vertus thérapeutiques et hépatoprotectrices ne sont plus à démontrer. Selon Ehoussou *et al.* (2014) la présence de différents principes actifs justifierait son utilisation dans la pharmacopée traditionnelle pour le traitement de nombreuses pathologies. Anyasor *et al.*, 2013 rapportent que l'extrait éthanolique des feuilles de *C. afer* protégerait le foie contre l'acétaminophène.

Seules trois espèces *Ananas comosus*, *Annona muricata*, *Rauvolfia vomitaria* et deux *Achyranthes aspera*, *Oxyanthus unilocularis* sont spécialement employées dans le traitement de l'hépatite et la cirrhose respectivement. Ce qui pourrait montrer que ces pathologies ne sont pas vraiment connues par les praticiens de médecine traditionnelle de la localité. Ils connaissent mieux les plantes intervenant dans le traitement de l'ictère que celles utilisées pour traiter l'hépatite et la cirrhose.

L'étude a montré que *Alcornea cordifolia*, *Costus afer*, *Morinda lucida*, *Newbouldia leavis* et *Vernonia colorata* sont les espèces couramment employées pour soigner les affections du foie. L'efficacité de ces plantes contre les atteintes hépatiques a été montrée par de nombreux chercheurs.

Ainsi, Fogha *et al.* (2015) ont montré que l'extrait aqueux de l'écorce de *M. lucida* est un puissant agent hépatoprotecteur contre les lésions induites par le paracétamol. Ijeh & Obidoa (2010) ont prouvé que l'extrait aqueux des feuilles de *V. colorata* peut potentialiser les effets toxiques de l'Aflatoxine B1 sur le foie. Hassan *et al.* (2010) ont montré l'implication de l'extrait aqueux des feuilles de *N. leavis* dans la protection du foie contre les dommages causés par le tetrachlorure (CCl4). Osabede *et al.* (2012) ont, quant à eux, montré que les fractions d'acétate d'éthyle et d'acétone de l'extrait méthanolique de la feuille d'*A. cordifolia* est capable de protéger le foie contre l'hépatotoxicité induite par le CCl4.

Les investigations sur l'implication des plantes médicinales dans les recettes contre les atteintes hépatiques ont montré que *Alchornea cordifolia* est l'espèce couramment utilisée dans les recettes. Elle est suivie de *Costus afer*, *Morinda lucida*, *Newbouldia leavis* et *Vernonia colorata*. Cela s'expliquerait par le fait que ces plantes sont beaucoup plus connues par les tradipraticiens rencontrés dans la sous-préfecture de Bengassou. Ces derniers ont des recettes médicamenteuses généralement constituées d'associations de deux à douze plantes et, quelques rares fois, de plante unique. Elles varient d'un praticien à l'autre. Selon Sangaré *et al.* (2012), les maladies du foie font partie des spécialités pour lesquelles la majeure partie des recettes mobilisent plusieurs plantes. Tibiri *et al.* (2021) expliquent l'importance de l'association des plantes par l'augmentation de l'effet thérapeutique ou la diminution des effets secondaires engendrés par certaines plantes.

Conclusion

Les résultats des enquêtes réalisées auprès des praticiens de la médecine traditionnelle de la sous-préfecture de Bengassou dont l'objectif général était de contribuer à l'amélioration de la prise en charge des atteintes hépatiques en Côte d'Ivoire, ont montré une bonne richesse spécifique en plantes médicinales intervenant dans les maladies du foie. Quarante-quatre espèces ont ainsi été répertoriées contre trois pathologies du foie : l'ictère, l'hépatite et la cirrhose. Ces résultats ont également montré que *Alchornea cordifolia*, *Costus afer*, *Morinda lucida*, *Newbouldia leavis* et *Vernonia colorata* sont les espèces les plus connues. Ces plantes pourraient être utiles dans la lutte contre les trois pathologies et peuvent faire l'objet d'investigations approfondies, notamment, phytochimique et pharmacologique pour rechercher leur activité biologique.

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

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

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

Contributions des auteurs : L'auteur ASAP a mis en œuvre les méthodes de collecte de données, analysé et interprété les résultats. L'auteur NBG a contribué à la réalisation de l'enquête ethnobotanique. Le traitement des données a été effectué par KDKR. L'analyse des résultats ainsi que la rédaction du manuscrit se sont réalisées sous la supervision de TBFH. KMW a contribué à la révision de la rédaction du document.

Remerciements : Nous remercions l'Université NANGUI ABROGOUA pour leur contribution à la réalisation de ce travail. Nous sommes reconnaissants aux PMT ainsi qu'aux guides pour leur disponibilité lors des enquêtes ethnobotaniques et de la récolte des différentes espèces végétales.

References:

1. Adewusi, E. A. & Afolayan, A. J. (2010). A review of natural products with hepatoprotective activity. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(13), 1318-1334.
2. Ahsan, R., Islam, K. M., Musaddik, A. & Haque, E. (2009). Hepatoprotective activity of methanol extract of some medicinal plants against carbon tetrachloride induced hepatotoxicity in albino rats. *Global Journal of pharmacology*, 3(3), 116-122.
3. Anyasor, G., Odunsanya, K., & Ibeneme, A. (2013). Hepatoprotective and In vivo Anti-oxidant Activity of Costus afer Leaf Extracts against Acetaminophen-Induced Hepatotoxicity in Rats. *Journal of Investigational Biochemistry*, 2.
4. Anzouan-Kacou, H. Y. K., Dehinsala, M., Bangoura, A. D., Kouamé, D. H., Doffou, A. S., Bathaix, Y. F. & Attia, A. K. (2022). Aspects socio-économiques de la prise en charge des hépatites virales chroniques en Côte-d'Ivoire. *Annales africaines de médecine*, 15(4), e4770.
5. APG IV (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 181, 1-20.
6. Benlamdini, N., Elhafian, M., Rochdi, A. & Zidane, L. (2014). Étude floristique et ethnobotanique de la flore médicinale du Haut Atlas oriental (Haute Moulouya). *Journal of Applied Biosciences*, 78 (1), 6771-6787.
7. Berhaut, J. (1979). Flore illustrée du Sénégal. Dicotylédones. Tome 6 Linacées à Nymphéacées. Gouvernement du Sénégal-Ministère du

- développement Rural et de l'Hydraulique, Direction des Eaux et Forêts, Dakar.
8. Chen, H. & Boutros, P. C. (2011). Venn Diagram: a package for the generation of highly-customizable Venn and Euler diagrams in R. *BMC bioinformatics*, 12, 1-7.
 9. Couzigou, P. (2007). Comment, en Afrique, gérer les comorbidités en hépatologie ? *Journal Africain d'Hépatogastroentérologie*, 1(1), 63-70.
 10. Dassou, H. G., Ogni, C. A., Yédomonhan, H., Adomou, A. C., Tossou, M., Dougnon, J. T. & Akoègninou, A. (2014). Diversité, usages vétérinaires et vulnérabilité des plantes médicinales au Nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(1), 189-210.
 11. Diboh, E., Assi, B., Yao, K. M., Badjo, P., Gbalou, K. L. & Tako, A. (2015). Effets du koutoukou sur l'électroencéphalogramme (EEG) des jeunes scolarisés de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Afrique Biomédicale*, 20 : 62-75.
 12. DSRP (2009). Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté, rapport du Fonds monétaire international No. 09/240
 13. Ehoussou, C. N. D., Bi, S. N., Soro, T. Y. & Traore, F. (2014). Effets pharmacologiques d'un extrait aqueux de *Costus afer* (Zingiberaceae) sur l'activité cardiaque et la pression artérielle couplée à la respiration de mammifères. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(4), 1644-1655.
 14. Enel, C., Desgrées du Loû, A., N'Dri, Y, T., Danel, C. & Larmarange, J. (2015). Viral hepatitis B and C in Ivory Coast stepping up the fight, a pressing need. *Journal Africain d'Hépatogastroentérologie*, 9, 94-98.
 15. Fogha, V. J., Tchamgoue, A. D., Domekouo, U. L., Tarkang, P. A. & Agbor, G. A. (2015). *Morinda lucida* stem bark protects paracetamol induced liver damage. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 31, 198-204.
 16. Friedman, J., Yaniv, Z., Dafni, A. & Palewitch, D. (1986). A preliminary classification of the healing potential of medicinal plants, based on a rational analysis of an ethnopharmacological field survey among Bedouins in the Negev Desert, Israel. *Journal of Ethnopharmacology*, 16 (2-3), 275-287.
 17. Goba, Z. B. (2012). L'impact des Politiques de Santé Publique en Côte d'Ivoire 1980-2010 : état des lieux, conséquences et perspectives. *Rev hist archéol afr (GODO GODO)* 2012;22:142-157.
 18. Gnagne, S. T., Camara, D., N'Guessan, B.-Y. F., Béné, K. & Zirihi, N. G. Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le

- traitement du diabète dans le Département de Zouénoula (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 2017;113:11257-11266.
19. Guillaumet, J.-L., & Adjanohoun E. (1971). La végétation de la Côte d'Ivoire. In : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. Paris. pp. 161-262.
 20. Guinnin, F. F., Sacramento, T. I., Sezan, A. & Ategbo, J. M. (2015). Étude Ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement traditionnel des hépatites virales B et C dans quelques départements du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1354-1366.
 21. Hassan, S. W., Salawu, K., Ladan, M. J., Hassan, L. G., Umar, R. A. & Fatihu, M. Y. (2010). Hepatoprotective, antioxidant and phytochemical properties of leaf extracts of *Newbouldia laevis*. *International Journal of Pharm Tech Research*, 2(1), 573-584.
 22. Ijeh, I. I. & Onyechi, O. (2010). Biochemical and histopathological changes in liver of albino rats fed diets incorporated with *Vernonia amygdalina* and *Vernonia colorata* leaves. *International Journal of Medical Sciences*, 2, 285-289.
 23. Kodjoh, N. (2015). Situation de la lutte contre les hépatites virales B et C en Afrique. *Médecine et Santé Tropicales*, 25(2), 141-144.
 24. Kouakou, D. K. R., Piba, S. C., Yao, K., Koné, M. W., Bakayoko, A. & Tra Bi, F. H. (2020). Evaluation des connaissances des populations de la région de N'zi sur l'utilisation des plantes alimentaires dans le traitement du diabète de type 2, de l'hypertension artérielle et de l'obésité (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 15, 1857-7881.
 25. Lengani, A., Lompo, L. F., Guissou, I. P. & Nikiema, J. B., (2010). Médecine traditionnelle et maladies des reins au Burkina Faso. *Néphrologue & Thérapeutique*, 6 (1) : 35-39.
 26. Menard, A (2013). Création d'une clinique privée de médecine traditionnelle et moderne à Camberene, Dakar-Sénégal. Mémoire de Master, Centre Africain d'Etudes Supérieures en Gestion, Dakar, Sénégal. 85p.
 27. OMS (2016). *Stratégie mondiale du secteur de la santé contre l'hépatite virale 2016-2021 : vers l'élimination de l'hépatite virale* (No. WHO/HIV/2016.06). Organisation mondiale de la Santé, Genève (Suisse). Consulté le 03/03/2024.
 28. Ouattara, D. (2006). Contribution à l'inventaire des plantes médicinales significatives utilisées dans la région de Divo (Sud forestier de la Côte d'Ivoire) et à la diagnose du poivrier de Guinée : *Xilopia aethiopica* (Dumal) A Rich. (Annonaceae). Thèse de Doctorat de l'Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 184 p.

29. Poffenberger, M, McGean, B., Khare, A. & Campbell, J., (1992). Field Method Manual, vol II. Community Forest Economy and Use Pattern: Participatory and Rural Appraisal (PRA) Methods in South Gujarat India. New Delhi: Society for Promotion of Wastelands Development, 52p.
30. Préfecture de Région du N'Zi (2014). Monographie de la Région du N'zi, Ministère de l'intérieur, 13 p.
31. Salhi S., Fadli M., Zidane L. & Douira A., (2010). Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc), *Lazaroa*, 31 : 133-146.
32. Sangaré M. M, Sina H., Dougnon J., Balé B., Atègbo J.-M. & Dramane K. (2012). Étude ethnobotanique des plantes hépatotropes et de l'usage traditionnel de *Gomphrena celosioides* Mart. (Amaranthaceae) au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences.*, 6(6): 50085021.
33. Sylla, Y., Silué, D. K., Ouattara, K. & Koné, M. W. (2018). Etude ethnobotanique des plantes utilisées contre le paludisme par les tradithérapeutes et herboristes dans le district d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(3), 1380-1400.
34. Tardío, J. & Pardo-de-Santayana, M. (2008). Cultural importance indices: a comparative analysis based on the useful wild plants of Southern Cantabria (Northern Spain). *Economic botany*, 62, 24-39.
35. Tibiri, A., Boria, S., Traoré, T. K., Ouédraogo, N., Nikièma, A., Ganaba, S., ... & Carraz, M. (2021). Gestion des maladies hépatiques et plantes utilisées par les tradipraticiens au Burkina Faso. *Biodiversité des écosystèmes intertropicaux: connaissance, gestion durable et valorisation*, 211-224.
36. Tra Bi, F. H., Irié, G. M., N'Gaman, K. C. C. & Mohou, C. H. B., (2008). Etude des plantes thérapeutiques utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle deux maladies émergentes en Côte d'Ivoire. *Sciences & Nature.*, 5 (1): 39-48.

Aspects épidémiologique et itinéraire thérapeutique de la Comorbidité Hypertension artérielle et le Diabète dans le Département du Littoral au Bénin en 2023

Kakpo Zannou Sèmèvo Rodrigue

Damien Barikissou Georgia

Unité de santé publique de la Faculté des Sciences de la santé (FSS),

Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin

Codjo Léopold

Service de Cardiologie, Centre National Hospitalier et Universitaire Hubert

Koutoukou Maga de Cotonou (CNHU-HKM), Université d'Abomey-Calavi

(UAC), Cotonou, Bénin

Tokpanoude Coovi Nonwanou Ignace

Djossou Sègnon E. Elvire

Zinsalo S. Lorens

Unité de santé publique de la Faculté des Sciences de la santé (FSS),

Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin

Saizonou Fortuné

Institut Régional de Santé Publique,

Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin

Ponti N'tcha Jules

Aguemon Badirou

Unité de santé publique de la Faculté des Sciences de la santé (FSS),

Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p216](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p216)

Submitted: 05 May 2024

Accepted: 07 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Zannou Sèmèvo Rodrigue, K., Barikissou Georgia, D., Léopold, C., Coovi Nonwanou Ignace, T., Sègnon E. Elvire, D., S. Lorens, Z., Fortuné, S., N'tcha Jules, P., & Badirou, A. (2024). *Aspects épidémiologique et itinéraire thérapeutique de la Comorbidité Hypertension artérielle et le Diabète dans le Département du Littoral au Bénin en 2023.* European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 216. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p216>

Résumé

Introduction : L'Afrique continue de souffrir du fardeau accablant de maladies infectieuses et fait face à une explosion de maladies non

transmissibles (MNT) depuis des décennies. Au Bénin, des études sur l'HTA et le diabète ont été réalisées, mais aucune d'elles n'a abordé en profondeur le cas de la survenue d'une comorbidité. Il existe peu de données épidémiologiques détaillées sur la comorbidité hypertension-diabète permettant de déterminer clairement l'étendue de la liaison entre ces troubles. L'objectif de notre recherche est d'étudier les aspects épidémiologique, clinique et itinéraire thérapeutique de la comorbidité de l'hypertension artérielle et du diabète dans le département du littoral au Bénin en 2023.

Cadre et méthodes d'étude : Une étude transversale descriptive en population générale a été menée sur trois (03) mois allant du 10 avril au 10 juillet 2023 auprès de 543 sujets âgés de 18 ans et plus dans le département du Littoral ayant ou non un antécédent d'HTA et/ou de diabète. Un échantillonnage probabiliste avec la technique de sondage par grappes de l'OMS a été utilisé. Les données ont été analysées à l'aide du logiciel R 3.6.1 avec l'environnement RStudio. Les variables quantitatives ont été exprimées en moyenne avec leur écart type et les variables qualitatives en proportion.

Résultats : L'âge moyen de la population était de 57 ans \pm 8. La population étudiée était à prédominance féminine (56,2%). Sur les 543 sujets enquêtés un total de 48 souffrait à la fois du diabète et de l'HTA soit une prévalence de comorbidité de 8,8% (IC 95% [6,3% 11,3]). La plupart des sujets comorbides ont une consommation de fruits et légumes entre 1 et 4 portions par jour et la majorité (75,0%) estime consommer juste la bonne quantité de sel tandis-que 10,4% environ reconnaît en consommer trop. Pour la préparation des repas, l'huile végétale est la matière grasse la plus utilisée à 95,9% par les sujets comorbides. Sur plan des activités physique, plus de la moitié (56,2%) des sujets comorbides pratiquaient une activité physique légère et le niveau habituel d'activité physique était inactif chez 64,6%. Dans l'itinéraire thérapeutique des sujets comorbides, environ 15,0% des sujets avaient déjà vu un guérisseur traditionnel pour la prise en charge d'au moins une des deux affections.

Conclusion : Cette étude a permis d'observer une forte prévalence de la comorbidité HTA-diabète dans une population adulte de Cotonou au Bénin. Cette comorbidité nécessite donc une intensification de la prévention de l'HTA et du diabète notamment une bonne hygiène de vie

Mots-clés: Comorbidité HTA-diabète, Département du Littoral, Benin

Epidemiological and therapeutic aspects of Hypertension and Diabetes Comorbidity in the Littoral department of Benin in 2023

*Kakpo Zannou Sèmèvo Rodrigue
Damien Barikissou Georgia*

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

Codjo Léopold

Service de Cardiologie, Centre National Hospitalier et Universitaire Hubert
Koutoukou Maga de Cotonou (CNHU-HKM), Université d'Abomey-Calavi
(UAC), Cotonou, Bénin

Tokpanoude Coovi Nonwanou Ignace

Djossou Sègnon E. Elvire

Zinsalo S. Lorens

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

Saizonou Fortuné

Institut Régional de Santé Publique,
Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, Bénin

Ponti N'tcha Jules

Aguemon Badirou

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

Abstract

Introduction: Africa continues to suffer from the burden of infectious diseases and has been facing an explosion of non-communicable diseases (NCDs) for decades. In Benin, studies on hypertension and diabetes have been carried out, but none of them addressed in depth the case of the occurrence of a comorbidity. There is little detailed epidemiological data on hypertension-diabetes comorbidity to clearly determine the extent of the between these disorders. The aim of our research is to investigate the epidemiological, clinical, and therapeutic route of the comorbidity hypertension and diabetes in the littoral department of Benin in 2023.

Methods: Study setting and methods: A descriptive cross-sectional study was conducted over three (03) months from April 10 to July 10, 2023, among 543 subjects aged 18 and over in the Littoral department with or without a history of hypertension and/or diabetes. Probability sampling with the WHO cluster sampling technique was used. The data were

analyzed using R 3.6.1 software with the RStudio environment. Quantitative variables were expressed as mean with standard deviation and qualitative variables as proportions.

Results: The mean age of the population was 57 ± 8 years. The study population was predominantly female (56.2%). Of the 543 subjects surveyed, a total of 48 suffered from both diabetes and hypertension, i.e. a prevalence of comorbidity of 8.8% (95% CI [6.3% 11.3]). Most of the comorbid subjects consumed between 1 and 4 portions of fruit and vegetables a day, and the majority (75.0%) felt they consumed just the right amount of salt, while around 10.4% admitted to consuming too much. For meal preparation, vegetable oil is the fat most commonly used (95.9%) by co-morbid subjects. In terms of physical activity, more than half (56.2%) of co-morbid subjects were engaged in light physical activity, while 64.6% were inactive. In the therapeutic itinerary of comorbid subjects, around 15.0% had already seen a traditional healer for the management of one of the two conditions.

Conclusion: This study revealed a high prevalence of hypertension-diabetes comorbidity in an adult population in Cotonou, Benin. This comorbidity calls for intensified prevention of hypertension and diabetes, in particular a healthy lifestyle.

Keywords: Co-morbidity of hypertension and diabetes, Littoral Department, Benin

Introduction

Selon l'OMS, les quatre principales maladies non transmissibles sont : le diabète, les maladies cardiovasculaires (dont l'hypertension artérielle est un facteur de risque), le cancer et les maladies respiratoires chroniques (WHO, 2018). Le diabète et l'hypertension artérielle (HTA) sont des problèmes majeurs de santé publique en raison de leur fréquence croissante, de leur morbidité, de leur mortalité et de leur impact socio-économique sur les populations (Wild S et al., 2004 ; Kearney PM et al., 2005).

L'Afrique continue de souffrir d'un fardeau impressionnant de maladies infectieuses et fait face à une explosion de maladies non transmissibles (MNT) depuis des décennies. Elles sont la principale cause de décès et d'invalidité dans le monde. Sur les 57 millions de décès survenus dans le monde en 2016, 41 millions, soit environ 72,0 %, étaient dus à des maladies non transmissibles. Environ 78,0 % de ces décès surviennent dans les pays à revenu faible ou intermédiaire (WHO, 2018).

L'HTA est de loin la maladie la plus courante et est actuellement reconnue mondialement comme un grave problème de santé publique (Walinjorn ft Muna MD, 1999). Plus d'un quart (26,4 %) de la population adulte mondiale souffre d'HTA, et d'ici 2025 celle-ci devrait atteindre 29,2 %,

soit près de 1,6 milliard d'hypertendus (Kearney PM et al., 2005). De nombreuses études ont montré que l'HTA est non seulement plus fréquente, mais aussi plus précoce et plus sévère chez les noirs (Baldé AM et al., 2006). Sur les 17 millions de personnes qui meurent chaque année de maladies cardiovasculaires, on estime que 7 à 8 millions souffrent de l'HTA (Kaplan NM et al., 2006).

Le diabète est une maladie chronique invalidante et coûteuse, selon la Fédération Internationale du Diabète (FID), touchant 425 millions personnes en 2017 dans le monde, causant 5,1 millions de décès et plus d'un million d'amputations chaque année. Selon Tsahal, d'ici 2030, la maladie touchera plus de 550 millions de personnes et deviendra l'une des principales causes d'invalidité et de décès dans le monde. Les pays émergents seront les plus touchés et l'Afrique connaîtra les progrès les plus spectaculaires, la prévalence de la maladie doublant pour atteindre plus de 5,0 % de la population. Le nombre de personnes atteintes de diabète en Afrique devrait doubler au cours des 20 prochaines années, passant de 12,1 millions à 23,9 millions, faisant de la maladie un enjeu majeur de santé publique sur le continent (ONG SANTE DIABETE MALI, 2013).

Chaque année, au moins 10 millions de personnes dans le monde meurent de l'HTA et 1,6 million de diabète (Forouzanfar MH, 2017). La résurgence des MNT surtout de l'HTA et du Diabète qui partagent des causes communes sont largement dues à quatre facteurs de risque majeurs : le tabagisme, l'inactivité physique, l'usage nocive d'alcool et les mauvaises alimentations (WHO, 2018).

Au Bénin, en 2016, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estimait que les MNT étaient responsables de 36% des décès (OMS, 2018). Aujourd'hui, elles constituent un problème majeur de santé publique qui entravent la réalisation des objectifs de développement, notamment la réduction de la pauvreté, l'équité en matière de santé et la stabilité économique

Au Bénin, des études sur l'HTA et la Diabète ont été réalisées, mais aucune d'elles n'a abordé en profondeur le cas de la survenue d'une comorbidité. Il existe peu de données épidémiologiques détaillées sur les comorbidités hypertension-diabète permettant de déterminer clairement l'étendue de ces troubles. Notre étude visait donc à étudier les aspects épidémiologique et clinique et comportemental de la Comorbidité hypertension artérielle et diabète dans le département du Littoral au Bénin en 2023.

Cadre et méthodes d'étude

L'étude s'est déroulée au Bénin dans la commune de Cotonou II s'agissait d'une étude transversale descriptive à visée analytique sur une période de trois (03) mois allant du 10 avril au 10 juillet 2023. Nous avons inclus les Sujets âgés de 18 ans et plus ayant ou non un antécédent d'HTA et/ou de

diabète. L'échantillonnage a été probabiliste avec la technique de sondage par grappes de l'OMS. La base de sondage était constituée par la liste des quartiers/villages que compte la commune de Cotonou avec leurs ménages respectifs. Trente (30) quartier ont été sélectionné au hasard en fonction de leur population sur la base de la méthode proposée par l'OMS. La taille a été déterminée sur la base d'une précision fixe de 5,0 %, d'une erreur de type I de 5,0 %, d'une prévalence de l'HTA de 27,9 % et d'une majoration de 10%. Ensuite, 510 individus, soit 17 (510/30) par quartier (grappe), étaient prévus. Le nombre d'individus enquêtés dans chaque village sélectionné était proportionnel à la taille de la population. L'HTA a été dépistés par mesure de la tension artérielle et le diabète par la glycémie capillaire. La mesure de la tension a été mesurée chez les patients assis après 15 minutes de repos à l'aide d'un tensiomètre numérique automatique muni d'un brassard (appartenant à la liste des tensiomètres validés par la Société Française de l'Hypertension artérielle). Elle a été prise au bras droit nu, placé sur une table, paume tournée vers le haut. Trois mesures ont été prises à des intervalles de 5 minutes ; la moyenne des deux dernières mesures a été la pression artérielle retenue. La pression artérielle est considérée comme élevée lorsqu'elle est supérieure ou égale à 140/90mmHg. Le sujet hypertendu avait été revue une semaine après la première mesure pour confirmer l'élévation des chiffres tensionnels. La glycémie a été mesurée à partir d'un glucomètre chez les sujets à jeun puis confirmée par un prélèvement veineux au laboratoire. Le diabète était défini comme une glycémie ≥ 7 mmol/L (ou $> 1,26$ g·L) ou un sujet ayant des antécédents de traitement contre le diabète au cours des 12 derniers mois. Les sujets ayant consommés de la nourriture lors du passage des enquêteurs ont été systématiquement exclus. Les sujets suspects à la première mesure ont été sensibilisés sur les dispositions à prendre avant la confirmation au laboratoire, notamment le caractère "à jeun" de la nouvelle mesure.

Les donnes ont été recueillies à partir d'un questionnaire élaboré et digitalisé. La technique de collecte a été une entrevue face à face guidée par l'outils préalablement digitalisé et testé. La collecte des données s'est faite au moyen d'un questionnaire numérisé individuel par des agents enquêteurs essentiellement constitués d'infirmiers de medecin et d'épidémiologiste. Ces derniers ont reçu au préalable une formation sur le contenu et le remplissage du questionnaire avant le démarrage de la collecte.

Variables à l'étude

Les variables étudiées étaient la comorbidité HTA-diabète ; les données socio-démographiques et économiques ; données comportementales ; les données anthropométriques et les antécédents d'hypertension, de diabète et le l'itinéraire thérapeutique.

Les données socio-démographiques et économiques (âge, le sexe, le niveau d'instruction, la situation matrimoniale, le milieu de résidence, profession, revenu mensuel) ;

Les données comportementales

L'alcool-dépendance

La dépendance au tabac

La consommation de sucre et de sel, la consommation de fruits et légumes,

La pratique d'activité physique

Les données anthropométriques : Poids, Taille, Périmètre abdominal

Les antécédents d'hypertension, diabète

Définition opérationnelle des variables

- **Age** est l'âge du participant en année révolue
- **Fonctionnaire** c'est l'ensemble des sujets qui occupent un emploi permanent dans une administration publique.
- **Revenu mensuel** est revenu mensuel déclaratif y compris salaire et activités parallèles
- **Portions journalières de fruits** : c'est l'équivalent d'un fruit moyen comme une pomme, une banane que le sujet consomme dans une journée
- **Complément de sel** : c'est l'ajoutez-vous souvent du sel ou une sauce salée comme de la sauce de soja dans votre plat juste avant ou pendant que vous le mangez ?

Quantité de sel ou de sauce salée consommée : c'est la quantité de sel ou de sauce salée consommez-vous évalué par l'enquêté lui-même

Matière grasse utilisée : C'est le type de matière grasse utilisé le plus souvent pour la préparation des repas à la maison

Intensité d'activité physique c'est l'évaluation quotidienne des activités sportive, l'intensité d'activité physique que le travail requiert

Niveau habituel d'activité physique : c'est l'évaluation du niveau habituel d'activité physique par le questionnaire Ricci et Gagnon (Peu actif ou très peu actif si le score ≤ 18 et actif si le score >18). Le questionnaire d'auto-évaluation de Ricci et Gagnon permet de déterminer votre profil : inactif, actif ou très actif. Il s'agit d'un questionnaire élaboré au Canada, d'après J. Ricci et L. Gagnon, utilisé par certains services de nutrition. Le questionnaire de Ricci et Gagnon a été choisi pour sa simplicité, sa production instantanée

Tabagisme actuel : c'est la recherche de la notion de consommation actuellement des produits à base de tabac tels que cigarettes, cigares ou pipes

La dépendance au tabac (test de FAGERSTRÖM). Le test de FAGERSTRÖM présente une bonne fiabilité avec une consistance interne

considérée comme modérée : son coefficient Alpha de Cronbach allant de 0.55 et 0.74 selon les études, avec une bonne fiabilité test-retest à 0.90. Quant à la validité du test, elle est bonne avec une sensibilité aux alentours de 75,0% et une spécificité de 80,0% (Meneses G. et al., 2009),

L'alcool-dépendance c'est l'audit (alcohol use disorders identification test), c'évaluation de l'alcool-dépendance (risque faible si Score < 6, risque de nocivité si Score entre 6-12 et l'alcool-dépendance si score >12). Ce questionnaire a été développé sous l'égide de l'OMS en collaboration avec des centres de médecine de premier recours,

Obésité abdominale c'est la mensuration de la circonférence abdominale (l'obésité abdominale a été retenue pour un tour de taille qui dépasse 102 cm chez l'homme et 88 cm chez les femmes)

IMC : c'est l'indice de masse corporelle qui permet d'évaluer rapidement la corpulence simplement avec le poids corporel et la taille, quel que soit votre sexe. C'est le poids (en kg) par le carré de la taille (m). (De 18.5 à 25 c'est le poids idéal, de 25 à 30 c'est le surpoids, 30 et plus c'est l'obésité)

Traitement et analyse des données

Toutes les données collectées ont été paramétrées et recueillies directement sur tablette par l'application KoboCollect. Les données ont été analysées à l'aide du logiciel R3.6.1 avec l'environnement RStudio. Les variables quantitatives ont été exprimées en moyenne avec leur écart type et les variables qualitatives en proportion.

Considérations éthiques

Une autorisation (N°2188/MS/DC/SGM/DFRS/SRSSA du 19 Mai 2023) a été obtenue du ministre de la santé après soumission du protocole de recherche à la Direction de la Formation et de la Recherche du ministère et les amendements ont été en compte avant de réaliser l'étude. Les participants ont été informés des objectifs et des modalités de l'étude et ont donné leur consentement verbal. La confidentialité des données a été assurée et les données ont été analysées de manière anonyme.

Resultats

Données socio démographiques

L'analyse des données a porté sur les 48 sujets ayant à la fois l'HTA et le diabète résidant dans la ville de Cotonou en 2023. La population des 48 sujets étudiés était à prédominance féminine (56,2%), soit une sex-ratio (H/F) de 0,77. L'âge moyen était de 57 ans \pm 8 avec des extrêmes de 31 et 73 ans. Les sujets âgés de 50 à 69 ans étaient plus représentés (68,8%). Plus de la moitié des sujets (68,8%) avaient déclarés être mariés et 47,9% avaient un

niveau secondaire (tableau I). Sur les 48 sujets, 60,4% avaient un revenu mensuel inférieur à 52000 Fcfa.

Tableau I : Répartition des sujets selon les caractéristiques socio-démographiques (n = 48)

	Effectif	Pourcentage
Tranche d'âge		
18-49	10	20,8
50-69	33	68,8
70 et +	5	10,4
Sexe		
Masculin	21	43,8
Féminin	27	56,2
Religion		
Chrétienne	38	79,2
Endogène	3	6,2
Musulmane	7	14,6
Situation matrimoniale		
Mariée	33	68,8
Divorcé(e) ou séparée	4	8,3
Union libre	5	10,4
Veuf/veuve	6	12,5
Type de ménage		
Monogame	33	68,8
Polygame	15	31,2
Statut professionnel		
Sans emploi	11	22,9
En activité	33	68,8
Retraité	4	8,3
Profession		
Fonctionnaire	9	18,8
Artisan et ouvrier	6	12,5
Cultivateur et pêcheur	2	4,2
Commerçant	18	37,5
Chauffeur	2	4,2
Sans emploi	11	22,9
Secteur d'activité		
Public	7	14,6
Privé	30	62,5
Sans emploi	11	22,9
Niveau d'étude		
Non scolarisé	9	18,8
Primaire	14	29,2
Secondaire	23	47,9
Supérieur	2	4,2
Revenu mensuel (FCFA)		
Aucun	11	22,9
Moins de 52000	18	37,5
Plus de 52000	19	39,6

Données comportementales liées à l'alimentation

Environ 3 sujets sur 10 avaient un IMC normal. Le surcharge pondérale et l'obésité convenaient respectivement 31,2% et 35,4%. La plupart des sujets ont une consommation de fruits et légumes entre 1 et 4 portions par jour. Environ 42 sujets sur 100 ont affirmé ajouter rarement du sel supplémentaire avant ou pendant le repas. La majorité des sujets (75,0%) estime consommer juste la bonne quantité de sel tandis-que 10,4% environ reconnaît en consommer trop. Pour la préparation des repas, l'huile végétale est la matière grasse la plus utilisée à 95,9% (tableau II).

Plus de la moitié (54,2%) des sujets enquêtés avait un risque de dépendance faible à l'alcool-dépendance et 8,3% étaient des tabagiques actuels. Seul 25% ont un niveau moyen de dépendance physique à la nicotine. Le nombre médian de cigarette industrielles consommé par jour était de 3 avec un intervalle interquartile de 2 à 6. La durée de la consommation était de 5 ans et plus chez 16 sujets parmi les 20 soit dans 80,0% des cas.

Tableau II : Caractéristiques des habitudes de vie /alimentaire, Ville de Cotonou en 2023 (n = 48)

	Effectif	Pourcentage
Portions journalières de fruits		
Aucun	7	14,6
1 – 4	40	83,3
5 et +	1	2,1
Portions journalières de légumes		
Aucun	4	8,3
1 – 4	43	89,6
5 et +	1	2,1
Complément de sel		
Jamais	28	58,3
Rarement	20	41,7
Quantité de sel ou de sauce salée consommée		
Juste la quantité nécessaire	36	75,0
Peu	7	14,6
Trop	5	10,4
Matière grasse utilisée		
Aucune en particulier	2	4,2
Huile végétale	46	95,8
Dépendance à l'alcool		
Pas de dépendance	14	29,2
Risque faible ou anodin	26	54,2
Consommation à risque ou à problème	3	6,3
Alcoolodépendance probable	4	10,4

Tabagisme actuel		
Non	44	91,7
Oui	4	8,3
Dépendance au tabac		
Pas dépendant à la nicotine	3	75,0
Niveau de dépendance physique moyen à la nicotine	1	25,0

Données comportementales liées aux activités physiques

Plus de la moitié (56,2%) des sujets pratiquaient une activité physique légère et le niveau habituel d'activité physique était actif chez 64,6%. Environ 8 sujets sur 100 passaient plus de 5 heures en position assise par jour et la plupart des sujets (66,7%) travaillaient pendant plus de 8 heures par jour (tableau III).

Tableau III : Caractéristiques comportementales liées aux activités physiques, Ville de Cotonou en 2023 (n = 48)

	Effectif	Pourcentage
Intensité d'activité physique		
Légère	27	56,2
Moyenne	17	35,4
Intense	4	8,3
Niveau habituel d'activité physique		
Actif	31	64,6
Inactif	16	33,3
Très actif	1	2,1
Temps de travaux légers		
Moins de 2h	34	70,8
2-4h	10	20,8
5h et +	4	8,3
Temps de marche (minute)		
Moins de 16	16	33,3
16-30	12	25,0
31-45	9	18,8
45-60	4	8,3
60 et +	7	14,6
Position assise par jour		
Moins de 2h	10	20,8
2h-3h	7	14,6
3h-4h	5	10,4
4h-5h	4	8,3
Plus de 5 h	22	45,8
Nombre d'heure de travail/jours		
Moins de 8 h	5	10,4
8h et plus	32	66,7
Aucun	11	22,9

Données cliniques et itinéraire thérapeutique des sujets comorbides

Dans l'itinéraire thérapeutique des sujets comorbides, environ 15,0% des sujets avaient déjà vu un guérisseur traditionnel pour la prise en charge d'au moins une des deux affections. Et près de 3 sujets sur 10 avaient déclaré qu'ils prennent actuellement un remède traditionnel ou à base d'herbe (tableau IV).

Tableau IV : Itinéraire thérapeutique des sujets (n = 48)

	Effectif	Pourcentage
Contact avec un guérisseur traditionnel		
Oui	7	14,6
Non	41	85,4
Prise actuellement d'un remède traditionnel		
Oui	14	29,2
Non	34	70,8

Prévalence de la comorbidité HTA/Diabète

Sur les 543 sujets enquêtés un total de 48 souffrait à la fois du diabète et de l'HTA soit une prévalence de comorbidité de 8,8%.

Discussion

Prévalence de la comorbidité HTA/Diabète

Notre étude a révélé que 48 sujets sur 543 enquêtés (8,8%) souffrent à la fois du diabète et de l'hypertension. Les personnes diabétiques courent ainsi plus de 25,0% le risque de développer une HTA par rapport aux sujets non diabétiques. La prévalence ainsi retrouvée dans notre étude est plus élevée que celle rapportée par Jaya P et al. (4,5% en Inde en 2017) en Inde (Tripathy JP et al., 2017); par Pandey AR et al. (2,0% en Népal en 2013). En revanche, elle était inférieure aux 20,6% et 17,0% trouvée respectivement par Shashank R et al. et Omar T et al dans leurs études faites dans 10 Etats indiens en 2012 (Pandey AR et al., 2013; Sims OT et al., 2018) et à l'échelle de l'État auprès des personnes âgées vivant dans la communauté de l'Alabama en 2018 (Joshi SR et al., 2012). Bien que la plupart de ces études soient réalisées en clinique, la comparaison des données épidémiologiques de la comorbidité HTA/Diabète entre les pays et continents restent difficiles du fait de la méthodologie utilisée dans ces diverses études pour évaluer la comorbidité qui dépendent de la définition utilisée, de la population étudiée, de l'année de l'étude. Cette prévalence élevée retrouvée dans notre étude reflète un fardeau croissant de maladies non transmissibles dans la population générale dans la ville de Cotonou, comme cela devrait se produire à mesure que les pays en développement adoptent des modes de vie occidentaux (Gasowski J et al., 2002). Deux faits soutiennent ce point de vue ; premièrement, il semble y avoir

eu une augmentation progressive de la prévalence de l'hypertension chez les sujets dans la ville de Cotonou, avec une prévalence signalée de 25,64% il y a environ 15 ans et de 32,3% 7ans plus tard dans une population similaire (Amoussou-Guenou D et al., 2015). Le même constat est observé sur la prévalence du diabète dans la même population passant de 2,4% à 19,2% au cours de la même période. En deuxième lieu, la ville de Cotonou est la capitale économique du Bénin avec sa population cosmopolite et ayant le revenu par habitant le plus élevé du pays (Kpotehouen A et al., 2015). On peut donc s'attendre à une plus grande inclination de ses résidents vers un mode de vie occidental avec les implications sanitaires qui en découlent.

Données comportementales liées à l'alimentation

La plupart des sujets ont une consommation de fruits et légumes entre 1 et 4 portions par jour. Chez les diabétiques, de fortes quantités de fibres semblent nécessaires pour obtenir des effets bénéfiques sur la glycémie, l'hyperinsulinémie et les lipides plasmatiques. Dans une étude croisée randomisée récente qui s'est intéressée à l'acceptabilité d'un régime riche en fibres par les patients, les résultats indiquent que, comparativement au régime classique, une alimentation à haute teneur en fibres améliore le contrôle glycémique et que les patients acceptent avec peu d'effets indésirables une telle alimentation (Chandalia M et al., 2000). Les données de la troisième Etude Nationale sur la Santé et la Nutrition aux Etats-Unis NHANES III (Third National Health and Nutrition Examination Survey) (1988-1994) montrent que les sujets adultes présentant un syndrome métabolique ont des concentrations sériques suboptimales de plusieurs antioxydants et que leur consommation de fruits et légumes est plus faible que ceux qui n'ont pas de syndrome métabolique (Ford ES et al., 2003). La sensibilisation des patients sur le respect de la consommation de fruits et légumes recommandé par le médecin traitant est nécessaire pour prévenir les complications de la maladie. Cette habitude alimentaire des sujets de l'étude est en phase avec les prescriptions du régime DASH (Dietary Approches to Stop Hypertension). Il est conçu pour réduire la pression artérielle car c'est un régime riche en fruits, légumes, grains entiers et produits laitiers faibles en matières grasses. Il exige la limitation des graisses saturées, le cholestérol et les sucres ajoutés (Hima J et al., 2023). Selon cette même étude, le régime DASH peut également améliorer le contrôle glycémique chez les patients diabétiques.

Environ 42 sujets sur 100 ont affirmé ajouter rarement du sel supplémentaire avant ou pendant le repas. La majorité des sujets (75,0%) estime consommée juste la bonne quantité de sel tandis-que 10,4% environ reconnaît en consommer trop. Le respect de la consommation de sel fait partie des mesures hygiéno-diététiques et il est important que la quantité de sel consommée d'habitude soit réduite. Dans notre étude la rareté dans la

consommation de sel observé est en faveur d'une réduction de la morbidité de l'hypertension artérielle, donc important dans la prévention de l'HTA. Ce comportement noté chez les sujets de l'étude (75,0% des sujets consomment juste la quantité de sel nécessaire contre 10,4% qui en consomment de trop), est en faveur d'une réduction de la comorbidité.

Données comportementales liées aux activités physiques

Plus de la moitié (56,2%) des sujets pratiquaient une activité physique légère mais l'on a noté un niveau habituel d'activité physique actif chez 64,6% des sujets. Environ 8 sujets sur 100 passaient plus de 5 heures en position assise par jour et la plupart des sujets (66,7%) travaillaient pendant plus de 8 heures par jour. L'exercice aérobie (comme la marche, la course, la natation) et les exercices de résistance (comme la musculature) peuvent aider à réduire la pression artérielle et améliorer la gestion du diabète (Boris Gojanovic, 2015). Selon cet auteur, il est clair que les pratiques d'activités physiques observées chez certains sujets de notre étude (niveau d'activité intense, commerçants et artisans travaillant plus de 8h par jour), sont autant de comportements en faveur d'une réduction de la comorbidité. Mais l'insuffisance du temps de marche et les longues heures en position assise chez certains sujets, pourraient entretenir la maladie et entraîner des complications à long terme. L'intérêt est la prévention secondaire qui est importante pour réduire la mortalité due à la maladie.

Données cliniques et itinéraire thérapeutique des sujets comorbides

La majorité des sujets comorbides n'avait pas pris contact avec un guérisseur traditionnel (85,4%) et parmi les sujets ayant pris contact avec un guérisseur seulement 29,2% avaient déclaré être sous traitement traditionnel ou fait à base d'herbe. Sachant que la prise de remède traditionnel peut constituer un risque car pouvant interagir avec le traitement médical prescrit ou aggraver les symptômes, ce comportement des sujets comorbides d'HTA et du diabète de notre étude, peut entraîner une décompensation de leur état clinique.

Conclusion

Cette étude a documenté une forte prévalence de la comorbidité HTA /diabète (8,8%) dans une population adulte de Cotonou au Bénin. Cette association nécessite donc une intensification thérapeutique visant un meilleur contrôle de tous les FDR cardiovasculaire associés. Cette étude a permis d'avoir un profil épidémiologique de cette association, et de documenter l'ampleur de la problématique dans la ville de Cotonou.

Les limites de l'étude

Bien que la mesure de la glycémie soit faite le matin et que l'équipe s'est assurée que le sujet soit à jeun, nous n'avons aucune certitude sur les déclarations des enquêtés. Néanmoins, les sujets suspects ont été confirmés au laboratoire. Notre étude n'a pas pris en compte la qualité des habitudes de vie. Ainsi la qualité de la consommation de fruits et légumes n'a pas été évaluée. Il faut ajouter le fait que la plupart des données comportementales sont basées sur du déclaratif ce qui pourrait induire un biais de désirabilité sociale. Notre étude n'a pas évalué l'environnement de travail.

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

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

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

Déclaration relative aux participants humains: Cette étude a été approuvée par une autorisation du ministre de la Santé après soumission du protocole de recherche à la Direction de la Formation et de la Recherche du ministère et intégration des amendements avant de réaliser l'étude. Les participants ont été informés des objectifs et des modalités de l'étude et ont donné leur consentement verbal. La confidentialité des données a été assurée et les données ont été analysées de manière anonyme. L'anonymat et la confidentialité des données recueillies ont été conformes aux principes éthiques applicables aux recherches médicales sur les sujets humains contenus dans la Déclaration de l'Association Médicale Mondiale d'Helsinki.

References:

1. Amoussou-Guenou D, Wanvoegbe A, Hermans M, Agbodande A, Boko M, Fandi AAG, et al. Prevalence and Risk Factors of Diabetes Mellitus in the Adult Population of Porto-Novo (Benin). *J Diabetes Mellit.* 2015;05(03):135.
2. Baldé AM, Traoré S, Touré M, Diallo D, Kéita A, Magassouba FB et al. Hypertension artérielle en Guinée : épidémiologie et place de la phytothérapie dans la prise en charge dans les zones urbaines et rurales de Fria, Boke, Forecariah (basse guinée). *Pharm. Méd. Trad. Afr.* 2006; 12, 19-43.
3. Boris G. Activité physique, sport et hypertension artérielle. *REVMED.* 2015, 11 : 481-1426. DOI: 10.53738/REVMED.2015.11.481.1426.

4. Brinkley LJ. Beneficial effects of high dietary fiber intake in patients with diabète de type 2 mellitus. *New England Journal of Medicine* 342:1392-1398, 2000
5. Chandalia M, Garg A, Lutjohann D, Klaus VB, Grundy SM,
6. Ford ES, Mokdad A, Giles W, Brown D. The metabolic syndrome and antioxidant concentrations: Findings from the third National Health and Nutrition Examination Survey. *Diabetes*, 2003, 52:2346-2352
7. Forouzanfar MH, Liu P, Roth GA, Ng M, Biryukov S, Marczak L, et al. Global Burden of Hypertension and Systolic Blood Pressure of at Least 110 to 115 mmHg. *JAMA*.2017 ;31(2) :165-82.
8. Gasowski J, Fagard RH, Staesesen JA. Pulsatile blood pressure component as predictor of mortality in hypertension: a meta-analysis of clinical trial control groups . *J Hypertens* 2002; 20: 145-151.
9. Challa HJ, Ameer MA, Uppaluri KR. DASH Diet To Stop Hypertension. 2023 Jan 23. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan—. PMID: 29494120
10. Joshi SR, Saboo B, Vadivale M, Dani SI, Mithal A, Kaul U, et al. Prevalence of diagnosed and undiagnosed diabetes and hypertension in India--results from the Screening India's Twin Epidemic (SITE) study. *Diabetes Technol Ther*. 2012 Jan;14(1):8–15.
11. Kaplan NM, Opie LH. Controversies in hypertension. *Lancet* 2006;367: 168-76.
12. Kearney PM, Whelton M, Reynolds K. Global burden of hypertension: analysis of worldwide data. *Lancet* 2005 ; 365 : 217-23.
13. Kearney PM, Whelton M, Reynolds K, Muntner P, Whelton PK, He J. Global burden of hypertension: analysis of worldwide data. *Lancet*.2005 ;365(9455) :217-23.
14. Kpozehouen A, Djrolo F, Sossa CJ, Gbary AR, Chouehanou Y, Fambo D, et al. Prevalence and Associated Factors of Diabetes Mellitus in Benin. *Open J Epidemiol*. 2015;05(03):163.
15. Meneses-Gaya. IC, Zuardi. AW, Loureiro. SR & Crippa JA. Psychometric properties of the Fagerström Test for Nicotine Dependence. *J Bras Pneumol*. 2009;35(1):73-82
16. ONG SANTE DIABETE MALI. Rapport annuel : 6e édition. Bamako : Santé diabète mali ; 2013. [Consulté 10 septembre 2017]. http://mail.cnom.sante.gov.ml/docs/SD/SD_RAPPORT2013_Final_110614.pdf.
17. Organisation mondiale de la santé. [En ligne]. Diabète ; 2018 [cité le 11 avril 2019]. Disponible : <https://www.who.int/fr/news-room/factsheets/detail/diabetes>.
18. Organisation mondiale de la santé. [En ligne]. Maladies non transmissibles ; 2018 [cité le 11 avril 2019]. Disponible :

<https://www.who.int/fr/newsroom/factsheets/detail/noncommunicable-diseases>.

19. Pandey AR, Karki KB, Mehata S, Aryal KK, Thapa P, Pandit A, et al. Prevalence and Determinants of Comorbid Diabetes and Hypertension in Nepal: Evidence from Non-Communicable Disease Risk Factors STEPS Survey Nepal 2013. *J Nepal Health Res Coun*. 2015;13(29):20–5.
20. 12. Sims OT, Oh H, Noh H, Melton PA, Sheffield S, Ingram K, et al. Prevalence and predictors of co-occurring diabetes and hypertension in community-dwelling older adults. *Geriatr Gerontol Int*. 2018 Sep;18(9):1356–60.
21. Tripathy JP, Thakur JS, Jeet G, Jain S. Prevalence and determinants of comorbid diabetes and hypertension: Evidence from non-communicable disease risk factor STEPS survey, India. *Diabetes Metab Syndr Clin Res Rev*. 2017 Nov 1;11: S459–65.
22. Walinjorn ft Muna MD. l'hypertension : un fléau pour le 21ème siècle en afrique sub-saharienne Quelles sont les actions nécessaires ? *Médecine d'Afrique Noire*: 1999, 46 (12).
23. Wild S, Roglic G, Green A, Sicree R, King H. Global prevalence of diabetes: estimates for the year 2000 and projections for 2030. *DiabetesCare*. 2004 ;27(5) :1047-53.
24. World Health Organization. Non communicable diseases-Country profiles. Genève : OMS ; 2018.

Evaluation de la qualité de l'eau du lac Azili et risques sanitaires associés à sa consommation dans le village lacustre d'Agonvè (commune de Zagnanado, Sud Bénin)

Flavien Edia Dovonou, PhD, Maître de conférences

Antoinette Adjagodo, PhD

Luc Enangnon Gnonlonsa, Bachelor

Wilfrid Noudéhouénou Atchichoe, PhD Student

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) à l'Institut National de l'Eau de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

Dansou Sourou Barthélémy, PhD Student

Ecole Doctorale Pluridisciplinaire "Espaces, Cultures et Développement"

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p233](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p233)

Submitted: 15 March 2024

Accepted: 26 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Dovonou, F. E., Adjagodo, A., Gnonlonsa, L. E., Atchichoe, W. N., & Barthélémy, D. S. (2024). *Evaluation de la qualité de l'eau du lac Azili et risques sanitaires associés à sa consommation dans le village lacustre d'Agonvè (commune de Zagnanado, Sud Bénin)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 233.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p233>

Résumé

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité de l'eau du lac Azili ainsi que les risques sanitaires liés à sa consommation dans le quatrième arrondissement de Zagnanado. Les enquêtes de terrains ont été effectuées pour prendre connaissance du degré d'hygiène et d'assainissement sur l'île d'Agonvè et des éventuelles sources de pollution du dit lac. La taille de l'échantillon (50) a été déterminée conformément à la méthode de Schwartz (2002). Quant à l'échantillonnage, six sites ont été essentiellement échantillonnés en tenant compte des endroits les plus fréquentés par la population. Les analyses physico-chimiques effectuées en utilisant la spectrophotométrie et la méthode colorimétrique indiquent des valeurs non conformes aux normes béninoises des eaux de consommation et aux normes NQE des eaux de surface montrant ainsi une mauvaise qualité de la ressource en eau. La filtration sur membrane et l'ensemencement par incorporation ont été utilisés dans le cadre des analyses bactériologiques dont les résultats

révèlent une forte charge en Coliformes totaux (en moyenne 155,33 UFC/MI) thermotolérants (en moyenne 24 UFC/mL) et Escherichia coli (en moyenne 39,66). Les eaux du lac Azili sont donc polluées du point de vue physico-chimique et bactériologique. L'amélioration des conditions d'hygiène et de l'assainissement sur l'île d'Agonvè est cruciale pour une bonne santé de la population mais aussi pour la préservation de cette ressource en eau.

Mots-clés: Eau, hygiène, assainissement , pollution, qualité

Assessment of Lake Azili water quality and risks health associated with its consumption in the fourth district of the commune of Zagnanado (South Benin)

Flavien Edia Dovonou, PhD, Maître de conférences

Antoinette Adjagodo, PhD

Luc Enangnon Gnonlonsa, Bachelor

Wilfrid Noudéhouénu Atchichoe, PhD Student

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) à l'Institut National de l'Eau de l'Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

Dansou Sourou Barthélémy, PhD Student

Ecole Doctorale Pluridisciplinaire 'Espaces, Cultures et Développement'

Abstract

The objective of this study is to evaluate the quality of the water of Lake Azili as well as the health risks linked to its consumption in the fourth district of Zagnanado. Field surveys were carried out to understand the degree of hygiene and sanitation on the island of Agonvè and possible sources of pollution in the said lake. The sample size (50) was determined according to the method of Schwartz (2002). As for sampling, six sites were essentially sampled taking into account the places most frequented by the population. The physico-chemical analyzes carried out using the spectrophotometer method and the colorimetric method indicate values that do not comply with Beninese standards for drinking water as well as the NQE standard for surface water, thus indicating poor quality of the water resource. Membrane filtration and seeding by incorporation were used as part of the bacteriological analyses, the results of which revealed a high load of total Coliforms (on average 155.33 CFU/MI) which were thermotolerant (on average 24 CFU/mL) and Escherichia coli (average 39.66). The waters of Lake Azili are therefore polluted from a physicochemical and bacteriological point of view. Improving hygiene and sanitation conditions on the island of Agonvè is crucial for the

good health of the population and also for the preservation of this water resource.

Keywords: Water, hygiene, sanitation, pollution, quality

Introduction

L'eau est un élément indispensable pour la vie et pour le développement socioéconomique réel et durable d'un pays. D'après l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), 71 % de la surface de la Terre est recouverte par les mers et les océans, ce qui lui vaut son surnom de « planète bleue ». L'eau salée représente 97,4 % de l'eau présente sur notre planète et est en perpétuel mouvement. Sur les 2,6 % d'eau douce restante dans l'hydrosphère, 2,0 % sont gelés de façon quasi-permanente dans les calottes polaires (CNRS, 2015). Finalement, seule 0,6 % de l'eau présente sur terre est de l'eau douce disponible. Cette eau douce est répartie de façon extrêmement inégale à la surface des continents et sa disponibilité à chaque endroit du globe est liée au bilan entre les précipitations et l'évaporation, c'est-à-dire l'écoulement (<https://books.openedition.org/editionsclang=fr>). Cependant, il faut veiller à maintenir cette eau douce propre pour que la pollution ne détruise pas cette petite quantité d'eau utilisable par les Hommes. Parmi ces ressources en eau douce disponible sur la planète terre, les eaux de surface sont des systèmes fragiles et complexes dont le fonctionnement peut être altéré par les activités anthropiques surtout de la ressource en eau elle-même (Adjagodo, 2018). Or, ces dernières sont parfois utilisées comme eau de consommation par les populations en cas d'absence ou de déficit en eau potable (Agassounon et al., 2014). La consommation d'une eau de mauvaise qualité entraîne le plus souvent chez les Hommes, des risques hygiéniques, de transmission des maladies hydriques et constitue un obstacle au développement économique et social (UNICEF, 2002). Malgré le droit reconnu à l'eau potable par les Nations Unies en 2010, 30% de la population mondiale manque d'accès et 60 % ne disposent pas de service d'assainissement gérés en toute sécurité (OMS, 2017) Selon Lifad (2006), 40 % des béninois consomment de l'eau non potable dont près de 50 % s'alimentent directement à partir de l'eau de la rivière ou du marigot. Face à cette situation, la population n'ayant pas accès à l'eau potable s'alimente aux eaux de puits, de surface et de sources pour leurs besoins domestiques et parfois pour la boisson sans être traitée ni contrôlée (Adjagodo et al., 2016 ; Hounsounou et al., 2016). Tel est le cas de la population du village d'Agonvè dans le quatrième arrondissement de Zagnanado (Sud Bénin) où l'eau potable est une denrée rare aussi bien dans les ménages que dans les écoles ou le centre de santé. Ce travail de recherche vise à contribuer à une meilleure connaissance des conséquences des activités anthropiques sur l'eau du lac

Azili de même que les risques sanitaires liés à sa consommation dans le quatrième arrondissement de la commune de Zagnanado.

Le lac Azili est un plan d'eau du Bénin situé dans le quatrième arrondissement de la commune Zagnanado (Kpédékpo) plus précisément dans le village d'Agonvè au croisement des 7°15' et 7°58' de l'altitude Nord et de 2°27' et 2°17' de l'altitude Est .Il couvre une superficie de plus de 200 hectares et est situé sur la rive orientale du fleuve Ouémé. On y pratique la pêche artisanale tout le long de l'année représentant un énorme potentiel socio-économique pour le pays. Au milieu du lac se trouve une île sur laquelle est bâti le village lacustre d'Agonvè.

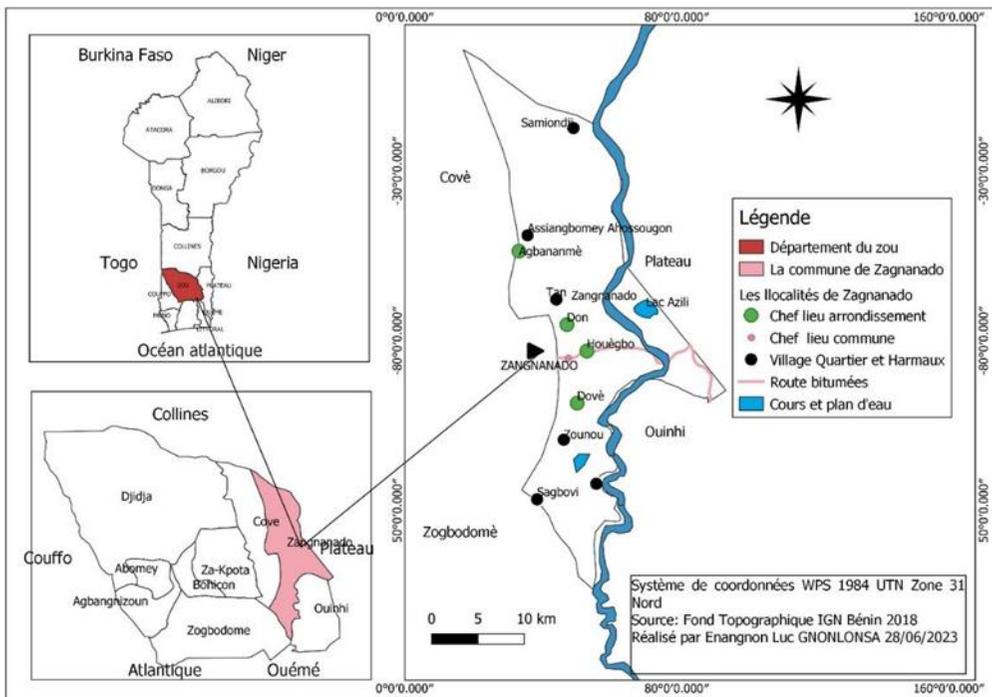


Figure 1 : Localisation géographique du lac Azili

Methodologie

L'approche méthodologique utilisée dans le cadre de la réalisation de cette étude comprend : une recherche documentaire ; des enquêtes et des observations de terrain, de l'échantillonnage, des analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Recherche documentaire

Pour atteindre les objectifs de cette étude et trouver les directives à suivre pour bien la mener, il a été nécessaire de passer par la recherche documentaire, une démarche exploratoire qui a marqué toutes les étapes de la recherche. Elle nous a permis de mieux cerner les contours de notre thème de recherche, de

connaître les aspects du sujet déjà abordés et de faire un bilan des acquis dans le domaine. Cette étape de la méthodologie a permis de faire des recherches sur le net, dans des bureaux d'étude, des bibliothèques, sur tous les documents scientifiques (mémoires, thèses et rapports) ayant abordé la problématique de qualité physico-chimique et microbiologique des eaux dans le monde, en Afrique et au Bénin. Ces différentes investigations ont permis d'avoir une meilleure compréhension du sujet et de mieux s'orienter dans la collecte, le traitement des données et l'analyse des résultats.

Travaux de terrain

Les travaux de terrain ont été réalisés durant la période de hautes eaux. Les travaux se sont déroulés en deux phases : la phase d'enquête et la phase d'échantillonnage de l'eau.

Enquête de terrain

Dans le but de mieux s'imprégner des facteurs de dégradation de la qualité des eaux du lac Azili, de l'usage qui est fait par les populations de cette eau et les conditions d'hygiène et d'assainissement actuelle dans le quatrième arrondissement de Zagnanado, une enquête de terrain a été effectuée à l'aide des fiches d'enquêtes basées sur des questionnaires. La taille de l'échantillon (50) a été déterminée conformément à la méthode de Schwartz (2002). Celle-ci a été calculée avec un degré de confiance de 95 % et une marge d'erreur de plus ou moins 5% suivant l'équation suivante

$$N = \frac{Z\alpha^2}{d^2} PQ$$

Avec ;

N =taille de l'échantillon

:Zα= écart fixé à 1,96

P=rapport du nombre de ménages du village par le nombre de ménages de la commune

Q= 1-P

d= marge d'erreur qui est égale à 5%

Observations sur le terrain

Les observations directes faites sur le terrain (visites des sites) ont permis de mieux apprécier l'état de salubrité du milieu en prenant connaissance des problèmes d'assainissement auxquels sont confrontés les habitants. Elles ont également permis d'acquérir des compléments d'informations utiles à la réalisation de cette étude et de vérifier certaines informations recueillies lors de nos enquêtes.

Echantillonnage de l'eau

Effectué pendant la saison pluvieuse, l'objectif de l'échantillonnage est d'avoir des échantillons représentatifs, des eaux du lac Azili utilisées pour la satisfaction des besoins de la population en consommation, et les divers usages domestiques. Ainsi, dans le but d'atteindre cet objectif, six sites ont été définis et les échantillons d'eau ont été prélevés à quelques centimètres sous la surface de l'eau. A cet effet, un échantillonnage raisonné a été fait, ce qui a permis de faire les prélèvements au niveau des zones du lac les plus fréquentées par les populations ainsi que des zones non fréquentées. Ainsi, des échantillons destinés aux analyses physico-chimiques et ceux destinés aux analyses bactériologiques ont été prélevés. Des bouteilles en plastique de 1,5 litre ont été utilisées pour l'échantillonnage de l'eau destinée aux analyses physico-chimiques. Elles ont été remplies après rinçage avec l'eau à échantillonner de manière à ne pas laisser de bulles d'air. En ce qui concerne la bactériologie, des bouteilles en verre de 250 ml ont été utilisées. La Turbidité, le pH et la température ont été mesurés in-situ avec un multi-paramètre de marque HANNA. Tous les échantillons d'eau sont conservés dans une glacière avec des accumulateurs de froid avant d'être transportés au laboratoire où ils sont conservés dans un réfrigérateur. La figure 4 présente la localisation des points de prélèvement d'eau sur le lac Azili .

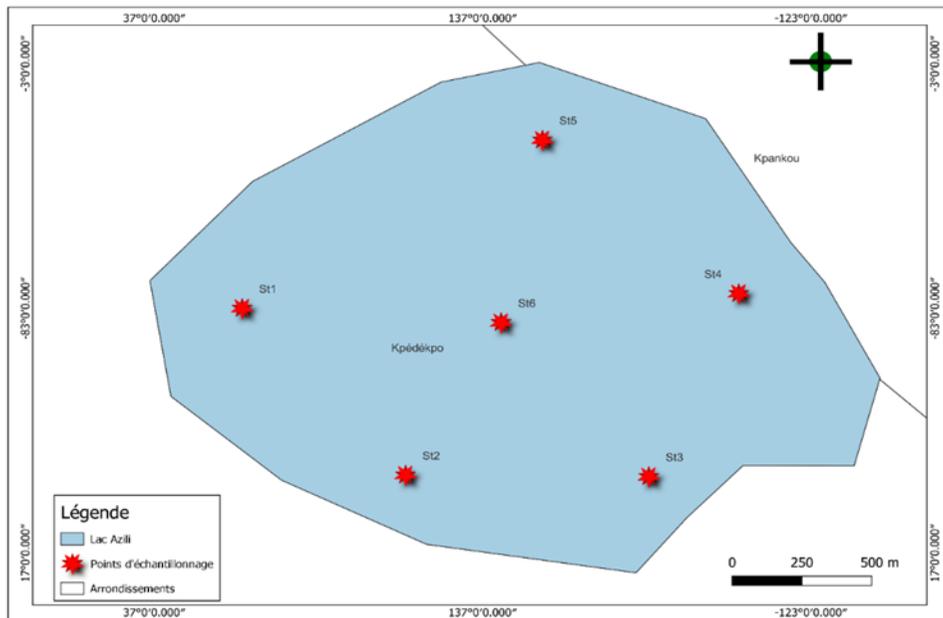


Figure 2: Localisation des points d'échantillonnage

Le tableau 2 présente les codes et coordonnées géographiques des sites de prélèvements.

Tableau 1: Codes et coordonnées géographiques des sites de prélèvement

Localités	Sites	Coordonnées géographiques	
		Longitude	Latitude
Alikon	St1	438075	803367
Bognon Lomassouhoue	St2	439732	802748
Awianhoué	St3	440603	802742
Akava	St4	440925	803446
Akava Bossa	St5	440222	804036
Dawessa	St6	440074	803334

Analyse au laboratoire

Les analyses chimiques ont été faites au Laboratoire d'Hydrologie Appliquée de l'Institut National de l'Eau. Les éléments chimiques recherchés sont : les nitrates, les nitrites, l'orthophosphate, l'ammonium et le fer. Ils ont été analysés à l'aide du spectrophotomètre HACH DR2800. En ce qui concerne les analyses microbiologiques, les germes recherchés sont : les Entérocoques fécaux, les coliformes totaux, les coliformes thermotolérants et les Escherichia coli.

Analyses chimiques

Dosage des nitrates

Le dosage des nitrates a été effectué en utilisant la méthode au Salicylate de Sodium indiquée par Rodier et al. (2009). En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent le paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique. La lecture s'est effectuée au spectrophotomètre HACH LANGE DR2800 à une longueur d'onde $\lambda = 425\text{nm}$ (DANNON E., 2022).

Dosage des nitrites

Pour le dosage des nitrites, la méthode au Réactif de Zambelli (Rodier et al, 2009) a été utilisée. En effet, l'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique et en présence d'ions ammonium et de phénol, forme avec les ions NO_2^- un complexe coloré en jaune dont la densité est proportionnelle à la concentration en nitrites. Les lectures se sont effectuées au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 425 nm.

Dosage de l'ammonium

Nous avons utilisé pour ce dosage, la méthode de Nessler proposée par Rodier et al, (2009). En effet, le réactif de Nessler en présence d'ions ammonium, donne de l'iodure de dimercuriammonium qui permet le dosage colorimétrique des ions ammonium NH_4^+ . Nous avons effectué par la suite la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 425 nm.

Dosage de l'orthophosphate

L'orthophosphate a été déterminé au spectrophotomètre avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine comme l'ont proposé Rodier et al (2009). En effet, il se forme en milieu acide un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium avec réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu. L'absorbance du complexe bleu formé est mesurée à la longueur d'onde la plus sensible 700 nm.

Dosage du fer

Nous avons utilisé pour ce dosage la méthode spectrophotométrique à la phénanthroline-1,10. En effet, il se produit la formation d'un complexe rouge orangé en milieu tamponné entre le fer converti à l'état de fer (II) et la phénanthroline-1,10. Ainsi, l'absorbance du complexe est mesurée au spectrophotomètre d'absorption moléculaire à 510 nm (Zanou , 2022).

Analyses bactériologiques

L'analyse bactériologique a été faite au niveau du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) de l'Institut National de l'Eau (INE) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC). Elle a pris en compte le dénombrement des coliformes totaux, des coliformes thermotolérants, d'E. coli et des Entérocoques fécaux.

Recherche et numération de Coliformes totaux et thermotolérants

La recherche et la numération des Coliformes totaux et thermotolérants a été faite suivant la norme NFV-066/1996. La méthode utilisée pour la détermination de ces germes a été la technique de filtration sur membrane. 100 mL de l'échantillon d'eau du lac Azili a été filtré sur des membranes filtrantes de porosité 0,45 µm. Cette membrane a été déposée dans une boîte de pétri contenant du milieu gélosé Violet Red Bile Lactose Agar (VRBL). Les boîtes ont étéensemencées à 37°C pendant 48 heures pour la recherche des Coliformes totaux, et à 44°C pendant 48 heures pour la recherche des Coliformes thermotolérants. Les colonies violacées ont été observées et dénombrées sur les boîtes incubées pour la recherche de ces deux germes. Les résultats ont été exprimés en UFC/100 mL. La valeur limite recommandée par la norme béninoise est de 0 UFC dans 100 mL d'eau potable (Decret N°2001-094).

Recherche et numération de *Escherichia coli*

La recherche et la numération des E. coli a été faite suivant la norme NFV-066/1996. La méthode utilisée pour la détermination de ces germes a été la technique de filtration sur membrane. 100 mL de l'échantillon d'eau et a été

filtré sur des membranes filtrantes de porosité 0,45 µm. Cette membrane a été déposée dans une boîte de pétri contenant du milieu gélosé Violet Red Bile Lactose Agar (VRBL). Les boîtes ont été ensemencées à 44°C pendant 48 heures. Les colonies rouges violacées ont été observées et dénombrées. Les résultats ont été exprimés en UFC/100 ml. La valeur limite recommandée par la norme béninoise est de 0 UFC dans 100 mL d'eau potable (Decret N°2001-094).

Recherche et numération des Entérocoques

Les Entérocoques ont été recherchés et dénombrés dans les échantillons d'eaux suivant la norme AFNOR NF ISO 7899-2 (2000). La méthode utilisée pour la détermination de ces germes a été la technique de filtration sur membrane. 100 mL de l'échantillon d'eau a été filtré sur des membranes filtrantes de porosité 0,45 µm. Cette membrane a été déposée dans une boîte de pétri contenant du milieu gélosé Slanetz Bartley. Les boîtes ont été ensemencées à 37°C pendant 48 heures. Des colonies rouges/violettes/roses ont été observées et dénombrées. Les résultats ont été exprimés en UFC/100 mL. La valeur limite recommandée par la norme béninoise est de 0 UFC dans 100 mL d'eau potable (Decret N°2001-094).

Traitement des données

Les données statistiques recueillies sur le terrain et celles issues des analyses de laboratoire ont été rigoureusement traitées avec le Tableur Excel 2016, le logiciel R pour le traitement et la réalisation des graphes. Le logiciel Qgis 3.16 a servi à la réalisation des cartes et Microsoft Word 2016 pour la rédaction du document. Les résultats des travaux de terrain et de laboratoire ont été comparés aux normes de qualité des eaux de surface et ont permis d'évaluer la qualité des eaux du lac Azili. Ces résultats ont également permis d'évaluer les risques sanitaires liés à la consommation de ces eaux par les habitants du village d'Agonvè.

Resultats et Discussion

Resultats

Les résultats issus de nos travaux de recherche sont présentés et discutés. Les résultats obtenus se présentent comme suit :

- ❖ les résultats issues des enquêtes de terrain ;
- ❖ les résultats issus des analyses physico-chimiques ;
- ❖ les résultats issus des analyses bactériologiques.

Résultats des enquêtes de terrain

Au terme des différents travaux effectués sur le terrain conformément aux méthodes décrites précédemment, l'analyse des résultats d'enquête est effectuée. Les graphiques suivants présentent ces résultats.

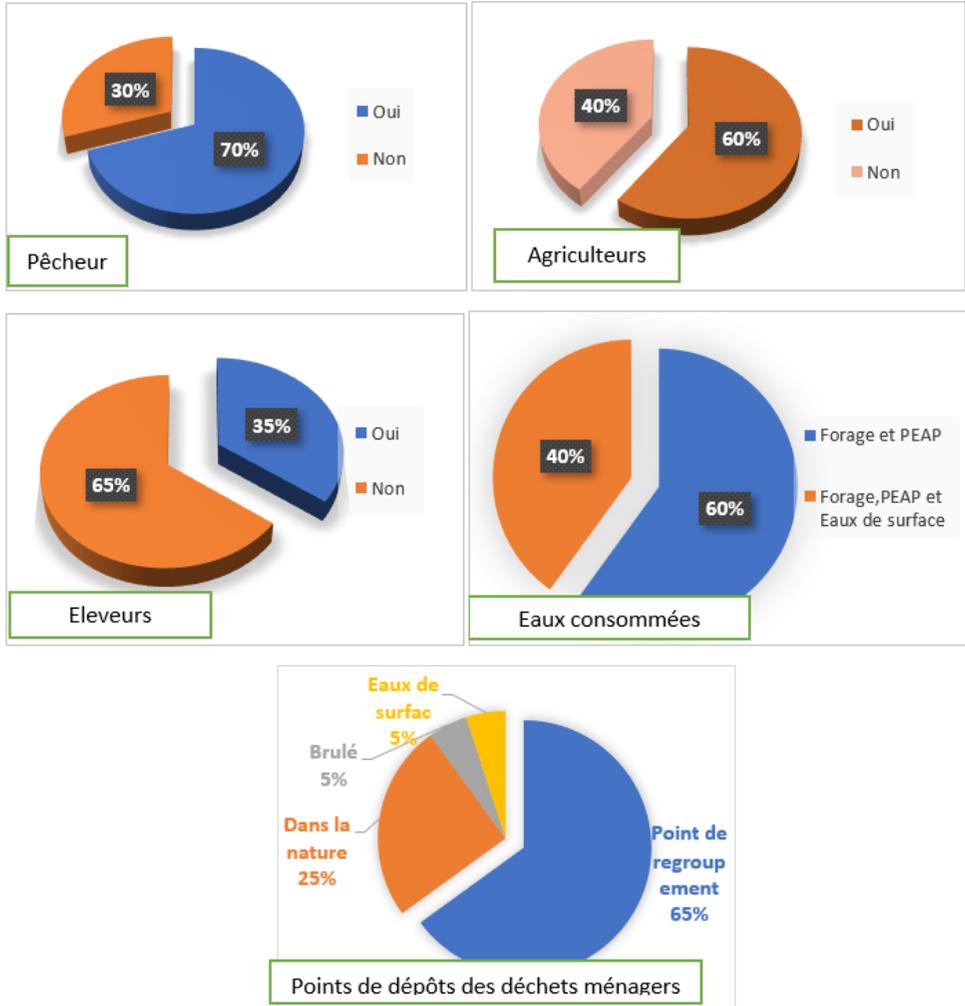


Planche 1: Pourcentages des pêcheurs, agriculteurs et éleveurs sur les enquêtés ; sources d’approvisionnement en eaux de consommation, gestion des déchets sur l’île



Photo 1. Latrine publiques disponible

Les enquêtes effectuées révèlent que 70 % des enquêtés sont des pêcheurs, 69 % des agriculteurs et 65 % des éleveurs. La pêche est de loin la principale activité pratiquée par les habitants de l'île. Pour ce fait, les pêcheurs utilisent des pirogues avec des filets ou cage pour tendre des pièges aux poissons. En ce qui concerne l'agriculture, elle est la seconde activité la plus pratiquée avec usages de divers intrants agricoles. L'élevage par contre est peu pratiqué et est essentiellement à l'air libre ; Les déjections animales se retrouvent donc un peu partout sur l'île constituant ainsi une source de pollution bactériologique pour le lac. Quant aux sources d'approvisionnement en eau de boisson, les enquêtes révèlent que 60 % des enquêtés s'approvisionnent en eaux du lac et celle du poste d'eau autonome privée, 100 % des enquêtés utilisent l'eau du lac pour les usages domestiques. Ce recours aux eaux du lac pour les divers usages est dû à l'insuffisance d'infrastructures d'approvisionnement en eau potable sur l'île d'Agonvè. Aussi, ne disposant que d'une seule et unique latrine publique sur l'île, la population à renouer avec les vieilles habitudes de défécation à l'air libre ce qui n'est pas sans conséquences sur la qualité de l'eau du lac.

Caractéristiques physico-chimiques de l'eau du lac Azil

Les résultats des analyses physico-chimiques sont présentés sur les graphiques suivants (Planche 2 / Figure 3).

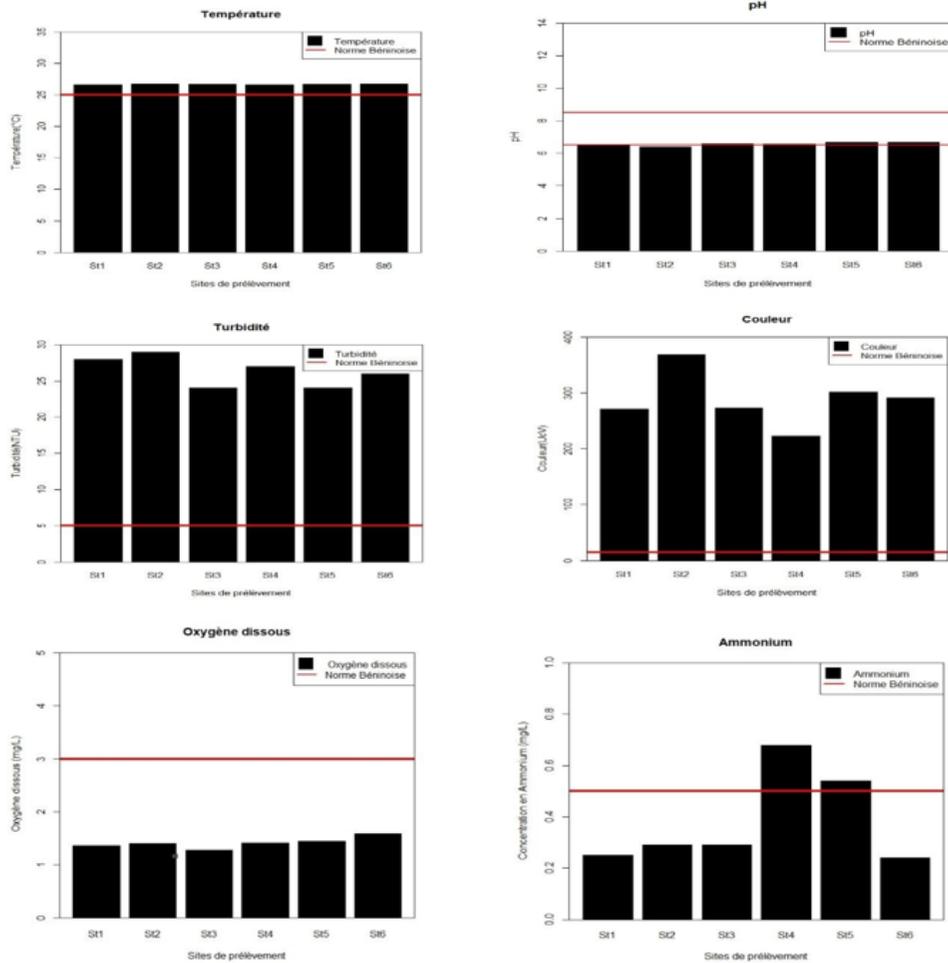


Planche 2 : Variations de la température, pH, turbidité, couleurs ,oxygène dissous et ammonium en fonction des différents sites de prélèvement

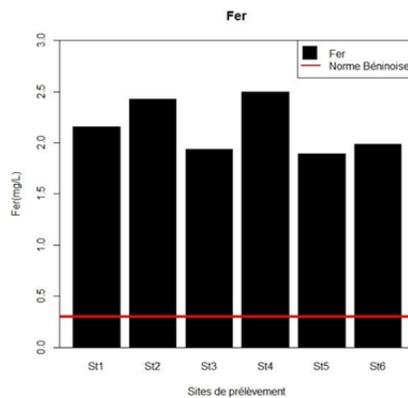


Figure 3: Variations de la concentration du fer en fonction des différents sites de prélèvement

Les températures relevées sur les différents échantillons prélevés varient entre 26,61°C et 26,81°C avec une moyenne de 26,72°C. La plus forte valeur a été relevée sur le site 2 (Bognon Lomassouhoue) tandis que la plus faible a été relevée sur le site 4 (Akava). On constate que toutes les valeurs obtenues pour la température au niveau des différents sites de prélèvement dépassent la limite fixée par la norme béninoise (25°C). Quant aux pH, les valeurs obtenues varient entre 6,39 et 6,70 avec une moyenne de 6,41. La plus faible valeur (6,39) est obtenue au niveau du site 2 (Bognon Lomassouhoue) alors que la plus forte valeur (6,70) est obtenue au niveau du site 5 (Akava Bossa). Nous remarquons que seules les valeurs obtenues au niveau des sites 1 ; 3 ; 4 ; 5 et 6 appartiennent à la plage de 6,5-8,5 qui représente la valeur normalisée pour ce paramètre (Norme Béninoise). En ce qui concerne la turbidité de l'eau les valeurs obtenues varient entre 24 NTU et 29 NTU avec une moyenne de 26,33 NTU. La valeur maximale est obtenue au niveau du site 2 (Bognon Lomassouhoue) tandis que la valeur minimale est obtenue au niveau des sites 3 (Awianhoué) et 5 (Akava Bossa). Remarquons que les valeurs obtenues pour la turbidité au niveau des différents sites sont supérieures à la limite fixée par la norme béninoise qui est de 5NTU. Les valeurs de la couleur varient entre 223 et 369 UcV avec une moyenne de 288,5 UcV. La plus faible valeur est obtenue dans l'échantillon prélevé au site 4 (Akava) et la plus forte valeur est obtenue dans l'échantillon prélevé sur le site 2 (Bognon Lomassouhoue). Notons que toutes ces valeurs sont supérieures à la norme béninoise qui est 15 UcV.

Les valeurs de l'oxygène dissous varient entre 1,28 et 1,59 mg/L avec une moyenne de 1,41 mg/L. La valeur maximale est obtenue au niveau du site 6 (Dawessa) tandis que la valeur minimale est observée au niveau du site 3 (Awianhoué). On constate que ces valeurs sont toutes supérieures à la norme béninoise qui est ≥ 3 .

Les valeurs de l'ammonium oscillent de 0,24mg/L à 0,68mg/L. La plus forte valeur (0,68mg/L) est enregistrée au niveau du site 4 (Akava) et la plus faible valeur (0,24mg/L) est enregistrée au niveau du site 6 (Dawessa) avec une moyenne de 0,38 mg/L. D'après les analyses, les sites 4 (Akava) et 5 (Akava Bossa) ont des concentrations supérieures à la norme béninoise qui est 0,5 mg/L. Les sites 1 ; 2 ; 3 et 6 par contre ont une concentration inférieure à ladite la norme.

Les valeurs obtenues après dosage du fer dans les échantillons d'eau prélevés varient entre 1,89 et 2,50 mg/L avec une moyenne de 2.15 mg/L(Figure 3) . La valeur la plus élevée (2,50 mg/L) est obtenue au niveau du site 4 (Akava) et la valeur la plus faible (1,89) est obtenue au niveau du site 5 (Akava Bossa). Toutes les valeurs de concentrations en fer dépassent la Norme Béninoise qui est de 0,3 mg/L.

Appréciation de la qualité de l'eau du lac Azili en utilisant la Norme de Qualité des Eaux de France (eaux de surface) et Normes OMS

En tenant compte de la Norme de Qualité des Eaux (NQE) de France, les paramètres physico-chimiques tels que la Température, pH, Conductivité électrique, TDS, Turbidité, Orthophosphates dépassent la valeur limite fixée par ladite Norme. Le tableau ci-dessous présente les valeurs obtenues après analyses et les valeurs limites fixées par la NQE et l'OMS. Les valeurs en rouge sont celles des paramètres non conformes à la Norme NQE et celle en vert sont celles des paramètres conformes à ladite Norme. Il en ressort donc que l'eau du lac Azili est de mauvaise qualité.

Tableau 2: Norme de Qualité des Eaux de France (eaux de surface) et Normes OMS

Paramètres	Unités	Valeurs moyenne obtenues	Directives NQE	Normes OMS
Température	°C	26,71	20 -- 25	25
pH	—	6,41	6,5 -- 8,5	6,5 -- 8,5
Conductivité électrique	µS/cm	26,33	750 -- 1300	2000
TDS	mg/L	27,33	500 -- 1200	1000
Turbidité	NTU	26,33	5 --20	5
Ammonium	mg/L	0,38	0,1 -- 0,5	0,5
Nitrites	mg/L	0,38	----	3,2
Nitrates	mg/L	0,23	----	50
Orthophosphates	mg/L	0,11	0,2 -- 0,5	0,2

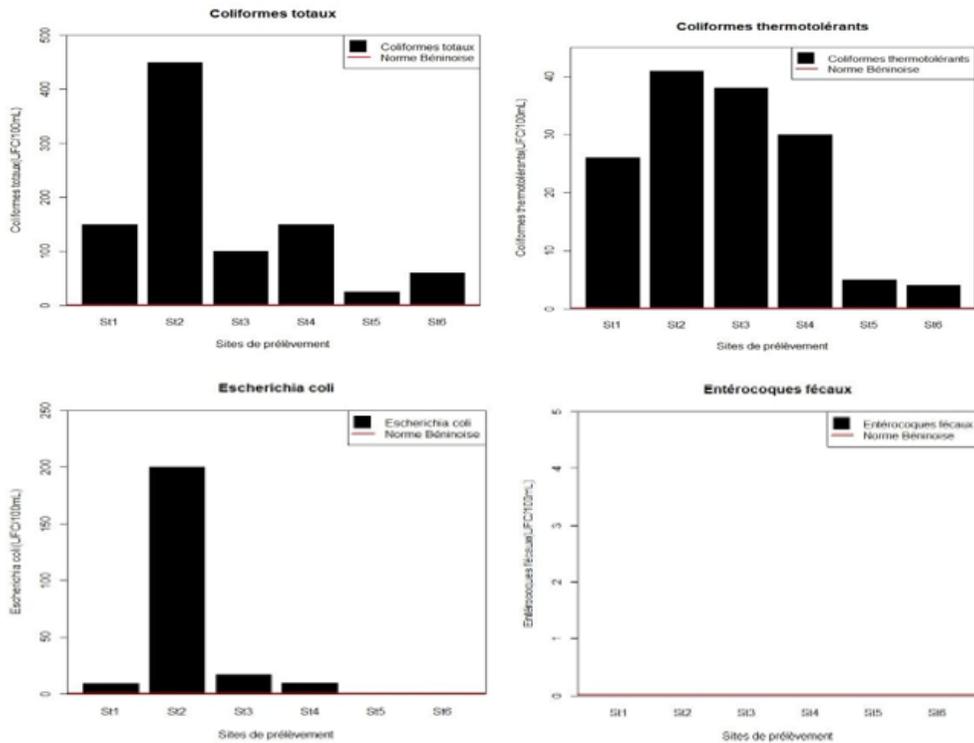


Planche 3: variations des coliformes totaux, thermotolérants et Escherichia coli en fonction des différents sites de prélèvements

Caractéristiques bactériologiques de l'eau du lac Azili

Présentés par les graphiques suivants (figure 3) les résultats d'analyses bactériologiques révèlent une forte charge en des coliformes totaux, thermotolérants et Escherichia coli dans les échantillons d'eaux prélevés. Ainsi, les charges bactériennes en coliformes totaux varient de 25 UFC/100ML à 450 UFC/100ML avec une moyenne de 155,33 UFC/100mL dépassant ainsi la limite fixée par la norme béninoise des eaux de consommation qui est de 0 UFC/100. La plus faible charge bactérienne est obtenue dans l'échantillon d'eau prélevé sur le site 5 (Akava Bossa). Par contre, la plus forte charge bactérienne en coliformes totaux est obtenue dans l'échantillon d'eau prélevé sur le site 2 (Bognon Lomassouhoue). Quant aux coliformes thermotolérants, les charges bactériennes varient de 4 UFC/100ML à 41UFC/100mL respectivement aux sites 6 (Dawessa) et 2 (Bognon Lomassouhoue) avec une moyenne de 24 UFC/100MI dépassant ainsi la limite fixée par la norme béninoise des eaux de consommation qui est de 0 UFC/100. En ce qui concerne l'Escherichia coli, les charges bactériennes obtenues au niveau des sites de prélèvement varient entre <1 et 200 UFC/100 mL avec une moyenne de 39,66 UFC/100 mL. La plus forte charge

bactérienne est obtenue au niveau du site 2 (Bognon Lomassouhoue) et la plus faible charge bactérienne est obtenue au niveau des sites 5 (Akava Bossa) et 6 (Dawessa). Les valeurs obtenues au niveau des sites 5 et 6 respectent la norme Béninoise tandis que celles obtenues au niveau des sites 1 (Alikon) ; 2 (Bognon Lomassouhoue) ; 3 (Awianhoué) et 4 (Akava) n'est pas conforme à la valeur limite fixée par la norme béninoise des eaux de consommation qui est de 0 UFC/100 ml. Aucun des échantillons d'eau prélevés et analysés ne contiennent des charges bactériennes en entérocoques fécaux. La norme Béninoise des eaux de consommation qui est de 0 UFC/100 ml est ainsi respectée pour ce germe.

Risques sanitaire liés à la consommation des eaux du lac

A Agonvè, la majorité des ménages ne disposent d'aucun système de collecte des ordures ménagères ni d'eaux usées domestiques. Ainsi, la mauvaise gestion de ces ordures et eaux usées ajoutées au manque d'infrastructures d'assainissement de base sur l'Île remet en question la qualité des eaux du lac qui entourent cette Île. Ce sont ainsi des facteurs de risque de pollution dudit lac. A la suite des enquêtes, il ressort que 40 % des ménages s'approvisionnent non seulement en des eaux du forage, du PEAP mais aussi celles du lac. En effet ne disposant que de deux forages et d'un PEAP, certaines populations se retournent vers les eaux du lac pour la boisson et divers usages domestiques. Or d'après l'Organisation Mondiale de la Santé, l'eau destinée à la consommation et aux besoins des ménages ne doit pas contenir de microorganismes pathogènes ; aucun échantillon de 100 ml d'une eau destinée à la consommation ne doit contenir de germes de coliformes et de streptocoques (WHO, 2008). La consommation des eaux du lac par ces habitants expose ces derniers à des maladies d'origine microbienne telles que le choléra, les fièvres typhoïdes, dysenteries bacillaires, diarrhées et gastro-entérites, hépatite A et E, dysenteries amibiennes.

Discussion

Les résultats issus de l'enquête révèlent que la pêche est la principale activité de la population du village d'Agonvè. Dans ce village, la pêche est beaucoup plus traditionnelle avec usages de filets à bord de pirogue ou de cage pour tendre des pièges aux poissons. L'usage de cage par ces pêcheurs pour piéger les poissons n'est pas sans conséquences. En effet, l'implantation de ces cages encombre non seulement le lac Azili mais augmente la charge de matière organique de l'eau. Or l'augmentation de la charge de matière organique des eaux de surface cause l'eutrophisation (Mama, 2010 ; Dèdjiho *et al.*, 2014) et subséquemment altère le développement des poissons (Laurent et Dupont, 2011). En ce qui concerne l'agriculture, elle connaît l'usage des insecticides, herbicides, pesticides et des engrais chimiques. Pour l'application

des engrais chimiques, les agriculteurs ne respectent pas les doses recommandées. L'application des engrais chimiques à des doses non recommandées constitue certainement une source de pollution pour les ressources naturelles voire la population utilisatrice. Les enquêtes effectuées par Atidéglà et Agbossou (2010), au Bénin sur le site de Grand Popo viennent confirmer cette information. Selon ces auteurs, plus de 60 % des maraîchers du site de Houégniho appliquent la fumure au moins quatre fois au cours du cycle végétatif des cultures avec des doses (1000-3000 kg/ha de NPK et 2500-5000 kg/ha d'urée) supérieures à celles recommandées par les services techniques. Après application des engrais chimiques, lorsque la capacité des sols est dépassée, les engrais en excès sur le sol rejoignent les ressources en eau superficielles (rivières, fleuves, lacs, etc.) par ruissellement ou s'infiltrent dans le sol et menacent les ressources souterraines (Adjagodo, 2018). En période d'inondation, les engrais chimiques non utilisés par les cultures se retrouvent plus facilement dans les eaux du lac. Pour la gestion des emballages des produits phytosanitaires, certains de ces agriculteurs d'Agonvè jettent ces emballages dans les champs et donc dans la nature. Le rejet des emballages des produits phytosanitaires dans les eaux de surface ou dans la nature ainsi que leur réutilisation est très dangereuse pour l'homme après lavage des emballages, il reste toujours des résidus de produits à l'intérieur, ces derniers sont absorbés dans les parois de l'emballage, ce qui fait qu'on les qualifie de déchets spéciaux (Schiffers et Mar, 2011). Outre la pêche et l'agriculture, l'élevage est aussi une activité à laquelle s'adonnent les habitants du village d'Agonvè. Pratiqué à l'air libre, il génère des matières fécales qui se retrouvent dans les eaux du lac en période d'inondation mais aussi par le biais des eaux de ruissellement ce qui constitue ainsi une source de contamination fécale du dit lac. Les activités domestiques constituent également des sources de pollution des eaux du lac Azili par les microorganismes, les métaux lourds, les polluants azotés et phosphatés. Ce lac est le réceptacle de tous les déchets solides et liquides produit par la population riveraine. Ces déchets liquides (eaux usées) renferment de nombreuses substances chimiques, des matières organiques, des matières en suspension (MES), des nutriments, des Eléments Traces Métalliques (ETM) (Rakoto, 2010) et des micro-organismes potentiellement dangereux. De même, l'insuffisance des infrastructures de gestion des déchets ménagers favorise leur introduction dans les eaux du lac en période de crue ou par le biais des eaux de ruissellement grâce à l'action de la pente. Ainsi une fois dans l'eau, ces déchets confèrent à l'eau un caractère trouble. Plusieurs tâches domestiques telles que la lessive, la vaisselle se font au bord du lac Azili qui sont des sources non négligeables de pollution. Ces pratiques engendrent la libération des composés phosphatés et des éléments traces métalliques. Selon Festy et al. (2003), les lessives constituent une source importante de phosphate dans les eaux de surface.

Les résultats des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau du lac Azili analysés permettent d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux du lac Azili. Les températures collectées varient entre 26,61 °C et 26,81°C avec une moyenne de 26,72°C. Cette variation peut s'expliquer par les heures d'échantillonnage. Les valeurs des températures enregistrées, sont concordantes à celles de Dèdjiho (2011) et Pouomogne (1998) qui ont montré que les températures comprises entre 24 à 35 °C sont favorables à une bonne croissance des espèces aquatiques. Quant au pH, les différentes valeurs enregistrées au niveau des différents sites d'échantillonnage se situent dans la gamme de 6,5 à 8,5 (Beaux, 1998). Selon Sahli (2002) un pH compris entre 6 et 9 permet un développement de la faune et de la flore aquatique. Ces valeurs de pH obtenues dans les échantillons d'eau du lac Azili sont bonnes pour l'aquaculture car selon Abou et al. (2010), elles se situent dans la limite tolérable des espèces de poissons qui est située entre 6,5 et 9. Quant aux valeurs de la turbidité observées au niveau des différents sites, ces valeurs sont supérieures à 5 NTU (norme OMS). D'après Gregorio et Pierre-Marie (2007), la turbidité est due à la présence de matières en suspension entraînées dans les eaux. Les valeurs de la turbidité peuvent s'expliquer par la mauvaise gestion des ordures qui se retrouvent dans les eaux du lac par le biais des eaux de ruissellement. En effet, lorsqu'il y a pluie, les eaux de ruissellement entraînent avec elles les déchets vers le lac grâce à la pente. Aussi, en période de crue, ces décharges d'ordures sont inondées et donc les déchets se retrouvent plus facilement dans l'eau. Ces résultats obtenus sont similaires à ceux de Zandagba *et al.*, (2016) sur le lac Nokoué. Selon l'auteur, les valeurs élevées de la turbidité s'expliquent par les apports des eaux de ruissellement, des activités anthropiques autour de la ressource en eau. Les valeurs de l'oxygène dissous varient entre 1,28 et 1,59 mg/L au sein du lac Azili. Ces valeurs sont inférieures à la norme qui est ≥ 3 mg/L. Selon Beaux (1998), une eau est qualifiée de polluée si elle a une teneur en oxygène dissous inférieure à 3 mg/L d'O₂. La diminution de l'oxygène dissous peut avoir plusieurs impacts négatifs sur l'écosystème aquatique dont les principaux sont la mortalité accrue de plusieurs organismes vivants et la libération du phosphore contenu dans les sédiments (Ngaram, 2011).

En ce qui concerne les nitrates, les valeurs obtenues au niveau des différents points de prélèvement ne représentent pas un danger puisqu'elles sont en dessous de 45 mg/L qui représentent la valeur limite fixée par la norme béninoise. Il en est de même pour les nitrites qui sont inférieures à la norme béninoise qui est de 3,2 mg/L. Les agriculteurs faisant usages des engrais chimiques, insecticides et herbicides, les faibles valeurs de nitrate et de nitrite obtenues peuvent être expliquées par la période d'échantillonnage qui coïncide avec la période de crue ; il y a donc une dilution considérable des eaux du lac. Par ailleurs, la présence des nitrites dans une eau de surface peut

être considérée comme suspecte voire toxique, pour les poissons même à de faibles doses (Vissin *et al.*, 2010) et constitue un frein au développement de la faune aquatique à cause de la toxicité (André, 1995). Les concentrations en ammonium obtenue au niveau des sites 4 et 5 sont supérieures à la norme. Ces fortes valeurs peuvent provenir des rejets d'effluents domestiques ou de la réduction naturelle des nitrates qui s'est introduit directement dans l'eau du lac. En effet, les déchets ménagers se retrouvant un peu partout sur l'Île et dans les eaux du lac constitue une source de pollution des eaux au niveau de ces sites. Les concentrations en ammonium au niveau de ces sites sont supérieures à la norme, il y a donc risque de toxicité pour la vie aquatique. Les analyses de l'orthophosphate permettent de remarquer une faible variation des teneurs en phosphates au niveau des différents sites de prélèvement. Ces faibles valeurs obtenues peuvent être dues au phénomène de dilution. Globalement les nutriments solubles dans la colonne d'eau sont très sensibles aux effets de dilution dû aux apports de la pluie et de l'eau douce (Mama *et al.*, 2011). Aussi les faibles valeurs obtenues permettent de dire que les plantes utilisent ces éléments pour leurs activités en période de crue (Zandagba et al., 2017). En ce qui concerne le fer, les valeurs obtenues varient entre 1,89 et 2,50 mg/L ce qui est largement supérieur à la norme béninoise qui de 0,3 mg/L. Cela s'explique par la présence des sols hydromorphes dans ce village. En effet les sols hydromorphes sont riches en minéraux ferreux ce qui favorise la libération du fer par oxydation au contact de l'eau. Notons que ces valeurs sont supérieures à celles obtenues par Zanou (0.70-1,65 mg/L) en 2022 sur le lac Azili.

En se référant à la Norme de Qualité des Eaux de France (NQE) pour l'appréciation de la qualité de la ressource en eaux superficielles qu'est le lac Azili, il faut retenir que, les eaux dudit lac sont de mauvaise qualité. Dans cet état de chose, une surveillance s'avère indispensable pour la protection de cette ressource et des populations qui la consomme. Les analyses bactériologiques des eaux des différents sites échantillonnés montrent qu'elles ont une charge microbienne élevée en ce qui concerne les germes indicateurs de contamination fécale. En effet, les analyses révèlent la présence en grand nombre des Coliformes totaux, des Coliformes thermotolérants et *Escherichia coli* dépassant ainsi la norme béninoise (0UFC/100ml). Des plus fortes charges bactériennes en coliformes totaux et thermotolérants sont obtenues dans les échantillons E1, E2 et E4 pour les coliformes totaux et E2, E3 et E4 pour les coliformes thermotolérants. La présence des Coliformes totaux et thermotolérants dans l'eau du lac Azili au niveau de ces sites est due au ruissellement des eaux usées et déchets domestiques rejetés, à l'insuffisance des systèmes d'assainissement dans la zone d'étude. Selon Crowther et al. (2002) ; Fogarty et al. (2003) ; Cox et al. (2005), la contamination fécale des eaux de surface est liée principalement aux rejets des eaux résiduaires, à l'épandage des lisiers et fumiers dans l'activité agricole et aux déjections de

la faune sauvage. La présence des Coliformes thermotolérants dans l'eau constitue un bon indice de pollution surtout attribuée à une contamination fécale (Ladjel, 2009). En ce qui concerne *E. coli*, les plus fortes charges en ces germes sont obtenues dans les échantillons d'eau prélevés sur les sites E2, E3 et E4. La présence de *E. coli* dans l'eau indique non seulement une contamination récente par des matières fécales, mais aussi la présence possible de bactéries pathogènes, virus et protozoaires pathogènes (INSPQ, 2003 ; John et Donald, 2010). L'absence des Entérocoques fécaux dans les échantillons d'eau analysée confirme que la contamination de l'eau du lac par les matières fécales est récente.

Les résultats issus des enquêtes menées en ce qui concerne les facteurs de risques de contamination confirment réellement le degré de pollution bactériologique observée. Cela s'explique sans doute par l'insuffisance d'infrastructures d'assainissement de base ce qui oblige les habitants à renouer avec les vieilles habitudes de défécation à l'air libre. Ainsi, en période de crue, l'eau apporte avec elle, tous ces excréta. Ces derniers se décomposent par la suite dans l'eau provoquant ainsi sa pollution. Il en est de même pour les matières fécales des animaux puisque à Agonvè, les animaux sont laissés en divagation et donc, leurs excréta se retrouvent un peu partout sur l'Île et dans les eaux du lac. L'utilisation de ces eaux pour les besoins domestiques en l'occurrence pour la boisson explique mieux les maladies hydriques fréquentes enregistrées dans le village. Il s'agit entre autres du choléra, la diarrhée et de la fièvre typhoïde.

Conclusion

L'étude réalisée nous a permis d'évaluer la qualité des eaux du lac Azili du point de vue physico-chimique et du point de vue bactériologique afin de déterminer les risques sanitaires liés à sa consommation dans le quatrième arrondissement de Zagnanado. Les résultats des analyses physico-chimiques dévoilent que les propriétés des eaux du lac sont généralement bonnes pour l'ensemble des paramètres à l'exception de cinq éléments (Turbidité, température, l'oxygène dissous, la couleur et le fer) qui présentent des quantités en excès par rapport aux normes béninoises des eaux de boisson. Les analyses bactériologiques viennent confirmer que les eaux sont contaminées par des coliformes totaux, thermotolérants, et *Escherichia coli* qui seraient d'origine fécale. Cela peut s'expliquer par l'insuffisance d'infrastructures d'assainissement de base et les conditions d'hygiène et d'assainissement inquiétantes autour de ceux existant ce qui oblige les habitants à renouer avec les vieilles habitudes de défécation à l'air libre. Les eaux du lac sont donc malsaines et impropres à la consommation humaine ce qui est sans doute à l'origine des maladies hydrique récurrentes sur l'île. Ainsi, il urge donc que les autorités de la municipalité portent un regard attentionné à l'endroit de ces

populations vivant sur l'île afin de leur permettre de bénéficier de meilleures conditions d'hygiène et d'assainissement car l'insalubrité à laquelle nous assistons sur cette île, continue de dégrader l'environnement immédiat de ces populations, la ressource en eau et la santé des habitants. Pour donc remédier à cette situation, nous formulons des suggestions suivantes :

construire sur l'île des infrastructures d'approvisionnement en eau potable pour la population ; construire et mettre à la disposition des populations des infrastructures d'assainissement de base ; mettre en place des dispositifs de collecte et de stockage des déchets ménagers ; traiter l'eau du lac avant tout usage alimentaire ; sensibiliser les populations sur les bonnes pratiques d'hygiène et d'assainissement ; construire un centre de santé sur l'île et réhabiliter l'existant afin de faciliter l'accès au soin médical à la population ; éviter l'utilisation excessive des engrais chimiques dans les champs ; faire un suivi régulier de la qualité des eaux du lac permettant de suivre le niveau de pollution afin de préserver la vie des espèces aquatiques et des populations utilisant les ressources du lac.

Ainsi s'ouvrent des recommandations de recherche pour les acteurs scientifiques afin d'apporter des éléments aux décideurs pour protéger les populations riveraines, préserver puis sauvegarder la vie de cet important écosystème aquatique du pays.

Conflit d'intérêt: Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêt

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

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

Déclaration relative aux participants humains: Cette étude a été approuvée par l'Institut National de l'Eau (Laboratoire d'Hydrologie Appliquée) et les principes d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. Abou Y., Hossou E., Fiogbe E.D., 2010. Effets d'une couverture d'Azolla sur les performances de croissance et de production de Clarias gariepinus (Burchell) élevé en étangs. Hemical International Journal of Biological and C Sciences, 4 (1).
2. Adjagodo A., 2018. Influence des activités anthropiques sur la qualité bactériologique, physico-chimique et toxicologique des activités anthropiques sur la qualité bactériologique, physico-chimique et toxicologique de l'écosystème aquatique de la Basse Vallée de

- l'Ouémé. Thèse de Doctorat. Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA-UNESCO), Université d'Abomey-Calavi, 221p.
3. Adjagodo A., Agassounon Djikpo Tchibozo M., Kelome N. C., Lawani R., 2016. Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaîne trophique à travers le monde : synthèse bibliographique Flow of pollutants linked to anthropic activities, risks on worldwide surface water and food chain resource : literature review. 10(June), 1459–1472. 2.
 4. Adjagodo A., 2018. Influence des activités anthropiques sur la qualité bactériologique, physico-chimique et toxicologique des activités anthropiques sur la qualité bactériologique, physico-chimique et toxicologique de l'écosystème aquatique de la Basse Vallée de l'Ouémé. Thèse de Doctorat. Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA-UNESCO), Université d'Abomey-Calavi, 221p.
 5. Bouras Z., Sekfali S., 2013. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles « cas d'Oued Zénati » (Nord - Est Algérien). Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 de Guelma p9-10-20.
 6. CNRS, 2015. L'eau à découvert - 4. La répartition spatiale actuelle de l'eau sur Terre - CNRS Éditions" <https://books.openedition.org/editions-cnrs/9848?lang=fr>.
 7. Dedjiho C.A., 2011. Evaluation de la chaîne trophique d'une aire marine protégée en relation avec sa physico-chimie : cas de Gbèzoumè dans la commune de Ouidah.
 8. Dèdjiho A., 2014. Etude diagnostique de la pollution chimique des plans d'eau du complexe lagunaire du Sud-ouest du Bénin : cas du lac Ahémé-gbèzoumè. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, 139p.
 9. Festy B., Hartemann P., Ledrans M., Levallois P., Payment P., Tricard D., 2003. Qualité de l'eau. In: Environnement et santé publique-Fondements et pratiques. pp 333-368.
 10. John P., Donald A., 2010. Microbiologie, 3ème Édition, 1216 p.
 11. Mama D., 2010. Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac Nokoué (Bénin). Thèse de l'Université de Limoges, 150p.
 12. OMS, 2017. Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. intégrant le premier additif.
 13. Santé Canada, 2012. Recommandation pour la qualité de l'eau au Canada ; document technique, les coliformes totaux (http://www.hc-sc.gc.ca/ewhsemt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau) .

14. Pouomogne V., 1998. Pisciculture en Milieu Tropical Africain. Comment produire du poisson a cout modéré .Presse Universitaire d'Afrique, Yahoundé . 263p .
15. Zandagba J., Adandedji F., Mama D., Chabi A., Afouda A., 2016. Assessment of the physico-chemical pollution of a water body in a perspective of integrated water resource management: case study of Nokoué lake.657-669p.

Utilisation régulière du préservatif par les couples sérodiscordants au VIH au Bénin

Djossou Sègnon Eurydice Elvire

Tokpanoude Coovi Nonwanou Ignace

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,

Université d'Abomey-Calavi, Cotonou

Georgia Damien Barikissou

Centre de Formation et de Recherche en matière de Population,

Université d'Abomey-Calavi, Cotonou

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,

Université d'Abomey-Calavi, Cotonou

Ahanhanzo-Glele Rhonel

Centre d'Information, de Prospective, d'Ecoute et de Conseil sur les IST/VIH/Sida –

Borgou/Alibori

Agossoukpe Benoît Sedegnon

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,

Université d'Abomey-Calavi, Cotonou

Chabi Boum Orou Bodeidjo Méré

Organisation pour le Développement Durable, le Renforcement et l'Auto-promotion des

Structures communautaires

Agbokpela Blaise Gildas

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la Santé,

Université d'Abomey-Calavi, Cotonou

Service de Santé Publique et Riposte, Direction Départementale de la Santé du Couffo,

Aplahoué, Bénin

Etchiha Koudénoukpo Fulgence Pédis

Gnonlonfoun Raphael

Institute of Tropical Medicine Antwerp Alumni, Antwerp, Belgium

Ponou Amalia Nicole

Aguemon Badirou

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la Santé,

Université d'Abomey-Calavi, Cotonou

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p256](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p256)

Submitted: 10 March 2024

Accepted: 10 May 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Elvire, D. S. E., Ignace, T. C. N., Barikissou, G. D., Rhonel, A.-G., Sedegnon, A. B., Méré, C. B. O. B., Gildas, A. B., Pédis, E. K. F., Raphael, G., Nicole, P. A., & Badirou, A. (2024). *Utilisation régulière du préservatif par les couples sérodiscordants au VIH au Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 256.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p256>

Résumé

L'utilisation du préservatif au sein des couples sérodiscordants au VIH est une stratégie de prévention efficace et largement recommandée, en complément aux autres méthodes de prévention. L'objectif de cette étude était d'une part de déterminer la prévalence et les facteurs associés à l'utilisation régulière du préservatif masculin au sein des couples sérodiscordants et d'autre part de décrire les raisons qui motivent l'adoption ou non de ce comportement. Elle s'est déroulée sur les sites de prise en charge (PEC) de la ville de Parakou, au nord-est du Bénin. Il s'est agi d'une étude transversale multicentrique mixte. Les participants répondant aux critères d'inclusion ont été recrutés sur une période de 7 mois, allant d'août 2022 à février 2023. Sur la base d'un échantillonnage non probabiliste par commodité, les données quantitatives sociodémographiques, économiques, comportementales de même que les antécédents ont été recueillies à partir d'un questionnaire. Le volet qualitatif a permis de recueillir les perceptions et motivations des enquêtés, dans le but purement descriptif, afin d'explicitier les données recueillies par l'enquête quantitative. L'analyse et le traitement des données ont été faits avec le logiciel SPSS 25. Le seuil de significativité a été fixé à 5%. La régression logistique a été utilisée pour identifier les facteurs associés. Les données qualitatives, après transcription, ont bénéficié d'une analyse de contenu thématique. L'utilisation régulière du préservatif concernait moins de 5% des enquêtés. Dans cette population d'utilisateurs réguliers du préservatif, les jeunes (71,43%) et les femmes (85,71%) étaient les plus représentés. La plupart d'entre eux (71,43%) avaient un niveau d'instruction secondaire et plus, avaient un revenu inférieur à 50.000 francs CFA (64,28%), étaient mariés (85,71%) et polygames dans 57,14% des cas. Près de 29% des sujets utilisant systématiquement le préservatif dans leur couple étaient testés positifs pour l'hépatite B et 21,43% démontraient une mauvaise observance du traitement antiretroviral (TAR). Les facteurs associés à l'utilisation régulière du préservatif étaient : l'attitude des personnes vivant avec le VIH (PVVIH) face à la maladie ($p = 0,039$) et le stade clinique de l'infection ($p = 0,007$). Les facteurs facilitant l'utilisation régulière du préservatif étaient : une utilisation du préservatif antérieure au dépistage positif, les recommandations insistantes des agents de santé, la gratuité des préservatifs, la communication saine sur le VIH dans le couple, et les menaces des conjoints. Quant aux barrières retrouvées, il s'agissait de : l'absence de partage du statut sérologique avec le conjoint, la mauvaise perception de l'usage du préservatif dans un couple stable, le déni de la maladie ou la banalisation du risque de transmission et le besoin de prouver à l'autre son amour et sa confiance. Des actions de sensibilisation doivent être menées à l'endroit de la population générale afin

d'améliorer en amont de l'infection la perception de l'utilisation du préservatif au sein du couple.

Mots-clés: Préservatif ; utilisation régulière ; couple sérodiscordant ; VIH ; Bénin

Regular condom use by HIV-serodiscordant couples in Benin

Djossou Sègnon Eurydice Elvire
Tokpanoude Coovi Nonwanou Ignace

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

Georgia Damien Barikissou

Centre de Formation et de Recherche en matière de Population,
Université d'Abomey-Calavi, Cotonou

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

Ahanhanzo-Glele Rhonel

Centre d'Information, de Prospective, d'Ecoute et de Conseil sur les IST/VIH/Sida –
Borgou/Alibori

Agossoukpe Benoît Sedegnon

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

Chabi Boum Orou Bodeidjo Méré

Organisation pour le Développement Durable, le Renforcement et l'Auto-promotion des
Structures communautaires

Agbokpela Blaise Gildas

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

Service de Santé Publique et Riposte, Direction Départementale de la Santé du Couffo,
Aplahoué, Bénin

Etchiha Koudénoukpo Fulgence Pédis

Gnonlonfoun Raphael

Institute of Tropical Medicine Antwerp Alumni, Antwerp, Belgium

Ponou Amalia Nicole

Aguemon Badirou

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

Abstract

Condom use in HIV-serodiscordant couples is an effective and widely recommended prevention strategy, complementing other prevention methods. The aim of this study was to determine the prevalence and factors associated with regular condom use among serodiscordant couples, and to describe the reasons for adopting or not adopting this behavior. It was carried out at care

sites in the city of Parakou, in northeastern Benin. It was a mixed quantitative and qualitative multicenter cross-sectional study. Participants meeting the inclusion criteria were recruited over a 7-month period from August 2022 to February 2023. Based on non-probability sampling for convenience, quantitative socio-demographic, economic, behavioral and background data were collected using a questionnaire. As for the qualitative component, the aim was to collect the perceptions and motivations of the respondents, for descriptive purposes, in order to clarify the data collected by the quantitative survey. Data were analyzed and processed using SPSS 25 software. The significance level was set at 5%. Logistic regression was used to identify associated factors. After transcription, qualitative data were subjected to thematic content analysis. Regular condom use concerned less than 5% of respondents (4.68%). In this population of regular condom users, young people (71.43%) and women (85.71%) were the most represented. Most of them (71.43%) had a secondary education or higher, had an income of less than 50,000 CFA francs (64.28%), were married (85.71%) and polygamous in 57.14% of cases. Nearly 29% of subjects who systematically used condoms in their relationship tested positive for hepatitis B, and 21.43% showed poor compliance with ART. Factors associated with regular condom use were: Persons living with HIV's attitude to the disease ($p = 0.039$) and clinical stage of infection ($p = 0.007$). Factors facilitating regular condom use were: habitual condom use prior to positive testing, insistent recommendations from health workers, free condoms, healthy communication about HIV within the couple, and threats from HIV-negative spouses. As for the barriers found, these were: failure to share serostatus with the partner, bad perception of condom use in a stable couple, denial of the disease or trivialization of the risk of transmission, and the need to prove love and trust to the partner. Public awareness campaigns are needed to improve the general perception of condom use within couples.

Keywords: Condom; regular use; serodiscordant couple; HIV; Benin

Introduction

En Afrique sub-saharienne, on considère que dans les pays à faible prévalence de l'infection par le virus de l'immunodéficience humaine (VIH), environ 3 partenariats touchés sur 4 sont discordants ; tandis qu'un partenariat sur deux est concerné dans les pays à forte prévalence d'infection par le VIH (Chemaitelly et al., 2012). L'utilisation correcte et régulière du préservatif au sein de ces couples reste une des stratégies les plus largement recommandées pour limiter la transmission sexuelle du virus, surtout en début de traitement. Le risque de transmission du VIH est considérablement plus faible chez les couples qui utilisent toujours des préservatifs par rapport aux couples qui n'en

utilisent jamais (Giannou et al., 2016). Une analyse de modélisation mondiale estime que les préservatifs ont permis d'éviter environ 50 millions de nouvelles infections à VIH depuis le début de l'épidémie de VIH (*UNFPA, OMS et ONUSIDA, 2015*). Une utilisation régulière de préservatifs pour chaque acte de pénétration vaginale permet une réduction de 80 % de l'incidence du VIH (Weller & Davis, 2002). Par conséquent, l'usage du préservatif est fortement recommandé au sein des couples sérodiscordants, en complément aux autres méthodes de prévention du VIH, notamment le traitement antirétroviral (TAR) et la prophylaxie pré-exposition (PPrE ou PrEP en anglais) (*UNFPA, OMS et ONUSIDA, 2015*). Pour accompagner cette recommandation, les PVVIH reçoivent des dotations mensuelles de préservatifs. Mais dans la réalité des faits, le statut discordant de ces couples implique une négociation des rapports sexuels et les stratégies de prévention les plus utilisées comprennent : l'utilisation du préservatif, l'abstinence et la séparation des lits, les accords contractuels pour les partenaires sexuels extérieurs et la cessation des relations (Bunnell et al., 2005; Sawadogo & Djakpa, 2022). Pour Delor (1999), le risque subjectif lié à l'usage du préservatif est de perdre l'essence de la relation amoureuse. La dimension métaphorique de la réception du sperme ou du contact intime sont susceptibles de définir l'autre comme idéal, tandis que le préservatif rappelle que le partenaire est « anormal » ou a perdu son caractère « exceptionnel » ou « idéal ». Dans le contexte africain, l'utilisation du préservatif est associée aux relations extraconjugales ou occasionnelles (Desgrées du Loû, 2014). Dans une étude qualitative menée en Tanzanie et en Afrique du Sud, Rispel et al. rapportaient que l'utilisation du préservatif était source de tension au sein des couples, notamment du fait de la perte de spontanéité, de la diminution de la libido, de la moindre fréquence des rapports sexuels, du conflit entre le désir d'enfant et le souci de protéger son partenaire et de la peur d'infecter le partenaire malgré tout (Rispel et al., 2011). Tout ceci explique que des taux assez bas d'utilisation du préservatif au dernier rapport sexuel de 10% à 13% rapportés respectivement par Anand et al. (2009) et Bunnell et al. (2008) en Afrique australe. Au Bénin, les données récentes font état d'un taux d'utilisation du préservatif de 36% chez les jeunes de 15 à 24 ans (Banque Mondiale, 2014). Cependant, peu de données sont disponibles quant aux personnes infectées par le VIH entretenant des relations discordantes à long terme, malgré qu'il s'agisse d'une cible prioritaire pour les programmes de riposte. L'objectif de cette étude était de déterminer la prévalence et les facteurs associés de l'utilisation régulière du préservatif et d'en décrire les motivations au sein des couples sérodiscordants dans la ville de Parakou, au nord-est du Bénin.

Cadre et Methode d'Etude

Cette étude s'est déroulée sur les sites agréés pour la prise en charge et la prévention du VIH/SIDA de la ville de Parakou, au nord-est du Bénin. Il s'agissait d'une étude transversale mixte. Le volet quantitatif a consisté en l'administration directe, au cours d'une entrevue face-à-face, d'un questionnaire structuré permettant de recueillir les données socio-démographiques, les antécédents, les habitudes sexuelles, les connaissances sur les moyens de prévention et de transmission du virus et l'état des patients. Quant au volet qualitatif, il a permis d'explorer, par le biais d'un guide d'entretien, les perceptions des enquêtés sur l'utilisation du préservatif au sein du couple et les raisons motivant les comportements qui y sont liés. Ce volet qualitatif, purement descriptif, avait pour objectif d'explicitier les données quantitatives recueillies.

Sur la base d'un échantillonnage non probabiliste par commodité, les participants à l'enquête quantitative ont été recrutés sur la période de 7 mois, allant d'août 2022 à février 2023. La taille minimale de l'échantillon, calculée à partir de la formule de SCHWARTZ (en considérant la prévalence de 13% rapportée par Bunnel) était de **174 participants**. Les sujets répondant aux critères d'inclusion suivants ont été retenus : personne vivant avec le VIH (PVVIH) d'âge supérieur ou égal à 18 ans ; reçue pour son contrôle clinique et/ou l'approvisionnement en ARV sur un des sites de la ville de Parakou pendant la période d'étude et ayant donné son consentement. Le niveau de confiance était fixé à 95 %, le taux de non-réponse à 10 %, la précision ou marge d'erreur a été fixée à 5 %.

Les données qualitatives ont été recueillies auprès de participants sélectionnés au hasard, parmi les précédents, selon des profils variés et sur des sites différents, permettant d'obtenir une plus grande richesse des éléments de réponse. Le guide d'entretien leur a donc été appliqué, à la suite du questionnaire quantitatif. La taille de l'échantillon a été déterminée par le principe de saturation. Deux catégories de cibles ont ainsi été enquêtées : les participants qui utilisaient le préservatif de manière régulière et ceux qui ne l'utilisaient pas.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS 25. Les données recueillies ont bénéficié d'un tri à plat et de calculs de mesures d'associations. Les variables ont été comparées à l'aide des tests Chi-2 de Pearson (pour les effectifs théoriques > 5) ou de Fisher (pour les effectifs théoriques ≤ 5). Les variables présentant un lien statistique inférieur à 20% ont été introduites dans un modèle de régression logistique afin d'identifier les facteurs associés à l'utilisation régulière du préservatif au sein des couples. Toutes les données recueillies étaient déclaratives, à l'exception des données cliniques et biologiques qui ont bénéficié d'une confrontation aux données inscrites dans les dossiers médicaux individuels des participants.

Définition opérationnelle des variables

Dans le cadre de la prévention de la transmission hétérosexuelle du VIH, l'**utilisation régulière du préservatif** est définie par l'usage d'un préservatif masculin ou féminin pour chaque acte de pénétration sexuelle avec son conjoint au cours des six derniers mois. Dans le cas de la présente étude, seule l'utilisation du préservatif masculin a été explorée, sans préjuger de sa bonne utilisation.

Les **ethnies autochtones** étaient celles historiquement présentes dans le département du Borgou en général et la ville de Parakou en particulier. Il s'agissait des groupes ethniques : bariba, peulh, nagot et dendi. Les **ethnies non autochtones** sont celles qui ne sont historiquement pas de lien avec le département du Borgou ou la ville de Parakou telles que : fon, adja, otamari, yoa-lokpa, biairi et les ethnies de pays étrangers.

Le **statut matrimonial** « marié » correspondait à l'existence d'un engagement de type formel entre les partenaires. Il peut s'agir d'une union de type traditionnel, civil ou religieux. Ainsi, sont considérés « non mariés » les enquêtés en couple sans formalisation, en concubinage, en séparation ou veufs.

La **polygamie** se décrit ici comme le fait pour un sujet de sexe masculin d'entretenir plusieurs relations stables de longue durée simultanément, avec ou sans formalisation pour l'une des partenaires et avec ou sans enfant. Les femmes dans des relations polygames sont celles dont le conjoint répond à cette définition. Il s'agit d'une polygamie de fait puisqu'elle n'est pas autorisée par les textes en vigueur en République du Bénin.

Resultats

Au total, sur la période d'étude, 299 participants hétérosexuels vivant en couple sérodiscordant ont consenti à participer à l'étude. Parmi eux, 18 ont été enquêtés sur les perceptions et les pratiques en relation avec l'utilisation régulière du préservatif au sein de leur couple. Il s'agissait de 7 femmes et 11 hommes, 5 qui utilisaient le préservatif de manière régulière dans leur couple et 13 qui ne l'utilisaient pas du tout ou parfois.

Prévalences

Au moment de l'étude, 97,66% des participants étaient sexuellement actifs. L'utilisation globale du préservatif concernait 132 couples, soit 44,15% de l'échantillon. La plupart des enquêtés en faisaient un usage rare (12,71%) ou fréquent (26,76%). L'utilisation régulière du préservatif pour chaque acte de pénétration vaginale n'avait concerné que 4,68% des sujets enquêtés. Seulement 75 enquêtés (25,08%) ont déclaré avoir utilisé un préservatif lors du dernier rapport sexuel.

Caractéristiques descriptives de la population d'étude et des utilisateurs réguliers du préservatif

Caractéristiques socio-démographiques

La plupart des utilisateurs réguliers du préservatif étaient dans la tranche d'âge de 30 à 49 ans (71,43%) et de sexe féminin (85,71%), suivant la répartition de la population d'étude. Si les niveaux d'instruction secondaire puis primaire étaient les plus représentés tant chez les enquêtés que chez les conjoints au sein de la population d'étude, les utilisateurs réguliers du préservatif avaient tous au minimum le niveau primaire. La grande majorité des enquêtés comme des utilisateurs réguliers du préservatif résidaient en milieu urbain et avaient un revenu inférieur à 50.000 francs CFA.

Les enquêtés utilisant systématiquement le préservatif étaient mariés dans 85,71% des cas, sous un régime polygame dans 57,14% des cas.

Tableau I: Caractéristiques socio démographiques des enquêtés et des utilisateurs réguliers du préservatif - Parakou, 2023

	Effectif (%)	
	Population d'étude N = 299	Utilisateurs réguliers du préservatif n = 14
Tranches d'âge (années)		
[18 - 29]	70 (23,41)	3 (21,43)
[30 - 49]	194 (64,88)	10 (71,43)
[50 - 76]	35 (11,71)	1 (7,14)
Sexe		
Masculin	59 (19,73)	2 (14,29)
Féminin	240 (80,27)	12 (85,71)
Ethnie		
Autochtone	177 (59,20)	7 (50,00)
Non autochtone	122 (40,80)	7 (50,00)
Religion		
Endogène	7 (2,34)	-
Christianisme	145 (48,49)	8 (57,14)
Islamisme	147 (49,16)	6 (42,86)
Niveau d'instruction de l'enquêté(e)		
Aucun	79 (26,42)	-
Primaire	92 (30,77)	4 (28,58)
Secondaire	100 (33,45)	5 (35,71)
Supérieur	28 (9,36)	5 (35,71)
Niveau d'instruction du conjoint		
Aucun	68 (22,74)	1 (7,14)
Primaire	79 (26,42)	2 (14,29)
Secondaire	104 (34,78)	5 (35,71)
Supérieur	48 (16,06)	6 (42,86)
Milieu de résidence		
Urbain	267 (89,30)	11 (78,57)
Rural	32 (10,70)	3 (21,43)
Niveau de revenu (FCFA)		

	Effectif (%)	
	Population d'étude N = 299	Utilisateurs réguliers du préservatif n = 14
[0 – 50.000[	229 (76,59)	9 (64,28)
[50.000 – 100.000[	48 (16,05)	3 (21,43)
[100.000 – 340.000]	22 (7,36)	2 (14,29)
Situation matrimoniale		
Non marié	69 (23,08)	2 (14,29)
Marié	230 (76,92)	12 (85,71)
Type de ménage		
Monogame	196 (65,55)	6 (42,86)
Polygame	103 (34,45)	8 (57,14)

Antécédents médicaux et caractéristiques cliniques

Une plus grande proportion des utilisateurs réguliers du préservatif étaient testés positif pour l'hépatite virale B (28,57%) contre 8,36% dans la population d'étude. L'antécédant d'IST a été signalé par 12,71% de la population d'étude et 7,14% des utilisateurs réguliers du préservatif. La plupart des enquêtés dans les deux groupes étaient infectés depuis 1 à 5 ans et étaient en couple depuis au moins de 5 ans.

Les couples dans lesquels le partage du statut sérologique avait été fait utilisaient systématiquement le préservatif dans une plus grande proportion que ceux qui vivaient dans le silence de leur statut vis-à-vis de leur conjoint. L'acceptation du statut sérologique était prédominante dans les deux groupes (supérieure à 71%) ; la charge virale indétectable aussi (plus de 83%). Cependant, une plus grande proportion d'utilisateurs de préservatif en étaient au stade 3 ou 4 de la maladie (28,57% contre 7,69% dans la population d'étude) et présentaient une mauvaise observance du TAR (21,43% contre 14,05% dans la population d'étude).

Tableau II : Répartition des enquêtés selon leurs antécédents - Parakou, 2023

	Effectif (%)	
	Population d'étude N = 299	Utilisateurs réguliers du préservatif n = 14
Hépatite virale B		
Testé négatif	234 (78,26)	10 (71,43)
Testé positif	25 (8,36)	4 (28,57)
Non testé	40 (13,38)	-
Infection sexuellement transmissible		
Non	261 (87,29)	13 (92,86)
Oui	38 (12,71)	1 (7,14)
Durée de l'infection (mois)		
[6 – 12[	38 (12,71)	3 (21,43)
[12 – 60[	136 (45,48)	6 (42,86)
[60 – 120[	70 (23,41)	1 (7,14)

	Effectif (%)	
	Population d'étude	Utilisateurs réguliers du préservatif
	N = 299	n = 14
[120 – 264]	55 (18,39)	4 (28,57)
Durée de la relation de couple (mois)		
[7 – 60[	86 (28,76)	5 (35,71)
[60 – 120[	80 (26,76)	4 (28,57)
[120 – 240[	88 (29,43)	3 (21,43)
[240 – 520]	45 (15,05)	2 (14,29)
Partage du statut sérologique avec le conjoint		
Non	156 (52,17)	5 (35,71)
Oui	143 (47,83)	9 (64,29)
Attitude face à la maladie		
Acceptation	254 (84,94)	10 (71,42)
Déni/Banalisation	21 (7,02)	2 (14,29)
Dramatisation	10 (3,34)	2 (14,29)
Etat clinique		
Bon	281 (93,98)	13 (92,86)
Mauvais	18 (6,02)	1 (7,14)
Stade clinique du patient (OMS)		
Stade 1	239 (79,93)	9 (64,28)
Stade 2	37 (12,37)	1 (7,14)
Stade 3&4	23 (7,69)	4 (28,57)
Charge virale		
DéTECTABLE	48 (16,05)	2 (14,29)
IndéTECTABLE	251 (83,95)	12 (85,71)
Observance du traitement		
Bonne	257 (85,95)	11 (78,57)
Mauvaise	42 (14,05)	3 (21,43)

Etat des connaissances et comportements

L'évaluation de l'état des connaissances des enquêtés sur l'infection à VIH a révélé que la plupart d'entre eux dans les deux groupes dans des proportions similaires avaient connaissance que le préservatif était un moyen de prévention de la transmission de l'infection. Mais très peu avaient connaissance du rôle préventif du traitement anti rétroviral (moins de 7,14%) et peu voire aucun connaissait l'existence de la prophylaxie pré exposition (moins de 2%).

La violence sur son partenaire intime, qu'elle soit d'ordre physique, psychologique ou sexuelle a été signalée dans une plus grande proportion dans le groupe des utilisateurs réguliers du préservatif.

Tableau III: Description de l'état des connaissances et des comportements enquêtés - Parakou, 2023

	Effectif (%)	
	Population d'étude N = 299	Utilisateurs réguliers du préservatif n = 14
Connaissance du préservatif comme moyen de prévention		
Non	22 (7,36)	1 (7,14)
Oui	277 (92,64)	13 (92,86)
Connaissance de la TAR comme moyen de prévention		
Non	281 (93,98)	13 (92,86)
Oui	18 (6,02)	1 (7,14)
Connaissance de la PrEP comme moyen de prévention		
Non	293 (97,99)	14 (100,0)
Oui	6 (2,01)	-
Usage problématique d'alcool		
Non	247 (82,61)	11 (78,57)
Oui	52 (17,39)	3 (21,43)
Usage problématique de tabac		
Non	290 (96,99)	13 (92,86)
Oui	9 (3,01)	1 (7,14)
Violence conjugale physique		
Non	284 (94,98)	13 (92,86)
Oui	15 (5,02)	1 (7,14)
Violence conjugale psychologique		
Non	256 (85,62)	11 (78,57)
Oui	43 (14,38)	3 (21,43)
Violence conjugale sexuelle		
Non	287 (95,99)	12 (85,71)
Oui	12 (4,01)	2 (14,29)

Caractéristiques liées à la sexualité des couples

Les rapports sexuels de type vaginal étaient pratiqués par tous les sujets (100% des cas). Cependant, une plus grande proportion d'utilisateurs de préservatif pratiquait en plus le sexe anal (14,29%) et oral (7,14%) en comparaison à la population d'étude (respectivement 0,67 et 14,29%). Les utilisateurs du préservatif étaient plus souvent que les autres satisfaits de leur relation de couple (92,86% contre 80,27%) mais ressentaient une satisfaction sexuelle dans une moindre proportion (78,57% contre 82,95%). La fréquence des rapports sexuels était ainsi en augmentation dans leur couple dans une plus grande proportion (14,29% contre 2,68%). L'existence de partenaires sexuels multiples était uniformément répartie dans les deux groupes mais les utilisateurs réguliers du préservatif entretenaient des relations sexuelles avec des partenaires occasionnels dans une moindre proportion que dans la

population d'étude. Aussi, Les utilisateurs réguliers du préservatif ressentaient le désir d'enfants dans une moindre proportion que dans la population d'étude (57,14%).

Tableau IV: Caractéristiques liées à la sexualité - Parakou, 2023

	Effectif (%)	
	Population d'étude N = 299	Utilisateurs réguliers du préservatif n = 14
Type de rapport sexuel pratiqué		
Vaginal seul	291 (97,32)	11 (78,57)
Vaginal + Oral	6 (2,01)	1 (7,14)
Vaginal + Anal	2 (0,67)	2 (14,29)
Satisfaction de la relation de couple		
Non	59 (19,73)	1 (7,14)
Oui	240 (80,27)	13 (92,86)
Satisfaction sexuelle dans le couple		
Non	51 (17,05)	3 (21,43)
Oui	248 (82,95)	11 (78,57)
Fréquence des rapports sexuels au sein du couple		
Habituelle	215 (71,91)	9 (64,28)
En baisse	69 (23,08)	3 (21,43)
En augmentation	8 (2,68)	2 (14,29)
Arrêt des rapports sexuels	7 (2,34)	-
Baisse de la libido au sein du couple		
Non	176 (58,86)	10 (71,43)
Oui	123 (41,14)	4 (28,57)
Partenariats sexuels multiples		
Non	235 (78,60)	11 (78,57)
Oui	64 (21,40)	3 (21,43)
Partenariats sexuels occasionnels		
Non	137 (45,82)	8 (57,14)
Oui	162 (54,18)	6 (42,86)
Désir d'enfants		
Non	99 (33,11)	6 (42,86)
Oui	200 (66,89)	8 (57,14)
Difficultés de procréation		
Non	247 (82,61)	11 (78,57)
Oui	52 (17,39)	3 (21,43)

Facteurs associés à l'utilisation régulière du préservatif au sein des couples sérodiscordants de la ville de Parakou en 2023

En analyse univariée, les variables présentant un lien statistiquement significatif avec l'utilisation régulière du préservatif au sein des couples sérodiscordants, aux seuils $\alpha = 5\%$ et $\alpha = 20\%$ sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau V: Variables incluses dans le modèle de régression logistique – Parakou, 2023

	Utilisation régulière du préservatif		OR (IC95%)	p
	Non	Oui		
Type de ménage*				0,067
Monogame	190 (63,55)	6 (2,01)	1	
Polygame	95 (31,77)	8 (2,68)	2,67 (0,90 – 7,91)	
Milieu de vie*				0,179
Urbain	256 (85,62)	11 (3,68)	1	
Rural	29 (9,70)	3 (1,00)	2,41 (0,64 – 9,13)	
Niveau d'instruction du conjoint**				0,047
Aucun	67 (22,41)	1 (0,33)	1	
Primaire	77 (25,75)	2 (0,67)	1,74 (0,15 – 19,62)	
Secondaire	99 (33,11)	5 (1,67)	3,38 (0,39 - 29,62)	
Supérieur	42 (14,05)	6 (2,01)	9,57 (1,11 – 82,32)	
ATCD d'hépatite virale**				0,020
Non	224 (74,92)	10 (3,34)	1	
Oui	21 (7,02)	4 (1,34)	5,03 (1,45 – 17,41)	
Ne sait pas	40 (13,38)	-		
Attitude face à la maladie*				0,111
Acceptation	254 (84,95)	10 (3,34)	1	
Déni/Banalisation	21 (7,02)	2 (0,67)	2,42 (0,50 -11,77)	
Dramatisation	10 (3,34)	2 (0,67)	5,08 (0,98 – 26,30)	
Stade clinique de l'OMS**				0,025
Stade 1	230 (76,92)	9 (3,01)	1	
Stade 2	36 (12,04)	1 (0,33)	0,71 (0,09 -5,77)	
Stade 3 et 4	19 (6,35)	4 (1,34)	5,38 (1,52 – 19,11)	
Observance thérapeutique**				0,031
Mauvaise	35 (11,71%)	7 (2,34%)	1	
Bonne	170 (56,85%)	87 (29,10%)	2,56 (1,09 – 6,00)	
Connaissance du préservatif comme moyen de prévention**				0,033
Non	20 (6,69%)	2 (0,67%)	1	
Oui	185 (61,87%)	92 (30,77%)	4,97 (1,14 – 21,73)	
Recherche active d'informations sur VIH**				0,012
Non	45 (15,05%)	9 (3,01%)	1	
Oui	160 (53,51%)	85 (28,43%)	2,66 (1,24 – 5,69)	
Partage du statut avec le conjoint**				0,006
Non	118 (39,46%)	38 (12,71%)	1	
Oui	87 (29,10%)	56 (18,73%)	1,99 (1,22 – 3,28)	
Satisfaction de la relation de couple**				0,001

	Utilisation régulière du préservatif		OR (IC95%)	p
	Non	Oui		
Non	52 (17,39%)	7 (2,34%)	1	
Oui	153 (51,17%)	87 (29,10%)	4,22 (1,84 – 9,70)	
Violences sexuelles*				0,103
Non	275 (91,97)	12 (4,01)	1	
Oui	10 (3,34)	2 (0,67)	4,58 (0,90 – 23,26)	
Type de rapport sexuel pratiqué dans le couple**				0,006
Rapport vaginal seul	280 (93,65)	11 (3,68)	1	
Rapport vaginal + anal	1 (0,33)	1 (0,33)	25,45 (1,49 – 4,34)	
Rapport vaginal + oral	4 (1,34)	2 (0,67)	12,73 (2,10 – 77,08)	

*Variables statistiquement significatives au seuil $\alpha = 5\%$

**Variables statistiquement significatives au seuil $\alpha = 20\%$

Toutes ces variables ont été introduites dans un modèle de régression logistique et les facteurs retenus par celui-ci comme associés à l'utilisation régulière du préservatif au sein des couples sérodiscordants de la ville de Parakou en 2023 étaient : l'attitude des PVVIH face à la maladie ($p = 0,039$) et le stade clinique de l'infection ($p = 0,007$) (cf tableau VI).

Tableau VI: Facteurs associés à l'utilisation régulière du préservatif au sein des couples sérodiscordants - Parakou, 2023

	Analyse univariée		Analyse multivariée	
	ORb (IC95%)	p	ORa (IC95%)	p
Attitude face à la maladie		0,111		0,039
Acceptation	1		1	
Déni/banalisation	2,42 (0,50 – 11,77)	0,274	2,33 (0,42 – 12,86)	0,331
Dramatisation	5,08 (0,98 – 26,30)	0,053	7,00 (1,26 – 38,89)	0,026
Stade clinique (OMS)		0,025		0,007
Stade 1	1		1	
Stade 2	0,71 (0,09 – 5,77)	0,749	0,63 (0,07 – 5,58)	0,680
Stades 3&4	5,38 (1,51 – 19,11)	0,009	8,00 (2,08 – 30,84)	0,003

ORb : Odd Ratio brut ; ORa : Odd Ratio ajusté ; IC : intervalle de confiance

Perceptions des enquêtés sur l'utilisation du préservatif

Les préservatifs masculins étaient connus de tous les participants entretenus sur le sujet. Les perceptions des enquêtés sur l'utilisation du préservatif étaient diverses mais dans la plupart des cas, utilisation de préservatif au sein du couple était mal perçue (69,56%) et associée aux relations occasionnelles ou débutantes. Pour d'autres, le préservatif constituait « un tue-l'amour » qui n'avait pas sa place au sein d'une famille en construction. Pour ceux qui l'utilisaient de manière occasionnelle, il s'agissait le plus souvent d'un moyen de contraception (27,27%) ou après une

sensibilisation au cours d'un rendez-vous de contrôle. Au total, 12,12% des enquêtés qui utilisaient le préservatif évoquaient la charge virale indétectable.

Monsieur D, 42 ans, artisan, dépisté après une longue maladie il y a 6 ans, nous explique : « Avant, quand j'avais une copine, au début on utilise le préservatif. Mais si ça veut devenir sérieux, je lui demande d'aller faire ses tests de VIH et hépatite et si c'est négatif, on laisse tomber le préservatif. Bon, c'est comme ça que je gérais. Je ne sais pas comment la maladie-là est arrivée chez moi »

Madame I, 33 ans, revendeuse, dépistée au décours d'un dépistage volontaire il y a 8 ans, raconte : « Quand je lui ai dit qu'on a dit à l'hôpital d'utiliser le préservatif pour qu'il ne soit pas contaminé, il m'a dit que s'il veut utiliser ça, qu'il ira voir les putes là. Que lui, il s'en fout de préservatif. Que de bien prendre mon traitement seulement »

Monsieur Dx, 46 ans, chauffeur, dépisté il y a 10 ans au décours d'un dépistage volontaire : « Moi, vous savez, le préservatif, je l'utilisais quand j'avais des copines. Même avec ma femme, on a utilisé ça au début de notre relation. Mais à partir du moment que j'ai décidé de me caser là, le préservatif, ce n'est plus d'actualité. Dans le couple, si c'est pour du sérieux, le préservatif n'a plus sa place. Peut-être, c'est l'erreur qu'on a fait ça, on aurait dû l'utiliser. Mais vraiment, ça aurait été difficile »

Pour d'autres, l'utilisation du préservatif au sein de leur couple sérodiscordant relevait plus de la contraception que de la prévention de la transmission des IST dont le VIH/Sida.

Madame C, 32ans, dépistée en CPN il y a 4 ans, ménage polygame : « On m'a donné les préservatifs à l'hôpital, mais mon mari a refusé d'utiliser. Mais quand je lui dis, je suis dans la période rouge (période ovulatoire), s'il sait qu'il ne peut pas sortir à temps (coït interrompu) c'est lui-même qui va chercher ça. Mais à part ça, il refuse ».

Parfois, l'obligation d'utiliser le préservatif a des conséquences sur la dynamique des couples. C'est ce que nous expliquait **Madame Z, 31 ans, dépistée il y a 4 ans en CPN :**

« C'est lui-même qui ramène souvent le sujet du préservatif. Il dit que ce n'est pas facile pour lui. Ce n'est pas facile, que lui fait de son mieux mais qu'il n'arrive pas. Ça le décourage. Et c'est vrai depuis tout ce temps qu'on a fait là, c'est avec préservatif qu'on gère. A cause de ça, il a pris une deuxième femme, en tout cas c'est ce qu'il m'a dit. Avec moi, c'est devenu obligation, à peine on se couche une fois dans 2 ou 3 mois ».

Une dernière catégorie de participants percevait le préservatif comme responsable des dysfonctions sexuelles installées depuis l'annonce du résultat. C'est le cas de **Monsieur A, 26 ans, dépisté au décours d'une IST il y a 2**

ans : « Franchement, moi j'ai arrêté d'utiliser le préservatif là inh. Je n'aime pas ça. D'ailleurs, les seules fois où j'ai voulu tenter, ça affaiblit mon érection. Donc je suis obligé de bien prendre les produits, il paraît que c'est la seule manière pour ne pas la contaminer. C'est difficile mais c'est un prix à payer pour être toujours un homme, bon, continuer à être viril, quoi ».

Les raisons de l'utilisation régulière du préservatif

Près de 80% des participants qui ont déclaré utiliser le préservatif pour chaque acte de pénétration sexuelle avec leur partenaire stable ne l'utilisaient pas à la même fréquence avant le dépistage et le partage du statut sérologique. Deux couples l'utilisaient par moment, comme moyen de contraception et deux autres couples pour tester de nouvelles sensations et varier les plaisirs. Seul un participant a déclaré déjà utiliser régulièrement le préservatif avant de partager son statut.

Il s'agit de **Mademoiselle Ix, 23 ans, dépistée lors d'un don de sang il y a 2 ans** : « Bon, à l'époque, quand on s'était rencontré, il était étudiant et moi je venais d'avoir mon BAC. J'habitais encore chez mes parents donc pas question de tomber enceinte. Donc on utilisait déjà les préservatifs là... Quand je lui ai dit que j'avais telle maladie, et qu'on devait toujours utiliser le préservatif, bon ce n'était pas un problème. On était habitué... »

Pour les autres, l'utilisation constante du préservatif a été l'aboutissement de négociation, parfois sur fond de menaces.

Monsieur H, 48 ans, marié depuis 19 ans, raconte : « Bon, avant j'avais deux femmes. Donc, quand j'ai appris pour la maladie, j'ai dit à la première et elle est partie, ça n'a même pas fait 3 mois. Je ne connais même pas son résultat... Donc, je n'ai plus dit à l'autre. Je l'ai emmenée faire bilan de santé et j'ai dit au docteur de faire analyse de VIH, c'est sorti négatif. A un moment, j'avais laissé le traitement de l'hôpital là pour faire traditionnel. C'est là j'ai commencé par être malade... J'étais obligé de dire ça à ma femme. A partir de là, elle a dit sans préservatif, de ne plus venir me coucher à côté d'elle. Je croyais que c'était la blague mais elle a menacé qu'elle va partir. J'étais obligé d'accepter ».

Pour Monsieur Cx, 41 ans, marié depuis 16 ans, nous confie : « moi, ma femme, elle a trop peur inh. Rires.. Chaque fois, quand on va à l'église, elle prie pour que Dieu me guérisse. Mais bon, préservatif là maintenant, c'est devenu obligatoire. Elle a trop peur, que si elle est contaminée et qu'elle meurt, à qui elle va laisser ses enfants ? Des trucs comme ça... Moi je la comprends, donc on utilise ».

Pour les participants qui n'ont pas partagé leur statut sérologique avec leur partenaire, il fallait parfois se montrer ingénieux et même risquer sa relation. C'est le cas de **Madame Cy, 38 ans, revendeuse et mariée depuis 10 ans**: « moi, mon mari, je l'aime inh, je ne veux pas le contaminer... C'est

quelqu'un, il ne garde pas de secret. Or, sa famille ne m'aime pas donc je ne veux pas qu'ils entendent ça. C'est pour ça que je ne lui ai rien dit... Comme c'est arrivé comme ça, j'ai trouvé un prétexte : que la vie est dure, que le monde est grave, que toutes mes copines ont attrapé syphilis ou bien gonococcie, que sans préservatif, plus de sexe inh.. Ah ! Pour le moment, ça va. Il fait avec. Chaque fois, je suis obligée de chercher quoi lui dire. Ma prière, qu'il ne commence pas par aller voir au dehors à cause de ça ».

Parmi les raisons qui motivent les participants à utiliser le préservatif, le rôle majeur du système de santé est à souligner. En effet, l'encadrement dont bénéficient les couples sérodiscordants, l'accompagnement des PVVIH pour le partage de leur statut sérologique au sein du couple et le dépistage des conjoints, les séances d'IEC personnalisées ou en focus group, dispensées à chaque contact (rendez-vous de suivi ou d'approvisionnement en ARV), la distribution gratuite des préservatifs de bonne qualité avec des lubrifiants à eau, ont un rôle incitatif non négligeable sur les cibles. C'est ce que nous confirme **Madame Dy, 37 ans, dépistée suite à un dépistage volontaire il y a 14 ans**, : « Au début, je ne savais vraiment pas comment lui parler de ça, c'était vraiment difficile. Mais avec les conseils de Maman (appellation affectueuse pour la sage-femme chargée du suivi, chaque fois elle discutait avec moi comment je vais annoncer ça à mon mari, comment l'amener à se protéger... Et chaque fois, elle me donnait les préservatifs et me disait de pardonner, d'utiliser ça pour ne pas le contaminer. Bon, tel qu'elle se gênait pour moi, je me suis sentie considérée, donc j'ai fait ce qu'elle a dit. Même quand mon mari ne veut pas, c'est moi qui lui parle, je me rappelle de ce que les mamans me disent là-bas et je lui explique les mêmes choses, et il finit par accepter. Actuellement, on a fini par s'habituer.. ».

En résumé, les facteurs facilitants retrouvés étaient : l'accessibilité des préservatifs (dotations mensuelles gratuites), l'incitation des agents de santé, la communication positive sur le VIH et l'habitude d'utiliser le préservatif avant le dépistage positif.

Les raisons de la non-utilisation régulière du préservatif

Les principales raisons évoquées par les enquêtés pour justifier la non-utilisation régulière du préservatif au sein de leur couple sont résumées par la figure 1 ci-après :

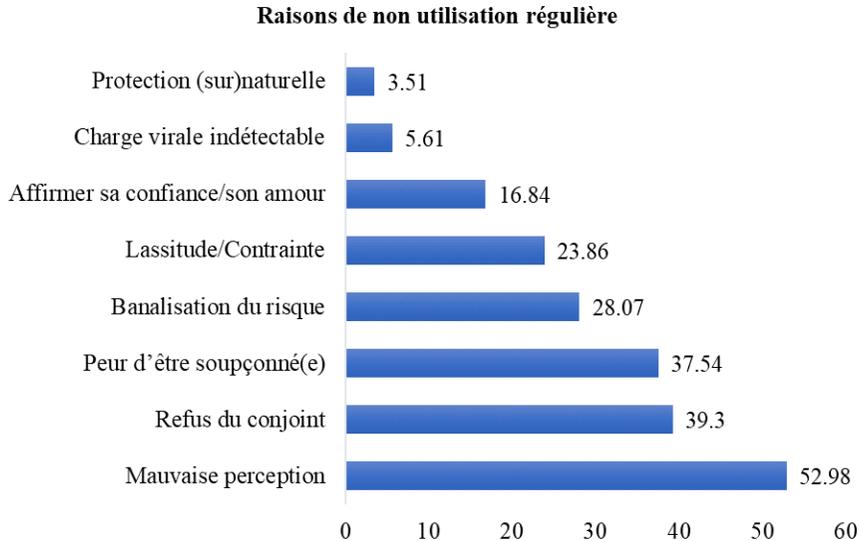


Figure 1: Raison de la non utilisation régulière du préservatif

Un frein important à l'utilisation régulière du préservatif au sein des couples sérodiscordants est le non partage du statut sérologique du sujet infecté à son conjoint séronégatif. En effet, le partage du statut sérologique est une condition importante pour la négociation du port constant du préservatif. Or, comment comprendre que son conjoint soit du jour au lendemain enclin à utiliser le préservatif à chaque rapport sexuel alors qu'on n'a pas été mis dans la confiance ? Le sujet peut ainsi être à l'origine de tensions.

Madame Az, 28 ans, dépistée en CPN il y a 7 ans : « Au début, je n'avais pas partagé mon statut sérologique avec mon mari. Et on faisait déjà sans préservatif depuis. Quand j'ai su que j'avais le VIH, on m'a donné les préservatifs mais je ne savais pas comment lui dire de commencer à utiliser. Il allait me soupçonner. Donc, j'ai évité les rapports pendant un moment. Comme j'étais enceinte, je lui ai dit qu'on l'appelle pour aller faire son test. Que lui-même sait que c'est une formalité. Donc il est allé faire le test et il m'a montré son résultat, c'était négatif. J'étais vraiment dépassée. Mais, je me suis dit, si depuis tout ce temps je ne l'ai pas contaminé, maintenant que j'ai commencé le traitement, ça va aller ».

Pour d'autres, le statut discordant en lui-même est à l'origine d'un déni de la maladie. Comment comprendre qu'on soit avec une personne infectée, avoir des relations non protégées depuis parfois des années et ne pas être soi-

même contaminé ? Ce déni conduit à un abandon des mesures de prévention, en premier lieu de port du préservatif. **Madame Rx, 44 ans, femme au foyer, dépistée en CPN il y a 18 ans**, nous confie : « la maladie là, il ne croit pas en ça. Parce que, comme j'ai fait plus de combien d'années avec lui et il va, il fait il ne voit pas. Donc malgré tout ça, il n'est pas contaminé, donc il ne croit plus... Donc, quand moi je parle, il ne croit pas ce que je dis ».

Pour un autre groupe, le conjoint séronégatif ressent le besoin de rassurer son partenaire sur ses sentiments et son engagement à poursuivre la relation malgré tout. Et ceci passe parfois par l'arrêt voire la non utilisation du préservatif.

Madame F, 38 ans, en concubinage depuis 15 ans, : « Quand on a commencé avec le préservatif, sincèrement, je ne supportais pas. Je pleurais seulement, et il était obligé d'arrêter parce qu'il croyait que c'était la douleur. Mais vraiment, la douleur était psychologique, je me voyais sale, comme si j'étais une pute... Il a utilisé ça quatre fois, avant de laisser. Il a dit que, pour me montrer qu'il a confiance en moi, il va laisser affaire de préservatif là... ».

Mademoiselle Ry, 26 ans, sans emploi, dépistée il y a un an en CPN : « Un jour, on a eu des rapports et il ne s'est pas protégé. Je lui ai demandé pourquoi il a fait ça et il m'a dit que c'est pour me prouver qu'il est, comme j'ai dit que je ne lui fais pas confiance là, que c'est pour me prouver qu'il est sérieux. Que si lui-même attrape ça, il ira prendre les comprimés aussi. C'est comme ça il a laissé ».

Ainsi, que la réticence vienne du partenaire infecté ou du conjoint séronégatif, les motivations sont diverses et font passer les questions psychologiques et conjugales avant le risque de transmission. Cela explique peut-être pourquoi, au vu des risques pris, la plupart de nos enquêtés soit 86% de notre échantillon présentait une bonne observance du TAR.

Il est à noter qu'aucun des enquêtés n'a mentionné l'accessibilité aux préservatifs comme une barrière à son utilisation régulière.

Discussion

Une prévalence faible

Dans notre étude, la prévalence de l'utilisation régulière du préservatif était de 4,68%. Cette prévalence est très faible pour que cette stratégie de prévention ait un impact positif important sur la réduction de la transmission sexuelle du VIH au sein des couples sérodiscordants. Notre résultat est similaire à celui retrouvé par Bunnell qui rapportaient que 84% des rapports sexuels non protégés concernaient les couples.

Les études réalisées en Afrique de l'Ouest montrent cependant des taux de prévalence beaucoup plus élevés, de 33,64% au Mali (Konaté et al., 2018); 34,1% en Côte-d'Ivoire (Koné et al., 2021) et jusqu'à 40,5% au Burkina Faso (Guira et al., 2013). Ces différences s'expliquent par les différences de cibles

et de méthodologies utilisées ; ces auteurs ayant inclus les PVVIH dans leur ensemble avec pour étude l'utilisation du préservatif et non son utilisation régulière. Ces données étant essentiellement déclaratives, il peut exister des variations selon le cas (type de cibles, enquêteurs, etc...).

Si l'on considère que 94% des enquêtés enrôlés dans notre étude avaient connaissance que le préservatif permettait de prévenir la transmission sexuelle du VIH, on peut affirmer que le niveau de connaissance n'est pas en cause dans le résultat de notre étude. Les facteurs déterminant cette faible utilisation du préservatif sont beaucoup plus liés aux perceptions des enquêtés, enracinées dans l'inconscient collectif et à des choix délibérés de protéger sa relation plutôt que sa santé. En effet, les différents témoignages recueillis soulignent le besoin, pour le partenaire infecté comme pour le conjoint séronégatif, de maintenir une certaine « normalité » et ne pas risquer de mettre en péril son couple.

Ces statistiques prouvent encore une fois que l'utilisation régulière du préservatif n'est pas chose courante au sein des couples, même dans le contexte de sérodiscordance. Cette stratégie est pourtant la première proposée sur nos sites de prise en charge où des préservatifs masculins sont dispensés aux PVVIH sur leur site de suivi. Face à la faible utilisation de cette stratégie, il serait opportun d'accentuer la prévention sur les autres mesures proposées et disponibles aussi bien qu'on le fait pour le préservatif. Il conviendrait également d'améliorer la qualité de l'information dispensée sur la sérodiscordance et ses moyens de prévention de la transmission sexuelle au sein des couples. En effet, près de 82% des enquêtés inclus dans notre étude se tenaient informés de l'actualité sur le VIH et 85% d'entre eux recherchaient cette information auprès des agents de santé. A contrario, seulement 6% et 2% des enquêtés déclaraient connaître respectivement la thérapie anti rétrovirale (TAR) et la prophylaxie pré-exposition comme moyens de prévention de la transmission de l'infection. Si on considère que près de 86% de notre échantillon présentait une bonne observance, on pourrait en conclure que celle-ci relève plus du respect des prescriptions et du maintien de la bonne santé apparente que de la prévention de la transmission. L'accent devrait donc être mis, encore plus qu'auparavant et au cours de chaque contact avec le système de soins, sur la nécessité 'absolue' de la bonne observance du TAR, notamment dans le contexte de relâchement du port systématique du préservatif.

La mauvaise perception de l'utilisation du préservatif au sein des couples sérodiscordants

Comme le montrent les témoignages recueillis dans notre étude, encore aujourd'hui, le préservatif n'a pas bonne presse au sein des couples, et ce en raison de perceptions et d'idées reçues. Dans l'inconscient collectif, ou selon

les expériences de chacun, le préservatif est perçu comme responsable de dysfonctions sexuelles (troubles du désir ou dysfonctionnement érectiles), moyen de contraception qui n'a pas sa place quand on veut fonder une famille, etc... De plus, l'utilisation du préservatif est associée aux relations occasionnelles et débutantes. Ainsi, dans le contexte de prévention de risque, si un sursaut de conscience survient au tout début de l'annonce, il est vite rattrapé et noyé par les convictions propres des partenaires, désireux de préserver l'harmonie dans leur couple. Le préservatif, dont l'« usage forcé » semble être dégradant, rappelle également le caractère souillé de la personne infectée à laquelle il faut opposer une « barrière » de protection. Cette mauvaise perception constitue ainsi une barrière ou un frein important à la réticence des partenaires sexuels qui finissent, bien souvent, par céder au déni ou à la banalisation du risque de transmission.

Sawadogo et Djakpa ont mis en évidence cette mauvaise perception de l'utilisation du préservatif au sein des couples discordants qui s'accompagne d'une faible utilisation avec comme corolaires la coercition et la violence physique ou sexuelle.

Les raisons de l'utilisation régulière du préservatif (facteurs associés)

D'une manière générale, l'utilisation régulière du préservatif par les couples sérodiscordants au VIH de la ville de Parakou est fortement influencée par la sévérité perçue de l'infection (attitude de dramatisation de l'infection) ou de la prégnance du risque jugé élevé de transmission au conjoint séronégatif (stades cliniques avancés, rappelant la présence de l'infection et sa gravité, faisant craindre au conjoint sa propre infection). Que cela vienne d'une décision personnelle ou conjointe éclairée ou bien sur fond de menace du partenaire séronégatif, ou encore du fait de l'instance du personnel de santé, l'utilisation régulière du préservatif reste une contrainte majeure pour l'ensemble des couples qui auraient préféré s'en passer. De ce fait, dans notre étude, les facteurs associés à l'utilisation régulière du préservatif au sein de ces couples étaient : l'attitude face à la maladie et le stade clinique de l'infection. Ainsi, les participants qui dramatisaient leur condition de personne vivant avec le VIH avaient 7 fois plus de chances de faire un usage régulier du préservatif que ceux qui avaient accepté leur infection ou étaient dans le déni. De même, le positionnement des participants aux stades 3 et 4 de l'infection, selon la classification de l'OMS, multipliait par 8 les chances d'utilisation régulière du préservatif au sein des couples sérodiscordants, par rapport à ceux qui en étaient aux stades 1 ou 2. Si dans le premier cas, on pourrait expliquer cette situation par le fait que l'individu qui dramatise son infection n'a pas envie de faire subir à l'autre le même sort que lui et par conséquent prendrait plus de précautions que les autres. Dans le deuxième cas, les stades 3 et 4 de l'infection sont associés à des signes visibles de la présence de l'infection et

un rappel constant du risque de transmission au partenaire négatif qui, de ce fait pourrait être moins conciliant, oublier ses réticences et exiger l'utilisation systématique du préservatif.

Dans une étude sur les facteurs associés à l'usage du préservatif dans le foyer conjugal chez les personnes vivant avec le VIH suivies sur un site à Abidjan en 2019, le statut matrimonial, le partage de statut ou la sérodiscordance était plus associés à l'utilisation constante du préservatif mais aucune variable n'était significativement liée à un usage régulier du préservatif (Ignace et *al.*, 2019).

Pour Persson, la gestion du risque de transmission au sein des couples sérodiscordants se fait selon plusieurs modes : le sérosilence et le séropartage. Ce dernier mode, où le VIH est au cœur de la communication du couple et les responsabilités liées à la prévention partagées, les partenaires définissent ensemble les stratégies de prévention et y adhèrent. L'utilisation régulière du préservatif est donc plus acceptable (Persson, 2008). Ceci explique que la communication saine sur le VIH ait été mentionné comme facteur facilitant l'utilisation régulière du préservatif au sein des couples.

Les raisons de la non utilisation régulière du préservatif

Dans notre étude, les principales raisons évoquées pour la non utilisation du préservatif au sein des couples sérodiscordants étaient : le non partage du statut sérologique avec le conjoint, faisant craindre un dévoilement de ce statut ; la mauvaise perception de l'utilisation du préservatif au sein du couple ; la banalisation du risque de transmission et le besoin de prouver sa confiance ou son amour. Les raisons évoquées le montrent bien : l'utilisation régulière du préservatif au sein du couple sérodiscordant satisfait plus à des contraintes d'ordre personnelles plutôt que sanitaires ou structurelles. La banalisation du risque de transmission semble provenir aussi du fait que, lorsque le conjoint est dépisté séronégatif malgré des mois voire des années de rapports sexuels plus ou moins voire non protégés, un certain déni ou un sentiment de protection naturelle ou surnaturelle s'installe. Pour Bunnell (2005), le déni du risque de VIH pour le partenaire négatif était alimenté par les idées fausses sur la discordance telles que le concept d'une infection cachée non détectable par les tests, la croyance en l'immunité, l'idée que les relations sexuelles douces protègent les partenaires séronégatifs et la croyance en la protection de Dieu. Toutes choses qui aboutissent à l'échec des négociations sur le préservatif dans le couple. Refuser d'utiliser le préservatif reviendrait également à maintenir une certaine normalité au sein de son couple.

La plupart des auteurs ont décrit des motivations similaires à celles retrouvées dans notre étude.

Selon Konaté, les couples n'utilisaient pas le préservatif souvent parce que le conjoint n'a pas été informé, parfois parce que celui-ci refuse.

Selon Guira, pour 59,5% des participants qui ne faisaient pas usage du préservatif dans leur couple, les motifs étaient : le manque d'intimité (37,5%) et le désir de procréer (26,2%). Pourtant, la transmission sexuelle du VIH et la prévention par le préservatif étaient connues des partenaires dans 97,5% des couples. Beyeza-Kashesya et *al.* rapportaient aussi que les motifs prédominants étaient le désir de conception et le manque de pouvoir de négociation pour des rapports sexuels protégés (Beyeza-Kashesya et *al.*, 2009).

Au Togo, les motifs du rejet du préservatif au sein des couples sérodifférents étaient les suivants : barrières psychoaffectives (baisse de spontanéité, baisse du désir sexuel ou faiblesse de l'érection liés à l'utilisation du préservatif), difficultés d'approvisionnement (coût des préservatifs si ceux distribués gratuitement ne sont pas suffisants en nombre), difficultés techniques (ruptures des préservatifs, douleur des partenaires), interdits religieux, fait de ne pas être habitué et désir d'enfant (Djakpa & Sawadogo, 2023).

Au Niger, les raisons découlaient de la nature des rapports de force à l'intérieur du couple, de la recherche de rapprochement et de maintien des sensations, l'enlèvement dans les conduites à risque par déni de la sévérité de la maladie (Diarra & Moumouni, 2008.).

A Abidjan, du Loû et *al.* avaient identifié comme motifs : la vision négative qu'avaient les couples du préservatif (infidélité, manque de confiance) et le fait qu'il leur rappelait constamment la menace de la contamination du partenaire séronégatif (Desgrées-du-Loû et *al.*, 2009).

Selon Giovanna Meystre-Agustoni, à l'intérieur des couples stables, la recherche d'une intimité totale ou le désir de démontrer le caractère absolu de l'amour qu'on porte à son partenaire infecté peuvent expliquer l'abandon du préservatif (Giovanna Meystre-Agustoni, 1999.).

Enfin, Gokaba au Congo affirme que l'utilisation systématique du préservatif dans un couple est absurde, le couple étant un endroit idéal d'une sexualité épanouie et sécurisé (Gokaba, 2020).

Toutes ces statistiques montrent bien que les contraintes liées à l'utilisation régulière du préservatif au sein des couples sérodiscordants peuvent mettre en péril le devenir du couple, un enjeu si important qu'il se pourrait qu'il soit préférable de succomber au risque de transmission en bafouant les recommandations des agents de prise en charge. Pour Delor (1999), l'absence de protection permet de maintenir une certaine normalité de la relation amoureuse pour laquelle chaque partenaire démontre ainsi son intérêt et sa valeur. Le rejet du préservatif répond ainsi à un besoin voire une obligation de montrer à l'autre son attachement et sa confiance afin d'éviter la séparation. Persson également a notifié que le risque de VIH peut être supplanté par d'autres risques et d'autres priorités, notamment le besoin de

procréation (Persson, 2013). Dès lors que le préservatif est perçu comme « un ennemi » du couple, le respect des recommandations sanitaires n'est pas vraiment d'actualité.

Le rôle du système de santé

Les recommandations nationales en matière de prévention de la transmission sexuelle du VIH au sein des couples sérodiscordants prévoient envers cette cible la distribution gratuite de préservatifs masculins avec les gels lubrifiants à eau. Cette stratégie a notamment permis de régler le problème d'accessibilité aux préservatifs, comme le montre l'absence de mention de ce problème par nos enquêtés. Cependant, comme nous le montre cette étude, seuls 20% de l'échantillon utilisait régulièrement le préservatif avant le dépistage positif d'un des conjoints. Il est difficile de changer ce comportement et de commencer à utiliser le préservatif pour chaque acte de pénétration, comme le recommandent les équipes de prise en charge, si le sujet n'y était pas déjà habitué. On peut donc se dire qu'un vrai travail de sensibilisation doit se faire en amont, auprès de la population à risque, c'est-à-dire la population en âge de procréer. Cependant, les activités de Santé Sexuelle et Reproductive (SSR) visent le plus souvent les jeunes scolaires, les jeunes déscolarisés membres d'associations professionnelles, etc.. Il faut de ce fait améliorer le niveau de connaissances général de la population discordante sur ces méthodes et lutter contre les mythes et idées reçues sur l'utilisation du préservatif au sein des couples stables. L'éducation de masse sur le sujet, aujourd'hui centrée sur les jeunes et les populations clés et ciblant les rapports occasionnels, devrait se généraliser aux autres couches de la population et viser aussi les couples stables afin de réduire les mauvaises perceptions recueillies.

Le rôle du système de santé est également informatif à l'endroit des personnes vivant avec le VIH, les agents de santé ayant l'obligation de discuter avec les patients en général et les couples sérodiscordants en particulier, des différents choix de stratégies possibles. Cependant, la TAR et la PrEP ne sont connus par les enquêtés comme moyens de prévention de la transmission du VIH que dans respectivement 6% et 2% des cas voire aucun des utilisateurs du préservatif. Le rôle « curatif ¹ » de la TAR, qui permet de rester en bonne santé et de ne pas laisser paraître des signes pouvant trahir son statut, est plus souvent mis en avant, même si le rôle préventif qui en découle et qui semble implicite n'est pas compris comme tel. De même, la PrEP, à laquelle les couples sérodiscordants sont pourtant éligibles, n'est pas encore disponible sur tous les sites de prise en charge. Ces deux alternatives mériteraient d'être

¹ Le TAR ne permet pas de guérir la maladie mais empêche le virus de se répliquer et de causer des dommages au système humain, permettant aux sujets infectés de vivre longtemps et en bonne santé

propagées et doivent bénéficier de la même attention de sensibilisation que le port du préservatif. Elles devraient être systématiquement discutées avec les personnes concernées, même après des années de prise en charge et pas seulement au décours de la découverte des statuts respectifs des partenaires. Les PVVIH qui ne partagent pas leur statut sérologique avec leur conjoint afin de ne pas perturber davantage la dynamique des couples au risque d'être un facteur de séparation de ceux-ci doivent être instruites sur le respect et l'observance du TAR à titre préventif.

Les agents de prise en charge doivent également encourager davantage la communication sur le VIH au sein des couples, gage d'une bonne compréhension et d'une meilleure évaluation du risque pouvant aboutir à l'adoption de comportements cohérents pour la gestion du risque de transmission sexuelle du VIH au sein de leur sérodiscordant.

Conclusion

L'utilisation régulière du préservatif est faible au sein des couples sérodiscordants de la ville de Parakou, au nord-est du Bénin. Les raisons sont essentiellement d'ordre social et conjugal tandis que certains facteurs cliniques améliorent les chances d'adopter ce comportement. Il est possible d'améliorer cette prévalence, en améliorant les perceptions des individus sur le préservatif et son utilisation au sein des couples stables ainsi que le partage du statut sérologique avec le conjoint. Assez souvent, l'utilisation régulière du préservatif, au vu des tensions qu'elle pourrait engendrer, est délaissée au détriment des recommandations sanitaires. Il est opportun dès à présent de travailler à améliorer en amont de l'infection à VIH, la perception générale de la population sur l'utilisation du préservatif au sein des couples stables, préalables à l'adoption des bons comportements en matière de prévention de la transmission sexuelle de l'infection au sein de ce groupe sensible. La lutte contre la stigmatisation et la discrimination des porteurs du VIH doit se poursuivre, afin de réduire les freins au partage du statut sérologique et au dépistage. Le sujet de la sérodiscordance et de ses implications possibles doit être abordé dans les discussions liées au VIH afin d'élever le niveau de connaissance des populations sur le sujet et d'améliorer l'acceptabilité de cette condition particulière au moment où les individus y seraient confrontés. Par ailleurs, tout en reconnaissant le rôle déterminant du système de santé dans les efforts de prévention à l'intention des couples, il serait opportun de mettre désormais un accent soutenu sur les mesures préventives alternatives au préservatif, notamment l'observance du TAR qui doit être réappropriée par les bénéficiaires pour son rôle préventif aussi bien que « curatif ».

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

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

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

Déclaration relative aux participants humains

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

References:

1. Anand, A., Shiraiishi, R. W., Bunnell, R. E., Jacobs, K., Solehdin, N., Abdul-Quader, A. S., Marum, L. H., Muttunga, J. N., Kamoto, K., Aberle-Grasse, J. M., & Diaz, T. (2009). Knowledge of HIV status, sexual risk behaviors and contraceptive need among people living with HIV in Kenya and Malawi. *AIDS (London, England)*, *23*(12), 1565-1573. <https://doi.org/10.1097/QAD.0b013e32832cb10c>
2. Beyeza-Kashesya, J., Kaharuza, F., Mirembe, F., Neema, S., Ekstrom, A. M., & Kulane, A. S. (2009). The dilemma of safe sex and having children : Challenges facing HIV sero-discordant couples in Uganda. *African Health Sciences*, *9*(1), Article 1. <https://doi.org/10.4314/ahs.v9i1.7096>
3. Bunnell, R. E., Nassozi, J., Marum, E., Mubangizi, J., Malamba, S., Dillon, B., Kalule, J., Bahizi, J., Musoke, N., & Mermin, J. H. (2005). Living with discordance: Knowledge, challenges, and prevention strategies of HIV-discordant couples in Uganda. *AIDS Care*, *17*(8), 999-1012. <https://doi.org/10.1080/09540120500100718>
4. Bunnell, R., Opio, A., Musinguzi, J., Kirungi, W., Ekwaru, P., Mishra, V., Hladik, W., Kafuko, J., Madraa, E., & Mermin, J. (2008). HIV transmission risk behavior among HIV-infected adults in Uganda : Results of a nationally representative survey. *AIDS (London, England)*, *22*(5), 617-624. <https://doi.org/10.1097/QAD.0b013e3282f56b53>
5. Chemaitelly, H., Cremin, I., Shelton, J., Hallett, T. B., & Abu-Raddad, L. J. (2012). Distinct HIV discordancy patterns by epidemic size in stable sexual partnerships in sub-Saharan Africa. *Sexually Transmitted*

- Infections*, 88(1), 51-57. <https://doi.org/10.1136/sextrans-2011-050114>
6. Delor F., A. nationale de recherches sur le SIDA. (1999). Vie sexuelle des personnes atteintes, sérodiscordance et risque du SIDA (Septembre 1999). *Séropositivité, vie sexuelle et risque de transmission du VIH*, in *Sciences Sociales et Sida*. p 85-100. http://mediatheque.lecrips.net/docs/PDF_GED/S35219.pdf
 7. Desgrées du Loû, A. (2014). Conjugalité en Afrique. Au-delà de la sexualité, les leçons d'une épidémie. *Études*, février(2), 21-31. <https://doi.org/10.3917/etu.4202.0021>
 8. Desgrées-du-Loû, A., Brou, H., Traore, A. T., Djohan, G., Becquet, R., & Leroy, V. (2009). From prenatal HIV testing of the mother to prevention of sexual HIV transmission within the couple. *Social Science & Medicine*, 69(6), 892-899. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2009.05.045>
 9. Diarra, A., & Moumouni, A. (2008). *Le vécu quotidien des personnes vivant avec le VIH à Niamey*. <https://lasdel.net/download/n-80-le-vécu-quotidien-des-personnes-vivant-avec-le-vih-a-niamey-par-a-diarra-et-a-moumouni-2009/>
 10. Djakpa, Y., & Sawadogo, N. (2023). [HIV prevention among serodifferent couples: Postures and difficulties in Lomé (Togo)]. *Sante Publique (Vandoeuve-Les-Nancy, France)*, 35(1), 87-97. <https://doi.org/10.3917/spub.231.0087>
 11. Giannou, F. K., Tsiara, C. G., Nikolopoulos, G. K., Talias, M., Benetou, V., Kantzanou, M., Bonovas, S., & Hatzakis, A. (2016). Condom effectiveness in reducing heterosexual HIV transmission: A systematic review and meta-analysis of studies on HIV serodiscordant couples. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research*, 16(4), 489-499. <https://doi.org/10.1586/14737167.2016.1102635>
 12. Giovanna Meystre-Agustoni, A. nationale de recherches sur le SIDA. (1999). Prise de risque chez les personnes vivant avec le VIH/sida (Septembre 1999). *Séropositivité, vie sexuelle et risque de transmission du VIH*, in *Sciences Sociales et Sida*. p 101-12. http://mediatheque.lecrips.net/docs/PDF_GED/S35219.pdf#page=83.
 13. Gokaba, J. M. (2020). Sérologie discordante du VIH/sida et vie des couples en République du Congo: Profil sociodémographique, comportements, facteurs de survie et prise en charge. <https://theses.hal.science/tel-03160588>
 14. Guira, O., Tiéno, H., Sawadogo, S., & Drabo, J. Y. (2013). Sexualité et risque de transmission sexuelle du virus de l'immunodéficience humaine chez les couples sérodiscordants à Ouagadougou (Burkina

- Faso). *Sexologies*, 22(3), 138-141.
<https://doi.org/10.1016/j.sexol.2013.02.005>
15. Ignace, A. A., Désiré, G. Z., Madikiny, C., Christiane, D., Adou, A. D. H., Sebastien, G. K., Evelyne, Y. C., Sylvère, Y. K., & Serge, N. K. (2019). Facteurs Associés À L'usage Du Préservatif Dans Le Foyer Conjugal Chez Les Personnes Vivant Avec Le VIH Suivies Sur Un Site À Abidjan. *European Scientific Journal, ESJ*, 15(36), Article 36. <https://ejournal.org/index.php/esj/article/view/12627>
16. Konaté, I., Goïta, D., Dembélé, J. P., Coulibaly, B., Cissoko, Y., Soumaré, M., Fofana, A., Koné, O., Sogoba, D., Oumar, A. A., & Dao, S. (2018). Facteurs de Risque de Contamination par le VIH chez les Couples Sérodifférents Suivis dans le Service de Maladies Infectieuses et Tropicales du CHU du Point-G. *HEALTH SCIENCES AND DISEASE*, 19(4), Article 4. <https://www.hsd-fmsb.org/index.php/hsd/article/view/1172>
17. Koné, A., Koffi, M.-O., Djêgbéton, A., Ahui, B. J. M., Brou-Godé, V. C., N'gom, A., Horo, K., Kouassi, B. A., Koffi, N. B., & Aka-Danguy, E. (2021). Vie de couple et prise en charge de l'infection à VIH au service de pneumologie du CHU de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire. *Médecine Tropicale et Santé Internationale*, 1(3), MTSIBULLETIN.2021.123.
<https://doi.org/10.48327/MTSIBULLETIN.2021.123>
18. La Banque Mondiale. (2014). *Utilisation du préservatif, population de 15 à 24 ans, homme*. World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org>
19. Persson, A. (2008). Sero-silence and sero-sharing : Managing HIV in serodiscordant heterosexual relationships. *AIDS Care*, 20(4), 503-506. <https://doi.org/10.1080/09540120701787487>
20. Persson, A. (2013). Notes sur les concepts de « sérodiscordance » et de « risque » dans les couples ayant un statut VIH mixte. *Global Public Health*, 8(2), 209-220. <https://doi.org/10.1080/17441692.2012.729219>
21. Rispel, L. C., Metcalf, C. A., Moody, K., Cloete, A., & Caswell, G. (2011). Sexual relations and childbearing decisions of HIV-discordant couples : An exploratory study in South Africa and Tanzania. *Reproductive Health Matters*, 19(37), 184-193. [https://doi.org/10.1016/S0968-8080\(11\)37552-0](https://doi.org/10.1016/S0968-8080(11)37552-0)
22. Sawadogo, N., & Djakpa, Y. (2022). *Impact des rapports de pouvoir inégalitaires sur les difficultés de prévention du VIH au sein des couples sérodifférents à Lomé (Togo)*.
23. *UNFPA, OMS et ONUSIDA : Déclaration de position sur les préservatifs et la prévention du VIH, des autres infections sexuellement transmissibles et des grossesses non désirées.*

- (2015).https://www.unaids.org/fr/resources/presscentre/featurestories/2015/july/20150702_condoms_prevention
24. Weller, S., & Davis, K. (2002). Condom effectiveness in reducing heterosexual HIV transmission. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1, CD003255. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003255>

A Review of Water Pollution in Israel and Palestine

Miruna-Amalia Nica, MSc

Mihnea-Stefan Costache, MSc

Faculty of Geography, University of Bucharest, Romania

Maria-Ioana Marin, MSc

Faculty of Geography, University of Bucharest, Romania

National Meteorological Administration, Bucharest, Romania

Valentina-Mariana Manoiu, Associate Professor

Faculty of Geography, University of Bucharest, Romania

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p285](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p285)

Submitted: 13 May 2024

Accepted: 26 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Nica, M.-A., Costache, M.-S., Marin, M.-I., & Manoiu, V.-M. (2024). *A Review of Water Pollution in Israel and Palestine*. *European Scientific Journal, ESJ*, 20 (18), 285.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p285>

Abstract

Water pollution is a daily risk with a major impact on both populations and ecosystems. An analysis of water pollution types is essential to determine the affected regions and the magnitude of its impact on various components of the geosystem. This study aims to conduct a thorough analysis of water pollution in the Israel and Palestine, focusing on the three main types of pollution: physical, chemical, and biological. The methodology of this article is based on the critical review of 22 scientific papers published between 1972 and 2023, addressing various aspects of water pollution in the analyzed region, from generating sources to their impact. Most studies are authored by researchers affiliated with institutions located in the conflict region, with many samples collected directly from the field and processed in laboratories or GIS environments. The study results highlight chemical pollution often exceeding recommended limits for various analyzed parameters. Biological pollution subjects aquatic ecosystems to significant pressures, including eutrophication and harmful algal blooms. Wastewater is discharged into watercourses in the region, affecting their physical properties. Areas subject to water pollution include the Gaza Strip, the coastal zone, the northern aquifer in Israel, and

lakes in the western part of the analysis region, posing potential risks to the health of the populations in Israel and Palestine.

Keywords: Water pollution, Israel, Palestine, physicochemical parameters, eutrophication, wastewater

Introduction

Water is a resource that can bring both peace when managed rationally and sustainably, but it can also cause conflicts when access to it is limited or when it is polluted, thus creating disagreements between states. To raise awareness about the increasing tensions, the theme for World Water Day 2024 was chosen as Water for Peace.

Pollution represents one of the main problems of contemporary society, affecting not only the environment but also the lives of millions of people. One of the main types of pollution is water pollution. This is a phenomenon of contaminating water resources (rivers, lakes, seas, and oceans) with high toxicity organic and inorganic pollutants (Warren-Vega et al., 2023). Factors contributing to the pollution of water include industrial activities, agriculture, natural factors, biological factors, as well as inadequate water supply and the lack of wastewater treatment plants (Lin et al., 2022).

In recent years, water quality has become significantly affected in areas of military conflict. The Israel-Palestinian military warfare is one of the most complex and protracted conflicts in the world, with historical, religious, political, and territorial roots.

Subsequent wars between Israel and neighboring Arab countries have led to the expansion of territory controlled by Israel and the massive exodus of the Palestinian population. The Israeli occupancy of the West Bank, the Gaza Strip, and East Jerusalem succeeding the 1967 War intensified tensions (Feitelson, 2000).

According to Baalousha (2008), over the years, several international efforts have been made to reach a peaceful solution to the conflict, including the Oslo Accords in 1993. In accordance with the Oslo agreement between Palestine and Israel, the latter should provide the Gaza Strip with 5 million cubic meters of fresh water annually (El-Nakhal, 2004). Although this water is not provided for free, and the Palestinian Authority pays for it, Israel halved the volume of water from 1998 to 2004, in a clear violation of the Oslo Accords (Gray, 2006). However, the expansion of Jewish settlements in the occupied Palestinian territories, the blockade and siege of the Gaza Strip, and disputes over control of Jerusalem continue to fuel tensions and conflicts.

The study area, including both Israel and Palestine, is located at the border between Asia and Africa, in an area limited in continental water resources but rich in coastal water resources, due to its openness to the

Mediterranean Sea in the west and the Red Sea in the south (Figure 1.A). Israel is administratively divided into 6 districts, surrounded to the north by Lebanon, to the northeast by Syria, to the east by Jordan, to the southwest by Egypt, while Palestine is divided into two major territories: the West Bank east of Israel and the Gaza Strip on the Mediterranean coast (Figure 1.B). The study area presents four distinct regions: the Mediterranean coastal plain to the west, the Negev Desert in the central-southern part, the Jordan Valley in the east, and mountainous terrain in the north and center (Popa, 2012).

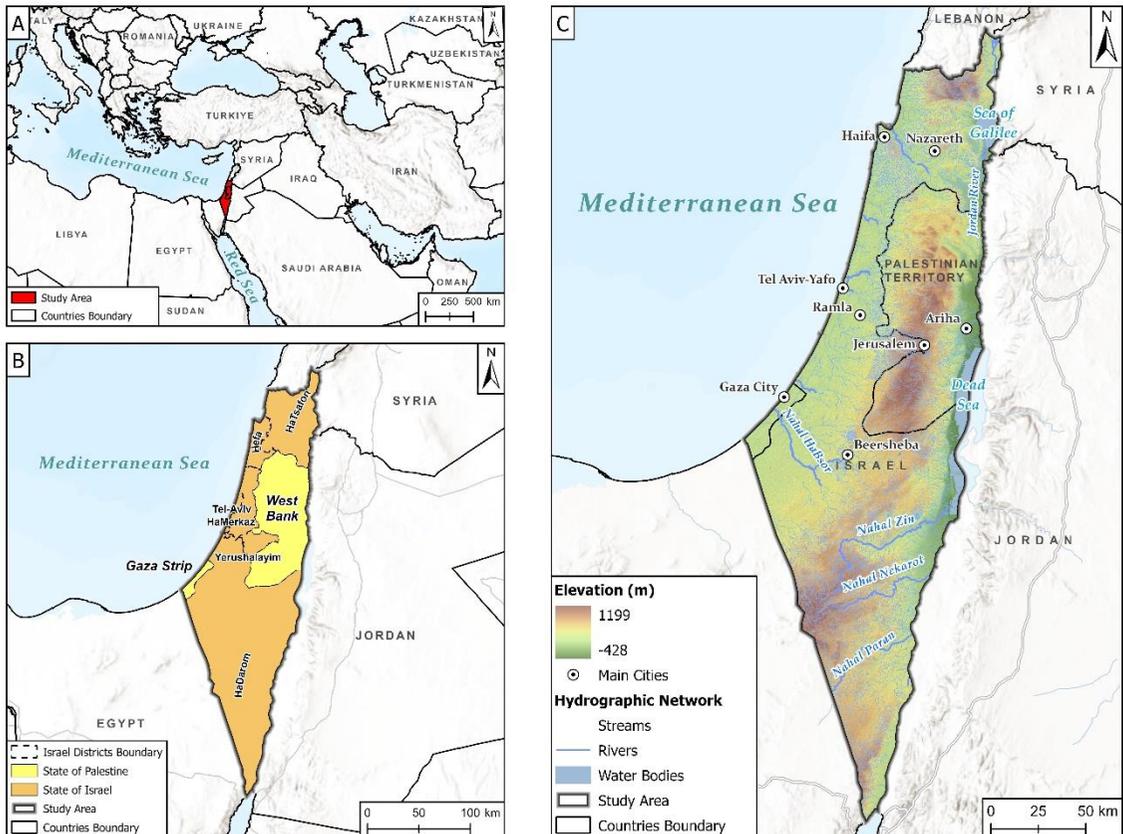


Figure 1. The study area: A) Continental scale; B) Regional scale; C) Physical and geographical scale

The hydrographic network has played a significant role over time in delimiting the borders of neighboring states, especially concerning the Jordan River (Srebro, 2018). In the region, due to the semi-arid and arid climate, there are springs, streams, and rivers, but many of them are small temporary water bodies (called wadis) that integrate only a small part of the water stocks (Laronne et al., 2004). In Figure 1 C, some of these are represented, such as Nehal Nakarot, Nehal Paran, Nehal HaBsor or Gaza, Nahal Zin, Yarkon.

However, the major water source for Israelis is the Sea of Galilee, or the Kinneret Lake, positioned in the northern part of Israel, neighboring the cities of Safed, Haifa, and close to the Golan Heights. This is the exclusive source of fresh surface water and has approximately 21 km in length, 12 km in width, and an average depth of 25 meters. Kinneret collects water from the upper basin of the Jordan River, the Hermon River, the Golan River, and natural groundwater (Maimon, 2014).

In the Middle East and North Africa region, water wealth has increasingly been utilized due to urbanization and agricultural expansion. Only 1% of freshwater is reused for 6% of the total population residing here (Haddaoui and Mateo-Sagasta, 2021). Furthermore, in the Jordan River basin, the main water source for Israel, Jordan, and the Palestinian population, it had already reached its maximum capacity by 1990 (Wiczynk, 2003) due to overexploitation of the shallow aquifer and increased salinity in the lower basin (Isaac, 2000).

Therefore, we can say that the main challenges facing the hydrographic basins in the Middle East are represented by the accelerated impact of climate change and extreme weather events, which exert greater pressure on water availability, provoking water-related conflicts and affecting the most defenseless groups. There is a severe decline in the availability of drinking water and for agricultural purposes, particularly pollution and contamination of surface and groundwater resources, giving rise to a high number of illnesses and deaths caused by waterborne diseases (Mohammed et al., 2021; Salameh et al., 2021).

In the Middle East, there is significant concern regarding water resource management, with a focus on the continuous increase in water demand and the need for cooperation between Israel and stakeholders like Jordan and Palestine (Feitelson, 2002; Gvirtzman, 2012). The acute water conflict between Israel and Palestine is determined by disputes over the water distribution from common aquifers and the Jordan River (Ide and Fröhlich, 2014). Moreover, the use of fertilizers has induced an accumulation of nitrates in the coastal aquifers within the territories of both states, reducing agricultural areas (Brooks, 2003). Furthermore, in Israel, excessive pumping of groundwater beyond its natural recharge rate has led to its contamination, inducing a net loss in the annual quantity of reusable water for the population (Yoffe and Wolf, 1999).

In the Gaza Strip, environmental pollution has led to constant pressure on hydrographic resources, with freshwater available for human use and many agricultural crops falling below acceptable quality standards (Ahiram and Siniora, 1994). Following repeated invasions in the region, sewage systems have been damaged or destroyed, putting pressure on water resources and wastewater treatment plants. Thus, along the Gaza coast, samples have been

collected, highlighting the microbial contamination of seawater, leading to hygiene-related infections (Mojabi et al., 2010).

Considering the importance of water resource in the region and how it has been affected by numerous conflicts, this study aims to quantify water pollution issues in this warfare-affected region.

Methods

For this study, scientific materials focusing on pollution in the Israel and Palestine were used. Using platforms like Google Scholar and Science Direct, scientific works (books, articles, and reports) based on the addressed topic were downloaded and analyzed. For the initial search, keywords such as "water pollution on Israel and Palestine rivers", "water pollution in Israeli-Palestinian conflict" or "water pollution in Israel and Palestine GIS" were used, resulting in 32,400 results. Of these, 92 scientific works were chosen for rigorous analysis, many of which provided general information on politics and legislation. However, some of these were retained for the introductory part of this article. After the second selection, 22 core articles remained, providing raw data on pollution in the region, which were then subjected to review. The entire workflow can be observed in Figure 2.

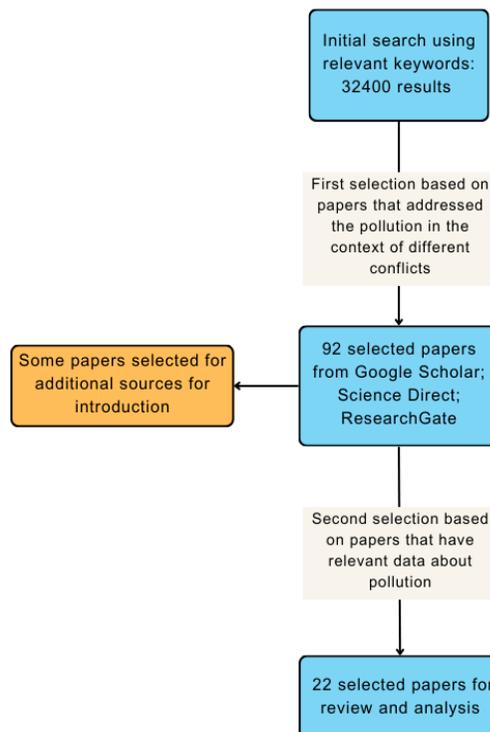


Figure 2. Workflow of the analysis

As for the publication years of the selected scientific papers (Table 1), they span from 1972 to 2023. In the years 2000, 2011, 2019, 2022, and 2023, the most papers were published, with 2 each, while in the other years, only one paper was published.

Table 1. Publication years of the selected papers

Publication year	Number of papers
1972	1 ^[8]
1976	1 ^[30]
2000	2 ^[23,24]
2001	1 ^[15]
2004	1 ^[33]
2006	1 ^[20]
2008	1 ^[3]
2010	1 ^[6]
2011	2 ^[4,7]
2012	1 ^[21]
2013	1 ^[9]
2016	1 ^[18]
2019	2 ^[11,12]
2020	1 ^[34]
2021	1 ^[17]
2022	2 ^[27,41]
2023	2 ^[2,42]

In Figure 3, the distribution of the types of scientific works analyzed in this article can be noticed. Analyzing the graph, it is remarked that the largest distribution of scientific works was represented by articles (17), while book chapters and books had a total of 2 works each. The smallest number is represented by reflection papers, which numbered only 1.

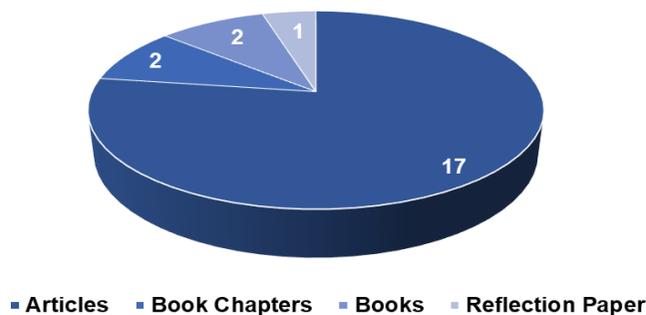


Figure 3. Distribution of the scientific paper type

Figure 4 illustrates the affiliation of the first author of the 22 scientific papers, represented in the form of a Sankey diagram. Upon analysis of this diagram, it emerges that the majority of papers originate from the Asian continent (18). Among these, 10 belong to researchers from Israel, predominantly from Haifa (4), Jerusalem (3), Tiberias (2), and Tel Aviv (1); 6 belong to those from Palestine, specifically Birzeit (3), Gaza (2), and Khan Younis (1), while from Malaysia, 2 articles belong to the same researcher affiliated with Bangi. From the European continent, only 3 articles were considered representative for the current study, with 2 originating from Germany and 1 from the Netherlands. From Oceania, specifically from New Zealand, from the city of Napier, only one article was suggestive for this analysis.

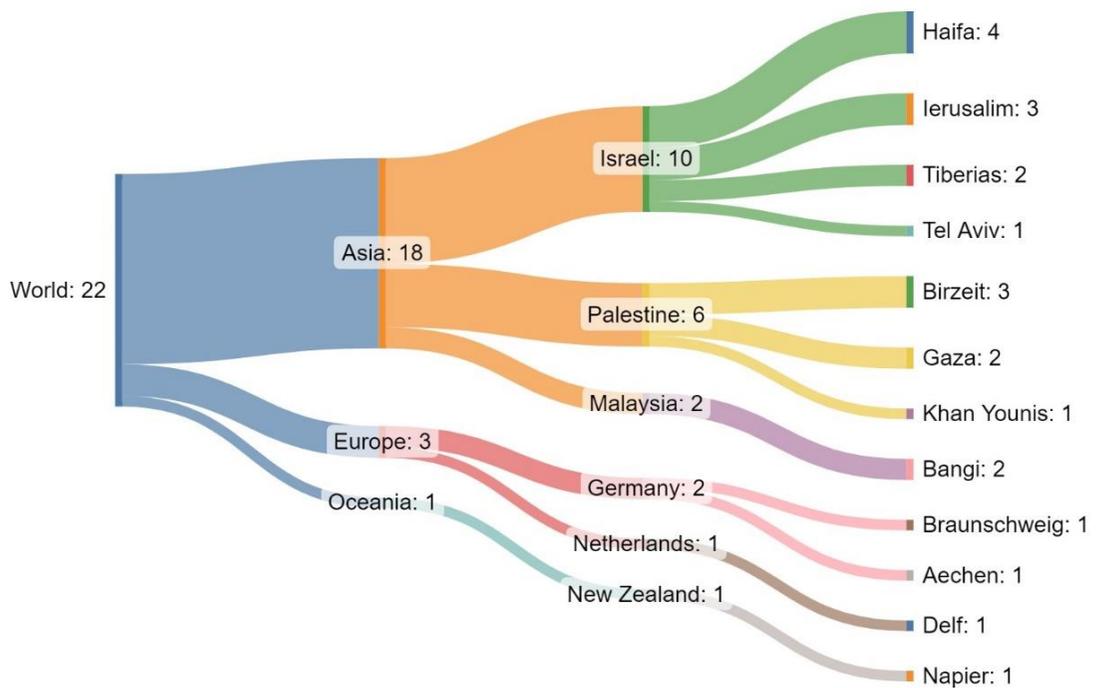


Figure 4. Affiliation of the first author of the papers

For a better understanding of the topics and types of pollution addressed in each scientific paper, a Word Cloud was created (Figure 5), showing the recurrence of keywords found in each article. Out of the 22 basic scientific papers, only 14 of them had keywords, classifying them as articles. Therefore, the most commonly encountered keywords in these sources were Israel, GIS, water quality, and groundwater, each appearing 3 times. These signify the study area, the topic, and the methods used. Keywords like West Bank, Gaza Strip, diversity, and nitrate appeared twice, representing the two

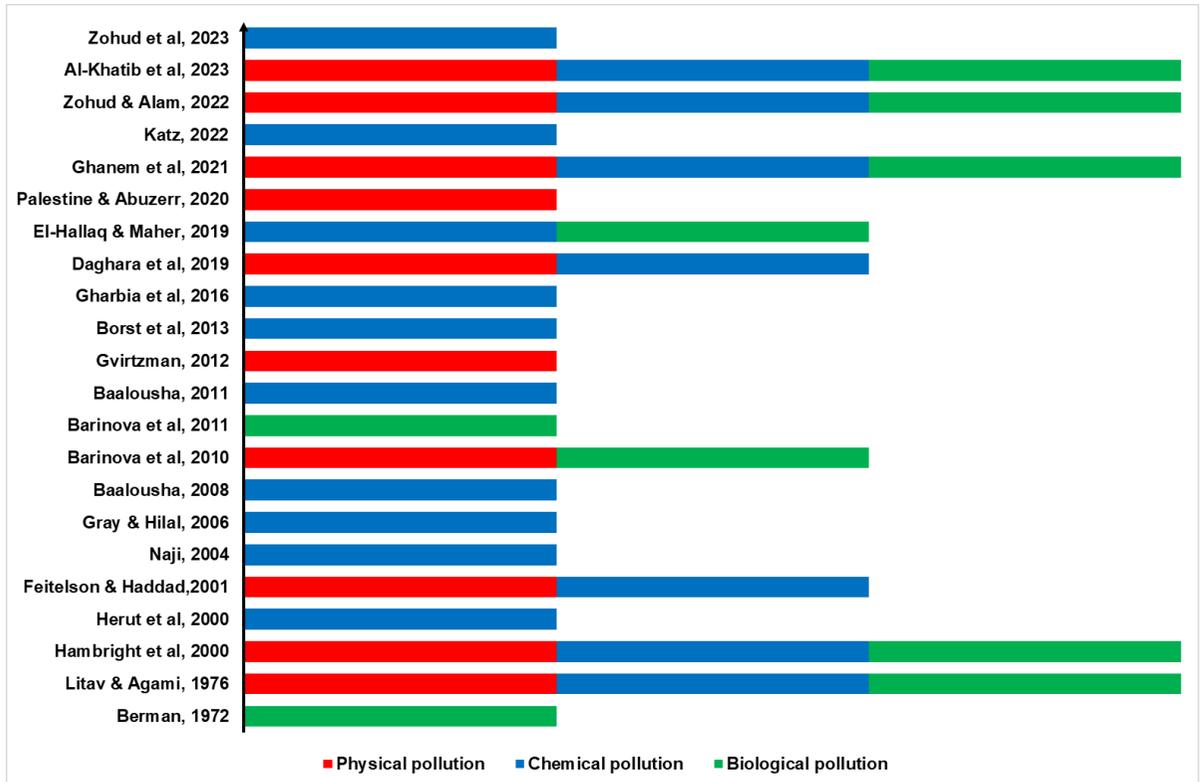


Figure 6. Types of pollution by paper

Physical Pollution

The first analysis regarding physical pollution belongs to Litav and Agami (1976), who examined temperature, conductivity, turbidity, and light intensity for the period of 1971-1972, focusing on the Alexander and Yarkon rivers. It was found that there was a conclusive correspondence in both rivers between pollution levels and light diffusion. Light interference was higher in the Alexander River than in the Yarkon River, reflecting the thicker population of phytoplankton characterizing the Alexander River. Additionally, increased turbidity led to an advanced stage of eutrophication.

Hambricht et al. (2000) analyzed various parameters correlated with algal blooms in Lake Kinneret, including turbidity. They found that turbidity values were higher in the winter and spring months, reaching 2.9 nephelometric turbidity units (NTU), compared to 2.2 NTU in the summer and fall months.

Feitelson and Haddad (2001) demonstrated that the Mountain Aquifer is prone to anthropic pollution (industry, agriculture), particularly waste discharge into ephemeral streams in the western region. Additionally, the Turonian-Cenomanian aquifer includes leaks from oil facilities (tanks, gas stations, and pipelines) or accidents (tank leaks, pipeline deteriorations, etc.).

Besides, infiltration into the aquifer can also occur from waste disposal sites, animal farm solid waste, fertilizers, pesticides, and other agriculture and industry chemicals.

Barinova et al. (2010) evaluated both temperature and conductivity for the Oren and Zin rivers. Two species of *Chara* (Charophyta) were identified, populating clear waters with reduced conductivity, low total dissolved solids, and alkaline pH values. Subspecies variability is poor, as it is typical for algae species in Israel generally. Diversity varies depending on sampling points, and species abundance is firmly associated with conductivity levels.

In 2012, Gvirtzman emphasized that the Hebron stream, which flows into the Beer Sheva Valley, has changed into a polluted canal of wastewater for nearby Palestinian and Israeli villages, with settlements suffering greatly from polluted water, odors, flies, and mosquitoes. Another example is the Nablus rivulet, which flows into the coastal plain and has turned into a wastewater canal for Nablus and Tulkarm. Additionally, Kishon, Alexander, Modiin, and Kidron have also become wastewater repositories.

Daghara et al. (2019) showed that groundwater turbidity in the West Bank is an indicator of water pollution resulting from organic matter decomposition and inappropriate dumping of domestic and industrial solid waste and wastewater. Turbidity values ranged from 0.05 to 9.9 NTU, with an average value of 1.57 NTU (Daghara et al, 2019). A modest portion of samples (25%) exceeded the allowable turbidity limit. The maximum value was recorded in March, possibly as a result of anthropic activities, a water level decline, and an augmentation of suspended particulate matter.

Palestine and Abuzerr's article (2020) provide an overview of Gaza Strip environmental pollution during the COVID-19 pandemic and its impact on the healthcare system and public health. It refers to the provision of water, sanitation, and hygiene (WASH) services, solid waste handling, soil deterioration, coastal and marine contamination, as well as air pollution. The massive electricity shortage affecting the Gaza Strip, along with the lack of proper sanitation infrastructure, causes the discharge of 100-108 million liters of deficiently treated wastewater into the sea day-to-day.

Ghanem et al. (2021) showed that wastewater in the West Bank could contaminate drinking water in various ways, originating from septic tanks, partially treated sewage, sludge, and sewer leaks through soil infiltration and groundwater pollution.

Zohud and Alam (2022)'s study presented 127 samples from 300 sources distributed throughout the West Bank. Most physical characteristics of spring water fell within admissible standard limits, except for turbidity. They also highlighted that raw sewage is one of the main sources of West Bank groundwater pollution, where wastewater is discharged into neighboring valleys and water bodies, generating excessive pollution.

Moreover, the region's trash is mostly industrial or domestic and causes significant damage to the environment, surface and groundwater. According to Zohud and Alam (2022), in 2019, Palestinians generated approximately 4333 tons of solid waste per day, or about 0.9 kg per person daily, adding up to 1.58 million tons per year, the north of the West Bank contributing with 441,650 tons of waste/year. Developing sewage systems, wastewater treatment plants, and reducing septic tanks in rural areas of the West Bank significantly reduce pollutant concentrations. In Figure 7, the correlation between waste quantity and wastewater volume in the West Bank can be observed. Thus, a direct linear correlation between the two parameters is clearly noticed ($r = 84$), with the highest values of 149,650 tons of solid waste/year in the Nablus district, while in Tubas the value is only 23,735 tons of solid waste/year.

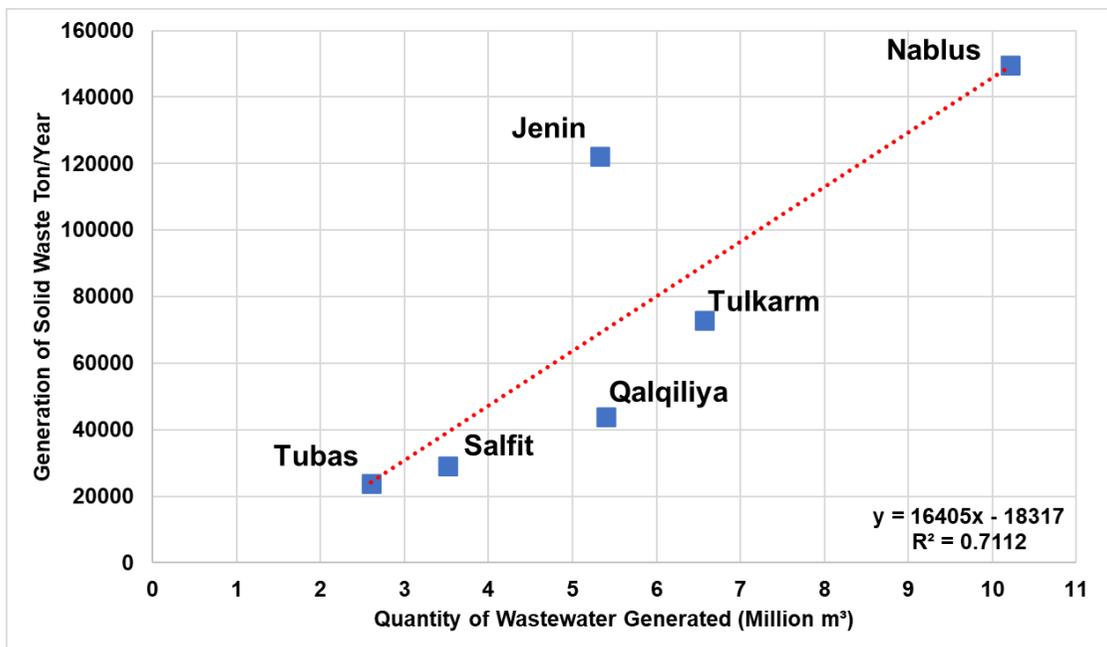


Figure 7. The correlation between the quantity of solid waste and the volume of wastewater in the main districts of the West Bank
 Data source: Zohud and Alam, 2022

Al-Khatib et al. (2023) measured the household water quality in the Jenin governorate, located in northern West Bank. The assessed parameters consisted of electrical conductivity, turbidity, and total hardness. It was found that there are limited pollution contents regarding total hardness and electrical conductivity, falling within acceptable standard limits. Additionally, a broader spectrum of turbidity (0.05–9.9 NTU) was recorded for drinking water

originating in natural sources, associated with anthropic activities and an augmentation of suspended particles (Al-Khatib et al, 2023).

Chemical Pollution

The initial approaches to chemical pollution belong to Litav and Agami (1976), who analyzed dissolved oxygen, pH, ammonia, nitrites, orthophosphates, and total dissolved solids in the region's main rivers, namely the Yarkon and Alexander Rivers, for the period 1971-1972. According to the scientists mentioned above, dissolved oxygen values revealed high variations throughout the year, from 4% saturation in December, to 70-80% saturation in April and September, provoked by algal blooms that sometimes arose in polluted sections. In degraded sectors, there was a substantial raise in detergent, ammonia, and phosphate concentrations during winter compared to summer, resulting from the discharge of large amounts of wastewater, mainly from irrigation.

In 1990-2000, chemical pollution was analyzed by Hambright et al. (2000) and Herut et al. (2000). The first group of authors investigated seasonal Lake Kinneret regarding chlorides, total dissolved solids, phosphorus concentrations, and nitrite. In 1998, total dissolved solids and phosphorus concentration exceeded acceptable water quality limits, with 4.5 mg/l recorded in winter and spring, and 2.7 mg/l in summer and autumn for total dissolved solids, while for phosphorus, values recorded were 24µg/l in winter and spring, and 15µg/l during summer and autumn. The second group of authors analyzed nutrient concentrations (nitrates, nitrites, phosphates, ammonia, and salicylic acid) over nine years (1990-1998) for 11 rivers, which are eroding at 2-3 stations downstream. Thus, typical concentrations of dissolved nutrients in seawater above the continental shelf near Israel range from below the detection limit to 0.09, 0.9, and 2.5 µM for phosphate, nitrates, and silicate. In most rivers, upstream stations had concentrations greater by more than an order of magnitude than downstream stations. The nutrient contamination level of the rivers recorded the following decreasing sequence: Soreq > Poleg > Alexander > Hadera ≈ Yarkon ≈ Lachish > others for phosphates; Poleg > Soreq > Alexander > Yarkon > Naaman > others for ammonia; Tananim ≈ Naaman ≈ Alexander > others for nitrates; and Poleg > Soreq > Alexander > Naaman > Hadera > others for salicylic acid.

In 2001, Feitelson and Haddad investigated the groundwater quality in the West Bank and Jerusalem area. In the northern basin, wells confronted with a recent increase of salinity, from 140 mg/l natural Cl to 700 mg/l Cl and a slight escalation of nitrate concentration. The Turonian-Cenomanian limestone aquifer comprises 870 wells, of which only 550 provide drinking water, with lithological characteristics playing a significant role in pollution propagation (Feitelson and Haddad, 2001).

As reported by Naji (2004), chloride has a concentration of 1763 mg/l in the Jordan Valley area. In the Gaza Strip, total dissolved solids amount to values of 3200 mg/l in Khan Younis and 4000 mg/l in Rafah. The absorbed sodium ratio is up to 8.8 in the Jericho area, West Bank.

For Gaza waters, the scientific study by Gray and Hilal (2006) shows that nitrate is a severe pollutant of this aquifer, in some regions reaching values of over 500 mg/L, well above the WHO recommended limit of 50 mg/L for total nitrogen. Nitrate pollution originates from sewage poisoning and agrochemical contagion. Almost 80% of Gaza wastewater is not treated in any way. Unfortunately, the most vulnerable pollution areas of the aquifer are in the densely inhabited Gaza Strip's north and south, where water easily permeates into the sandy layers that cover the aquifer.

Baalousha's 2008 study analyzes the groundwater chemical composition in the Gaza Strip, which depends on the land use. Agricultural areas have calcium rich water due to fertilizers, while residential areas, with wastewater runoff, have water augmented in sodium, nitrates, and chloride. The chloride concentration near wastewater treatment plants is likely the result of wastewater, not seawater intrusion. Thus, polluted groundwater with wastewater has low calcium concentrations and reduced HCO_3/Cl ratios, indicating calcite precipitation. Wastewater contains Na at concentrations between 300 and 500 mg/l and chloride between 250 and 500 mg/l, resulting in a Na/Cl ratio of about 1. Wastewater runoff disrupts cation balance and determines Na-Ca exchange, with calcite precipitation. Additionally, nitrate concentrations range from 50 to 420 mg/l and are found in heavily populated or intensive agriculture areas. This chemical separation process could be activated by the Ca removal from water. This is the explanation for the wells' low Ca concentration caused by agricultural activities (Baalousha, 2008). Also, statistically, in Figure 8, positive deviations of the analyzed parameters can be observed. Among these, Na and NO_3 have the most positive deviations, while Mg shows no such deviations, falling within the quartile range. SO_4 and HCO_3 have two outliers, while Ca, K and total dissolved solids have just one outlier value.

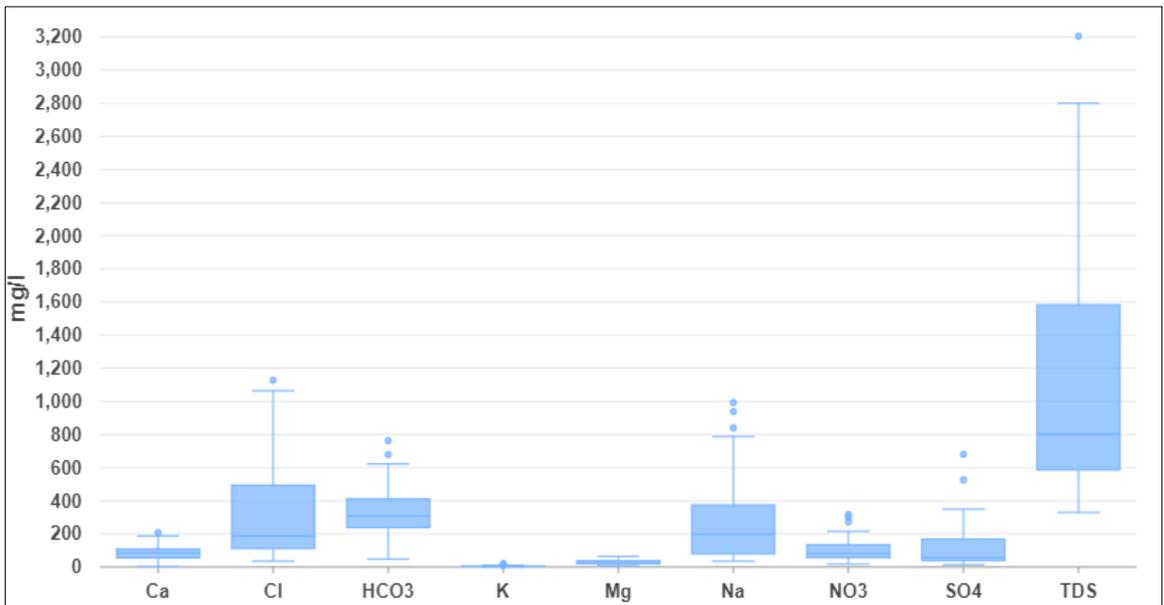


Figure 8. The boxplot of the analyzed parameters
Data source: Baalousha, 2008

In 2011, Baalousha's studies emphasized that nitrate is the main groundwater contaminant in Gaza Strip and is presumed to be of anthropogenic origin. Pathogens and viruses originate from wastewater unloading and agricultural activities. While pathogenic microorganisms and viruses can be naturally attenuated in the unsaturated waters, nitrate is difficultly diminished. Chloride is another widespread groundwater's pollutant in Gaza Strip, causing a high salinity.

According to Borst et al. (2013), high pollutant levels in Nablus (Palestine) wastewater are determined by low water consumption, a common situation in developing countries. In their study, the chemical analyses of municipal wells' groundwater indicate increases in nitrate concentration. The measured nitrate levels have been of 22 and 25 mg/l NO₃⁻ in wells at depths of 204 and 205 meters, respectively, and of 11 mg/l NO₃⁻ at a depth of 125 meters.

In 2016, Gharbia et al. examined the geographical distribution of groundwater quality in Gaza Strip. Based on geostatistical algorithms of multiple parameters (pH, nitrates, sulfates, total dissolved solids, hardness, calcium, alkalinity, magnesium, chlorides, fluoride), the distribution of groundwater quality resulted in three classes of values: poor, localized in the northern and southwestern part of the area; very poor, occupying most

surfaces; and improper for consumption in the northern part, near the capital, and in the center of the region.

El-Hallaq and Maher (2019) identified high concentrations of organic matter and heavy metals in the Gaza wadi basin based on satellite imagery.

Also in 2019, the study by Daghara et al. investigated the chemical characteristics of water in the West Bank using standardized testing procedures. The scientists measured temperature, pH, total hardness, and concentrations of nitrates, chlorine, and turbidity. Chloride load varied from 22.0 to 284 mg/L, with an average of 75.4 mg/L. Nitrate contents extended from 0 to 106 mg/L, with an average of 30 mg/L, and approximately 21% of samples surpassed the concentration admissible limit, the water being unsuitable for domestic use and causing health problems for humans and animals. Sodium ion load varied from 16.9 to 137 mg/L, with an average of 41 mg/L (Daghara et al, 2019). Regarding the pH values of different water sources, they narrowly went from 7.08 to 8.19, showing neutral to slightly alkaline features.

In 2021, Ghanem et al. analyzed the contents of calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), potassium (K^{+}), and sodium (Na^{+}), as well as the ions Cl^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} , and HCO_3 , and found that the average concentration of Ca^{2+} for all samples evaluated was 91.64 mg/l, varying between 26.4 mg/l in the A'kari spring of Betillu village and 132.3 mg/l in the Al-Balad spring of Beit Sourik village. The midpoint pH value for all springs was 7.18, shifting from 6.91 in the Al-Balad spring of Atara village to 7.65 in the Qiblia spring of Salfit city. As stated by Katz (2022), the Dead Sea salinity levels are nearly ten times higher comparing to the ocean, and the Jordan River fresh water turns progressively into salty water while approaching its mouth.

The area of the West Bank is analyzed again, this time from the chemical perspective, by Zohud and Alam (2022), who highlighted as main contaminants the followings: nitrates, chloride, sodium, ammonia, phosphates, total dissolved salts, and salinity. Human activities such as intensive agriculture and waste disposal contribute to the deterioration of groundwater quality by soil infiltration of nitrogen, phosphorus, and heavy metals' high loads, which subsequently reach groundwater. Additionally, there is a risk that agricultural areas and contaminated waste dumps in northern West Bank could exacerbate the problem. Palestine is one of the numerous countries where groundwater nitrate contamination has been announced recently. It is important to note that nitrate is one of the main water quality indicators that exceeded the allowable limit for 18% of the samples taken (Zohud and Alam, 2022).

According to Al-Khatib et al. (2023), potable water quality is a worriment in Palestine as a result of pollution sources. These scientists' work evaluated the household water quality in the Jenin governorate of the northern

West Bank. The tested chemical parameters included salinity, pH, total alkalinity, nitrate, nitrite, sulfate, chloride, sodium, potassium, aluminum, and fluoride, measured in samples collected from household water and wells. According to the local and international standards, there is a limited pollution generated by total dissolved solids, total hardness, and calcium.

As Zohud et al. (2023) stated, the West Bank groundwater pollutants are inorganic compounds, including total dissolved solids, heavy metals, cations, and anions, noting that increased nitrate levels exceeding 50 mg/L can bring future health hazards. Additionally, the concentration of Cl⁻ in northern West Bank groundwater is lower than the legal limit of 250 mg/L. However, the West Bank groundwater quality usually is depreciated at the time of the dry season and recovers throughout the rainy period.

Biological Pollution

Berman (1972) highlighted aspects related to algal blooming in the Kinneret Lake. This usually occurred from late winter to mid-spring, namely from February to April, typically with dinoflagellates (*Peridinium westii*), harmful to the environment.

Litav and Agami (1976) divided the Yarkon and Alexander rivers into sectors, in accordance with the homogeneity of water quality state, and the species were identified and listed for each sector separately. Eutrophication in the rivers mentioned above was the result of different pollution sources such as fertilizers, urban wastewater, and industrial waste. These sources increased the concentrations of nitrogen compounds, phosphates, and detergents in river water. Significant fluctuations in dissolved oxygen levels and the occurrence of algal blooms suggested the impact of biological pollution on aquatic ecosystems.

In accordance with Hambright et al. (2000), the Kinneret Lake is a vital water source in Israel, providing almost half of the country's drinking water and exhibiting a meso-eutrophic state. In the past, the lake was affected by blooms of *Peridinium gatunense* (dinoflagellate) and later by the unusual appearance of potentially toxic cyanobacteria. There were two notable periods of unacceptable water quality in Lake Kinneret, 1994-1995 and 1998. The first one was characterized by exceptional algal blooms, while in the second period, fecal coliform bacteria and zooplankton biomass exceeded the acceptable limits, during the winter rainy season. Additionally, the intensive use of lake water and drought conditions contributed to increased salinity, and the persistence of cyanobacteria and high chlorophyll levels indicated an intensification of eutrophication processes.

The study of Barinova et al. (2010) gathered material from 94 phytoplankton and periphyton samples extracted from 16 Oren River sampling stations and from 47 algae specimens obtained from 16 Zin River stations. The

Oren River ecosystem presented 218 algal species from nine taxonomic divisions, representative for alkaline temperate waters. Zin River showed 55 species and subspecies, being part of four taxonomic divisions of algae and cyanoprokaryotes. Diatoms were firmly preeminent, with *Nitzschia* and *Navicula* as prevalent genera.

Another article by Barinova et al. (2011) provides a comparative analysis of algal communities in Israeli rivers, highlighting the repercussion of environmental variables on biodiversity. The work showed that 671 algal and cyanobacterial species of nine taxonomic divisions were present from 2002 to 2009 in the Yarkon, Alexander, Hadera, Qishon, Oren, upper and lower Jordan, and Zin rivers. The scientists found that the most abundant indicator species inhabit alkaline waters with low flow, medium salinity, and low to moderate organic pollution.

According to El-Hallaq and Maher (2019), biological pollution was found in the Gaza Wadi, characterized by high levels of organic matter, fecal coliforms, and fecal streptococci. These pollutants were then dispersed along the shoreline by coastal currents, more than 11 km having a medium to high degree of contamination.

Ghanem et al. (2021) collected samples from 50 West Bank springs to determine the quality of water for domestic use. In agreement with their analysis, total coliforms were present in 100% of samples, while fecal coliforms existed in only 63% of them. Zohud and Alam (2022) pointed out that West Bank springs have high loads of total and fecal coliforms, indicating septic tanks and wastewater discharges as potential pollution sources. Results regarding fecal and total contamination indicators showed that 1.3% of groundwater samples were infected in the northern of West Bank.

In 2023, Al-Khatib et al. investigated microbiological parameters regarding the distribution of total coliforms. They analyzed 2494 samples for fecal coliforms, of which 93.30% showed no health risk, 2.34% presented a medium hazard, 0.9% exhibited a great danger, and 0.58% had a very high risk according to WHO guidelines and classifications. Total and fecal coliform results indicated the presence of microbial pollution sources, which is unacceptable for potential potable water sources.

Discussions

Based on the results presented above, it can be said that the pollution in the analyzed region is moderate. Spatially, chemical pollution is most prevalent in the study region (Figure 9). Thus, the HaMerkaz district in Israel, as well as the governorates in the Gaza Strip, recorded the most problems related to exceeding the permissible standards for various chemical parameters (Gray et al., 2006; Baalousha, 2008; Gharbia et al., 2016; Daghara et al., 2019; El-Hallaq and Maher, 2019; Zohud and Alam, 2022 etc). Additionally,

physical pollution presents significant issues in the Hefa region, where watercourses are also subject to eutrophication phenomena. In the West Bank, especially in the Hebron and Jerusalem governorates, cases of physical pollution predominate, mainly appearing in groundwater resources (Daghara et al., 2019; Palestine and Abuzerr, 2020; Zohud and Alam, 2022 etc). Biological pollution is absent in Khan Yunis, Rafah, and North Gaza, as well as in the Yerushalayim district.

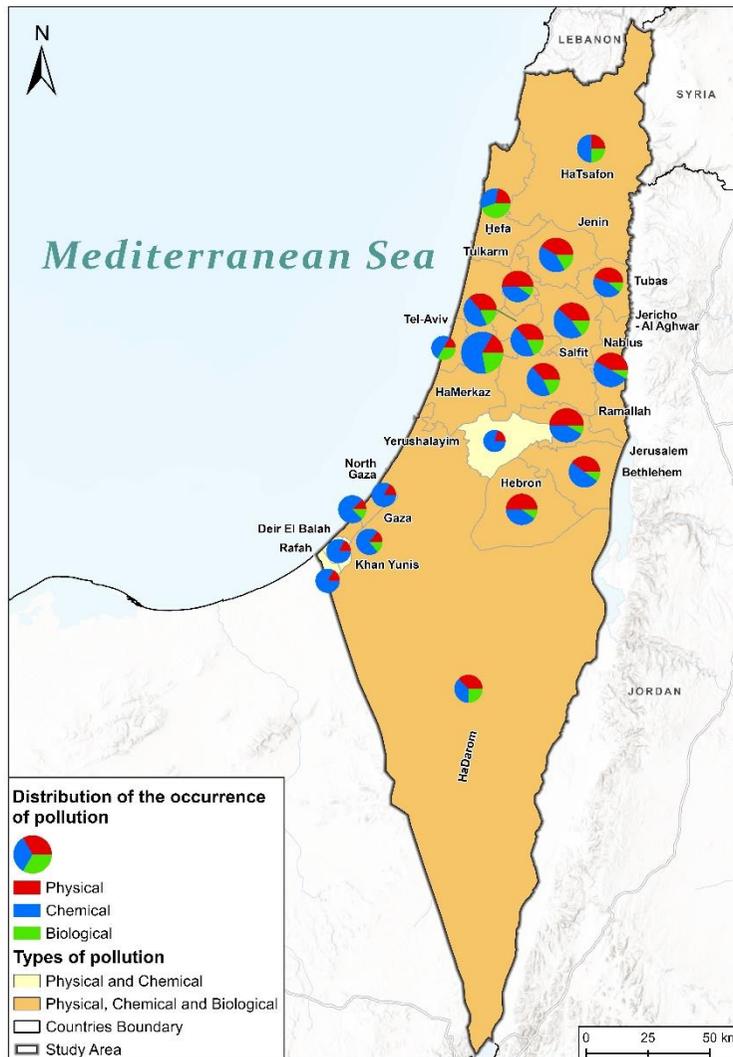


Figure 9. Distribution of the pollution occurrence by districts

Gaza Strip is the most affected by water quality problems because it lacks sewage treatment plants. Moreover, a significant portion of groundwater

is primarily polluted by nitrate, whose values exceed the WHO's permissible limit by over 10 times (Gray et al., 2006). It easily infiltrates into aquifers due to the sandy substrate in the region. Besides nitrates, other contaminants include fluoride and chloride (Daghara et al., 2019). High chloride is incompatible with the potable water, less than 10% of groundwater in the area meeting the World Health Organization standards for chloride. Thus, excessive fluoride in groundwater may induce fluorosis, affecting teeth and bones, and long-term fluoride ingestion can lead to potentially severe skeletal problems. Additionally, the Gaza Valley, the main surface water source of the Gaza Strip, is polluted with organic matter, fecal coliforms, and fecal streptococci (El-Hallaq and Maher, 2019), owing to the lack of adequate sanitation infrastructure, which led to a water crisis during the COVID-19 pandemic. Thus, in 2020, the highest concentrations of fecal bacteria in sewage-polluted seawater induced an increased risk of gastrointestinal infections, as well as skin and eye infections, especially among children, the elderly, and individuals with weak immune systems.

In the West Bank, wastewater is the main source of pollution due to high levels of phosphates, confirming that groundwater is heavily polluted with untreated or inadequately treated wastewater. Also, the presence of high nitrogen concentrations in groundwater is an indicator of its pollution and may result from nitrogen leaching from various sources, such as septic tanks, urban sewerage networks, irrigation with contaminated water, fertilizer use, and untreated wastewater discharges. Contamination with coliform bacteria usually results from the contact with untreated wastewater, many villages in this area discharging untreated wastewater into open drainage channels. Groundwater contamination, either from anthropogenic or natural sources, poses risks to human health or leads to waterborne symptoms in humans, such as diarrhea and vomiting. Permeable sewage tanks (septic tanks), which are common in two-thirds of West Bank households not connected to the sewerage network, release organic and inorganic nitrogen compounds that subsequently degrade the groundwater quality. Wastewater treatment plants are present and mainly used in urban centers (Lin et al., 2022), where about 60% of the population uses the public sewerage network, while the rest use septic tanks and cesspools to dispose the wastewater (Zohud and Alam, 2022). The percentage of the population served by septic tanks and the sewerage network in northern West Bank is 54.5% and 45.5%, respectively.

In Israel, pollution is mainly found in the wadi network that flows into the Mediterranean Sea. Thus, the massive influx of urban and industrial wastewater reaching the Alexander and Yarkon rivers has induced profound changes in several physical and chemical parameters of water (Litav and Agami, 1976). The most prominent among these are dissolved oxygen and ammonia concentration, turbidity, and the presence of detergents. It should be

emphasized that except for the cleanest sectors of the rivers, all other sections, including the unpolluted ones, were in a fairly advanced stage of eutrophication. This is evident from their high nitrate and phosphate content, high cation concentration, and turbidity. There is a clear relationship between the degree of pollution and the floristic composition of hydrophytic and hydrophilic vegetation; the cleanest sectors of both rivers contain the highest number of species, including all submerged and floating-leaved plants, which are actually exclusive to these sections.

Over time, the Mountain Aquifer area in northern Israel has been affected by pollution, as a result of anthropogenic activities (Feitelson and Haddad, 2001). Untreated wastewater infiltrates into the groundwater of the Mountain Aquifer, deteriorating its quality and contaminating downstream wells. The absence of wastewater treatment by Palestinians and the parallel expansion of water supply networks have provoked an increasingly severe environmental pollution. If wastewater is not recycled and reused, and land use is not appropriate, deterioration in the quality of groundwater can be expected in all three basins. In addition to reducing groundwater pollution, wastewater reuse can provide an important source of water for agricultural use.

At the lake level, salinization is the main process found on the shores of the regions around the Dead Sea. The major causes of salinization are excessive pumping of wells, the intrusion of seawater into the coastal aquifer, the presence of deep saline water, and geological factors. Additionally, the Sea of Galilee is affected by eutrophication, as evidenced by high turbidity values, caused by the blooming of *Peridinium* in the spring months, which requires treatment through sedimentation or filtration before the water is suitable for human consumption.

Conclusions

Within this review, 22 scientific papers from 1972 to 2023 were analyzed, mostly represented by articles from various journals. The theme addressed water pollution in the Israel and Palestine, focusing on the main three types of pollution: physical, chemical, and biological, with chemical pollution being the most approached in 17 sources. Also, from a spatial perspective, the regions most affected by pollution are represented by the Gaza Strip, the Israel Rivers that flow into the Mediterranean Sea, the Mountain Aquifer in the central-northern region of Israel and the West Bank, as well as the Dead Sea and the Sea of Galilee.

Studies on chemical pollution conducted in the Israel-Palestine region brought up significant issues related to water quality, especially in groundwater sources. The analyses have highlighted fluctuations in concentrations of chemical substances such as nitrates, phosphates, chlorides,

heavy metals, and total dissolved solids, which often exceed recommended limits for water quality. These pollution problems are the result of human activities, such as intensive agriculture, inadequate waste disposal, and uncontrolled use of chemicals.

Biological pollution represents a significant threat to aquatic ecosystems in the analyzed regions, through the occurrence of eutrophication. This manifests through algal blooming, especially in western Israel's lakes, but also along the course of temporary water networks on the coast region of the Mediterranean Sea. In addition to this process, a high number of fecal coliform bacteria were found in water bodies, having a negative repercussion on water quality and public health.

The Alexander and Yarkon rivers, the Sea of Galilee, and regions in the West Bank and Gaza Strip are areas where a large part of physical pollution is concentrated, caused by turbidity fluctuations, and household and industrial waste. In addition to these, untreated wastewater is a main pollution source, leading to high levels of phosphates and nitrogen in groundwater.

The Israel and Palestine region presents numerous pollution sources that affect the main water bodies in the region, already under stress from climate change and anthropogenic influence. An adequate management and water resources' monitoring are imperative to reduce pollution and prevent the risk of various medical conditions among the population.

Acknowledgments: We want to thank Ionela Tițoiu, Iuliana-Gabriela Șerban, Mihaela-Elena Mazilu, Sorin Drăgan, Ionel-Bogdan Stan and Gheorghe-Cristian Zâmbrea for their help in the initial documentation of the scientific sources.

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. Ahiram, E., Siniora, H., (1994). The Gaza Strip Water Problem an Emergency Solution for the Palestinian Population. *Studies in environmental science*, Vol. 58, pp. 261-271. Elsevier.
2. Al-Khatib, I.A., Al-Jabari, M., Al-Oqaili, M., (2023). Assessment of Bacteriological Quality and Physiochemical Parameters of Domestic Water Sources in Jenin Governorate: A Case Study. *Journal of Environmental Public Health*, :8000728. doi: 10.1155/2023/8000728. PMID: 37470053; PMCID: PMC10353905.

3. Baalousha, H.M., (2008). Analysis of nitrate occurrence and distribution in groundwater in the Gaza Strip using major ion chemistry. *Global NEST Journal*, Vol 10, No 3, pp 337-349
4. Baalousha, H., (2011). Mapping groundwater contamination risk using GIS and groundwater modelling. A case study from the Gaza Strip, Palestine. *Arabian Journal of Geosciences*, 4, 483–494. <https://doi.org/10.1007/s12517-010-0135-0>
5. Baalousha, H., (2011). Water scarcity and environmental problems in the Gaza Strip, Palestine: origin, impacts and prospects for solutions in Water Shortages: Environmental, Economic and Social Impacts. *Nova Science Publishers*, pp 79-104
6. Barinova, S.S., Yeuda, G., Nevo, E., (2010). Comparative analysis of algal communities in the rivers of northern and southern Israel as bearing on ecological consequences of climate change. *Journal of Arid Environments*, 74 (7), 765—776, 10.1016/j.jaridenv.2009.03.001
7. Barinova, S.S., Petrov, A., Nevo, E., (2011). Comparative analysis of algal biodiversity in the rivers of Israel. *Central European Journal of Biology*, 6(2), pp 246-259, DOI: 10.2478/s11535-010-0108-z
8. Berman, T., (1972). The Sea of Galilee: Pollution Problems and Prospects. *Boston College Environmental Affairs Law Review*, Vol 2, Issue 2, pp 365-381
9. Borst B., Nidal J. M., N. P. Van der Steen, Piet N.L. Lens., (2013). A Case Study of Urban Water Balancing in the Partly Sewered City of Nablus-East (Palestine) to Study Wastewater Pollution Loads and Groundwater Pollution, *Urban Water Journal*, 10, no. 6: 434–46. doi:10.1080/1573062X.2012.750373.
10. Brooks, D., (2003). Water, human rights and governance in the Middle East: an essay illustrated by conflicts over water between Israelis and Palestinians, *Water Nepal*, vol. 9/10, no. 1/2, pp 185-195
11. Daghara A., Al-Khatib I. A., Al-Jabari M., (2019). Quality of Drinking Water from Springs in Palestine: West Bank as a Case Study. *Journal of Environmental and Public Health*, 1–7. doi:10.1155/2019/8631732
12. El-Hallaq, Maher A., (2019). Studying the Impact of Pollution from Wadi Gaza on the Mediterranean Sea Using GIS and Remote Sensing Techniques. *Advances in Remote Sensing*, 8(1) 40-50.
13. El-Nakhal, H.A., (2004). Alternatives to tap water: a case study of the Gaza Strip, Palestine, *Environmental Geology*. 46, 851–856, <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1070-8>
14. Feitelson, E., (2000). The ebb and flow of Arab–Israeli water conflicts: are past confrontations likely to resurface?. *Water Policy*, 2(4-5), 343–363. doi:10.1016/s1366-7017(00)00009-x

15. Feitelson, E., Haddad, M., (2001). Management of Shared Groundwater Resources: The Israeli-Palestinian Case with an International Perspective, Kluwer Academic Publishers, Boston
16. Feitelson E., (2002). Implications of shifts in the Israeli water discourse for Israeli-Palestinian water negotiations, *Political Geography*, 21 (3), 293–318
17. Ghanem, M., Ahmad, W., Keilani, Y., Sawaftah, F., Schelter, L., Schuettrumpf, H., (2021). Spring water quality in the central West Bank, Palestine. *Journal of Asian Earth Science*, X, 5, 100052. doi:10.1016/j.jaesx.2021.100052
18. Gharbia A., Gharbia S., Abushbak T., Wafi H., Aish A., Zelenakova M. and Pilla F., (2016). Groundwater Quality Evaluation Using GIS Based Geostatistical Algorithms. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4, 89-103. doi: 10.4236/gep.2016.42011.
19. Gray, A., (2006). "Positive Conditions" -The Water Crisis In Gaza, URL:<http://www.countercurrents.org/pa-gray090806.htm>
20. Gray, A., Hilal, J., (2006). *The water crisis in the Palestinian Territories: challenges and opportunities for development, in Integrated Water Resources Management and Security in the Middle East*, Springer, Dordrecht, pp 99-117
21. Gvirtzman, H., (2012). *The Israeli-Palestinian water conflict: an Israeli perspective*. Begin-Sadat Center for Strategic Studies.
22. Haddaoui, I., Mateo-Sagasta J., (2021). A review on occurrence of emerging pollutants in waters of the MENA region. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 68090–68110. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16558-8>
23. Hambright, K. D., Parparov, A., Berman, T., (2000). Indices of water quality for sustainable management and conservation of an arid region lake, Lake Kinneret (Sea of Galilee), Israel. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 10(6), 393–406
24. Herut, B., Kress, N., Hornung, H., (2000). Nutrient pollution at the lower reaches of Mediterranean coastal rivers in Israel. *Water Science and Technology*, 42(1-2), 47-152, doi:10.2166/wst.2000.0306
25. Ide, T., Fröhlich, C., (2014). Water conflict or water cooperation? A discursive understanding of water conflict and cooperation in Israel and Palestine. In *Norwich Conference on Earth System Governance*, Norwich, UK, July 1-3, <https://hdl.handle.net/11858/00-001M-0000-0027-A38A-F>
26. Isaac, J., (2000). The essentials of sustainable water resource management in Israel and Palestine, *Arab Studies Quarterly*, Vol. 22, No. 2 (Spring 2000), pp. 13-31

27. Katz, D., (2022). Basin Management under Conditions of Scarcity: The Transformation of the Jordan River Basin from Regional Water Supplier to Regional Water Importer. *Water*, 14(10):1605. <https://doi.org/10.3390/w14101605>
28. Laronne, J.B., Alexandrov, Y., Reid, I., (2004). Surface water characterization and utilization in the Middle East, respectively exemplified by Nahal Eshtemoa (Wadi Samoa) & the Shiqma Besor (Wadi Gaza) reservoirs, Israel. In: H. Shuval and H. Dwiek, eds. *Water for life in the Middle East*, Vol. 2, Jerusalem: Israel/Palestine center for research and information, 680–692
29. Lin, L., Yang, H., Xu, X., (2022). Effects of water pollution on human health and disease heterogeneity: a review. *Frontiers in environmental science*, 10, 880246.
30. Litav, M., Agami, M., (1976). Relationship between water pollution and the flora of two coastal rivers of Israel. *Aquatic Botany*, Vol 2, 23-41, [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(76\)90005-X](https://doi.org/10.1016/0304-3770(76)90005-X)
31. Maimon, G., (2014). Freshwater Pollution in Israel-Palestine and Policy - A case-study on the correlation between water politics, water management and freshwater pollution in Israel-Palestine. *International Pollution Issues*, accesat la adresa web: <https://intlpollution.commons.gc.cuny.edu/freshwater-pollution-in-israel-palestine-and-policy/>
32. Mojabi S.M, Ghourchi, M., Feizi, F., (2010). Adverse consequences of conflicts and wars on environment and public health. *International Conference on Environmental Engineering and Applications*, Singapore, pp. 125-129, doi: 10.1109/ICEEA.2010.5596109.
33. Naji, F., (2004). *Water Resources Management in Palestine: Political, Technical and Financial Obstacles*, in *Water in the Middle East and in North Africa*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp 239-249, https://doi.org/10.1007/978-3-662-10866-6_20
34. Palestine, P. F., Abuzerr, S., (2020). *The Impact of Environmental Pollution on Public Health in Light of the COVID-19 Pandemic in Fragile and Conflict Settings: Reflections from the Gaza Strip*
35. Popa V., (2012), *Geografia Statelor Asiei*, Editura Universitară, București
36. Salameh, M.T.B., Alraggad, M., Harahsheh, S.T., (2021). The water crisis and the conflict in the Middle East, *Sustainable Water Resources Management*, Vol. 7, Issue. 5. DOI:10.1007/s40899-021-00549-1
37. Srebro, H., (2018). Historical cartographic materials as a source for international and cadastral boundary management in rivers, *Proceedings of the International Cartographic Association*, 1, 104, <https://doi.org/10.5194/ica-proc-1-104-2018>.

38. Warren-Vega WM, Campos-Rodríguez A, Zárata-Guzmán AI, Romero-Cano LA., (2023). A Current Review of Water Pollutants in American Continent: Trends and Perspectives in Detection, Health Risks, and Treatment Technologies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5):4499. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054499>
39. Wiczyk, O., (2003). An Analysis of the Treaty of Peace between Israel and Jordan in the Context of International Water Law. *Yearbook of International Environmental Law*, 14(1), 139–160. doi:10.1093/yiel/14.1.139
40. Yoffe, S.B., Wolf, A.T., (1999). Water, conflict and cooperation: Geographical perspectives, *Cambridge Review of International Affairs*, 12(2), 197-213, DOI: 10.1080/09557579908400256
41. Zohud A, Alam L., (2022). A Review of Groundwater Contamination in West Bank, Palestine: Quality, Sources, Risks, and Management. *Water*, 14(21):3417. <https://doi.org/10.3390/w14213417>
42. Zohud A., Alam L., Goh C.T., (2023). Evaluation of Groundwater Quality Using the Water Quality Index (WQI) and Human Health Risk (HHR) Assessment in West Bank, Palestine. *Hydrology*, 10(10):198. <https://doi.org/10.3390/hydrology10100198>

Dynamique spatio-temporelle des écosystèmes de la Réserve de Biosphère de Gadabédji dans la zone Nord Sahélienne au centre du Niger

Abdoulaye Abdou Siradji
Inoussa Maman Maarouhi

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

Mansour Mahamane
Université de Diffa, Niger
Assoumane Guero Ousseini
Hamani Noma Abdoul Latif

Douma Soumana
Bakasso Yacoubou
Mahamane Ali

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

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n18p310](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p310)

Submitted: 20 May 2024

Accepted: 25 June 2024

Published: 30 June 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Siradji, A. A., Maarouh, I. M., Mahamane, M., Ousseini, A. G., Latif, H. N. A., Soumana, D., Yacoubou, B., & Ali, M.. (2024). *Dynamique spatio-temporelle des écosystèmes de la Réserve de Biosphère de Gadabédji dans la zone Nord Sahélienne au centre du Niger*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (18), 310. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p310>

Résumé

La dégradation des écosystèmes dans les aires protégées de l'Afrique de l'Ouest est un phénomène réel et entraînant un déséquilibre écologique. Dans ce contexte, les aires protégées du Niger ne sont pas épargnées de cette dégradation, particulièrement la Réserve de Biosphère de Gadabédji. Cette dernière est sous la pression anthropique qui modifie la configuration des écosystèmes naturels. La présente étude a été conduite dans la Réserve de Biosphère de Gadabédji et a pour objectif principal de contribuer à la compréhension sur l'évolution des écosystèmes de la Réserve à l'aide des

images satellitaires des années 1990, 2013 et 2022. La démarche méthodologique utilisée est basée sur le Système d'Information Géographique et de la Télédétection. L'algorithme de maximum de vraisemblance a été appliqué lors de la classification supervisée. Il ressort de cette étude, six classes d'occupation des sols qui ont été identifiées à savoir les classes de Steppe arborée, Steppe arbustive, Steppe herbeuse, Sol nu, Zone brûlée et Mare. La détection des changements a révélé 26 transitions des classes entre 1990 et 2013 dont la transition de Steppe arbustive vers Steppe herbeuse est la plus représentée. De 2013 à 2022, 27 transitions ont été identifiées, la plus importante est celle de Steppe herbeuse vers Steppe herbeuse. Ces résultats pourraient servir aux décideurs pour une gestion durable des ressources naturelles.

Mots-clés: Réserve, paysage, occupation des sols, télédétection, fragmentation, Niger

Spatio-temporal dynamics of the ecosystems of the Gadabédji Biosphere Reserve in the North Sahelian zone of central Niger

Abdoulaye Abdou Siradji
Inoussa Maman Maarouhi

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

Mansour Mahamane
Université de Diffa, Niger
Assoumane Guero Ousseini
Hamani Noma Abdoul Latif

Douma Soumana
Bakasso Yacoubou
Mahamane Ali

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

Abstract

The degradation of ecosystems in West Africa's protected areas is a real phenomenon that leads to an ecological imbalance. In this context, Niger's protected areas are not spared from this degradation, particularly the Gadabédji Biosphere Reserve. The latter is under anthropogenic pressure that modifies the configuration of natural ecosystems. The present study was

conducted in the Gadabédji Biosphere Reserve and has the main objective of contributing to the understanding of the evolution of the ecosystems of the Reserve using satellite images from the years 1990, 2013 and 2022. The methodological approach used is based on the Geographic Information System and Remote Sensing. The maximum likelihood algorithm was applied during the supervised classification. The study shows that six land cover classes have been identified, namely the classes of Tree Steppe, Shrub Steppe, Grassy Steppe, Bare Ground, Burned Area and Pond. The detection of changes revealed 26 class transitions between 1990 and 2013, of which the transition from Shrubby to Grassy Steppe is the most represented. From 2013 to 2022, 27 transitions were identified, the most important being from Grassy Steppe to Grassy Steppe. These results could be used by decision-makers for the sustainable management of natural resources.

Keywords: Reserve, landscape, land cover, remote sensing, fragmentation, Niger

Introduction

Aujourd'hui, la dégradation des écosystèmes naturels fait partie des problèmes environnementaux et peut être définie comme la perte de la biodiversité (Soulama *et al.*, 2015). Ainsi, l'étude des changements d'occupation et utilisation des sols et leurs interactions avec les sociétés humaines et leurs territoires constitue un enjeu majeur pour la communauté scientifique dans un contexte de changement globale (Samuel, 2014). Par ailleurs, les aires protégées constituent des puits de carbone et des réservoirs de la biodiversité les plus importants de la planète (Marion, 2018; Roxane, 2015). Elles contribuent dans l'adaptation et l'atténuation des effets du changement climatique et participe à la protection des écosystèmes (Trumper *et al.*, 2009). Selon FAO (2018), les aires protégées sont indispensables à la vie sur terre et au développement durable. En Afrique, les aires protégées jouent un rôle central particulièrement pour les populations riveraines dont l'avenir est lié à celui des écosystèmes qu'elles exploitent (Sournia, 1998). En Afrique et particulièrement au Niger, les aires protégées totalisent environ 18,11 millions d'hectares d'aires de conservation de la faune et de la flore soit 14,29% de la superficie du territoire national (DFC/AP, 2012). En outre, le pays abrite d'importantes ressources fauniques telles que : Eléphant (*Loxodonta africana*), Lion (*Panthera leo* Linnaeus), Buffle (*Syncerus caffer* Sparrman), Girafe (*Giraffa camelopardalis peralta* Linnaeus), Léopard (*Panthera pardus* Linnaeus), Antilope cheval (*Hippotragus equinus*), Addax (*Addax nasomaculatus* Zachi Evenor), Gazelles dama (*Gazella dama* Pallas), Gazelle dorcas (*Gazella dorcas* Linnaeus) et le Mouflon à manchette (*Ammotragus lervia* Pallas) (Laouel, 2014). Malgré ces aires protégées

présentent de potentialité biologique riche et variées, elles subissent sévèrement les effets conjugués des activités anthropiques et des variabilités climatiques qui en résultent à des menaces telles que la fragmentation des paysages naturels, la destruction des habitats naturels, leur perte de connectivité et les invasions biologiques (Hatfield *et al.*, 2018). Avec l'avancement du Système d'Information Géographique et de la Télédétection utilisés par plusieurs auteurs (Abdoulaye, 2022; Avakoudjo *et al.*, 2014; El-Hadraoui, 2013; Gildas *et al.*, 2016; Idrissa *et al.*, 2019; Inoussa, 2011; Kouassi, 2014), il ressort de ces travaux l'existence des nombreuses mutations intervenues dans les aires protégées en Afrique de l'Ouest avec une situation plus préoccupante en zone sahélienne. A l'instar des autres aires protégées, la Réserve de Biosphère de Gadabédji au Niger n'est pas épargnée de ce phénomène. Cependant, peu d'informations spécifiques sur la dynamique paysagère de cette Réserve sont disponibles à l'état actuel. L'objectif général est d'analyser la dynamique des écosystèmes de la Réserve de Biosphère de Gadabédji. Il s'agit spécifiquement de : (i) établir les cartes d'occupation des sols pour les années 1990, 2013 et 2022, et (ii) évaluer les changements d'occupation des sols.

Materiel et Methodes

Zone d'étude

La Réserve de Biosphère de Gadabédji (RBG) est située au centre Nord du pays entre les longitudes 7°01' et 7°09' Est et entre les latitudes 14°59' et 15°72' Nord (**Figure 1**). Elle est à une distance environ de 110 Km de Maradi. Cette aire protégée a été créée par Arrêté N°3120/SF/F du 25 avril 1955. Depuis sa création en 1954, elle a subi deux statuts : de la forêt classée est devenue la Réserve Totale de Faune de Gadabédji et en date du 14 Juin 2017, cette Réserve est classée par l'UNESCO en tant que Réserve de Biosphère de Gadabédji avec une superficie de 1 1413625 hectares (Saley, 2019). Le climat de cette zone est de type semi-aride avec une pluviométrie qui avoisine entre 200 à 400 mm (Hiernaux & Le Houéroun, 2006). Cette zone est caractérisée par trois grandes saisons, à savoir la saison sèche froide qui commence à partir du mois d'octobre et prend fin dans le mois de février soit environ 5 mois, la saison sèche chaude de mars à juin environ 3 à 4 mois et la saison pluvieuse, de juillet à septembre environ 3 mois. Trois principaux types de sols sont rencontrés, il s'agit de sols ferrugineux tropicaux ou sols dunaires, les sols hydromorphes et les sols limono-argileuses (Saley, 2019).

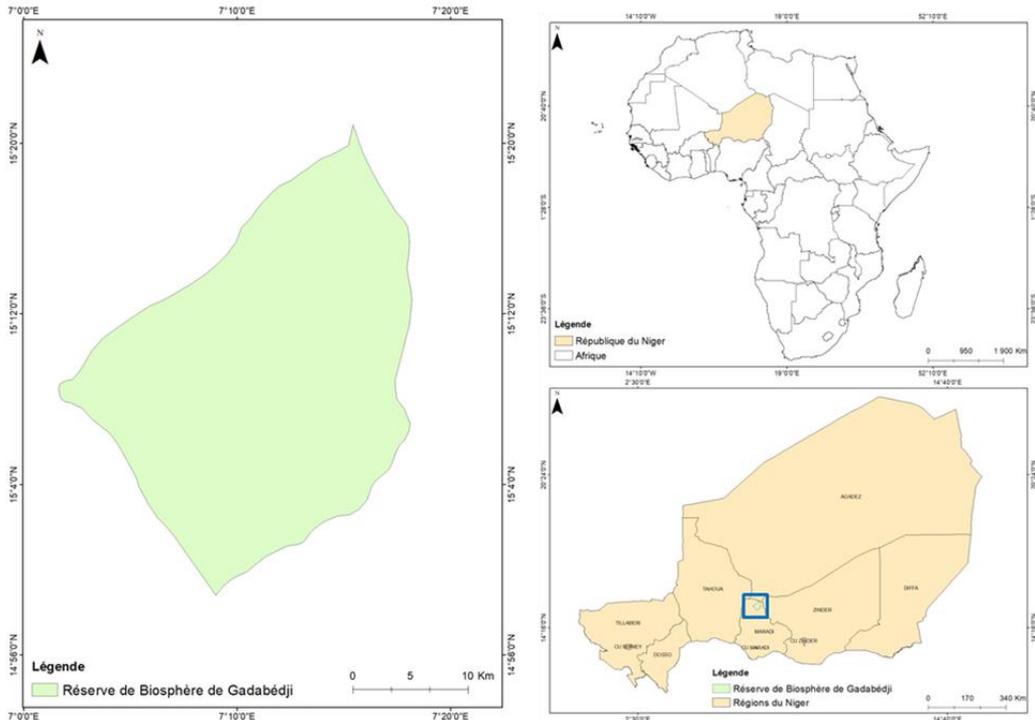


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

Approches méthodologiques

Acquisition et traitement d'images

La **Figure 2** présente l'organigramme déclinant les différentes étapes méthodologiques utilisées dans cette étude. La première étape est l'acquisition des images satellitaires dont les caractéristiques et les dates sont données par le **Tableau 1**. Il s'agit des images de 1990, 2013 et 2022 du mois de décembre qui correspondent à la période sèche dans la zone d'étude. Le choix de cette période est basé sur la meilleure perception de la végétation (Jensen, 1983). Ces images ont été téléchargées gratuitement sur le site gouvernemental de *United States of Geological Survey* via le lien <https://www.usgs.gov/software/earth-explorer-ee>.

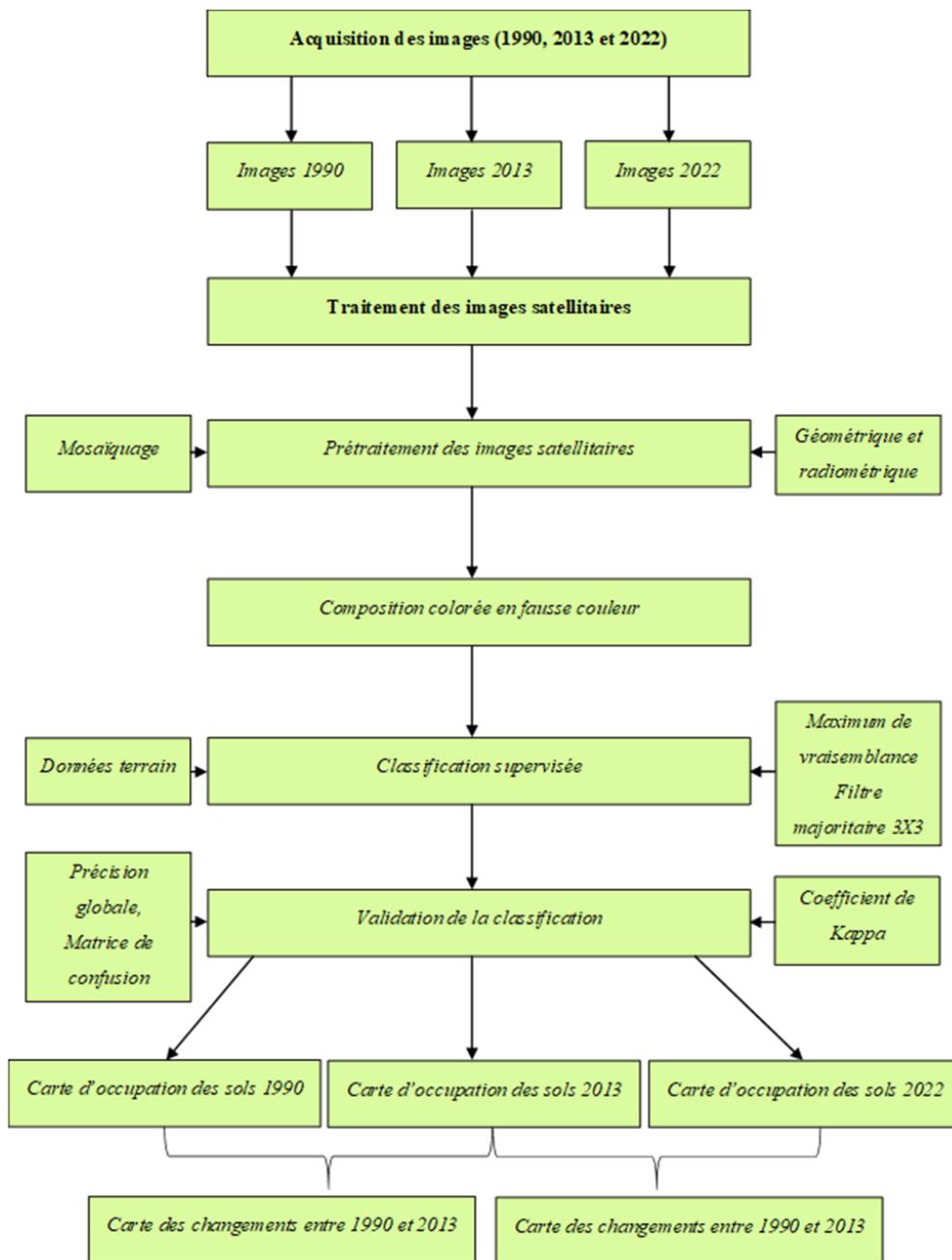


Figure 2 : Organigramme de la démarche méthodologique

Tableau 1 : Caractéristiques des images satellitaires Landsat (Source : USGS Explorer)

Satellites	Scènes	Références	Dates	Résolution
Landsat 5	LT05_L2SP_190049_19901228_20200915_02_T1.tar LT05_L2SP_190050_19901228_20200915_02_T1.tar	190-049 190-050	28/12/1990	30 m
Landsat 8	LC08_L2SP_190049_20131227_20200912_02_T1.tar	190-049	27/12/2013	30 m
Landsat 9	LC09_L2SP_190049_20221212_20221214_02_T1.tar	190-049	12/12/2022	30 m

Les images retenues ont suivi un prétraitement qui a consisté à des corrections radiométriques et géométriques. Par la suite, les images en composition colorée ont été produites par la combinaison des bandes spectrales dans les différents canaux (**Figure 2**). Afin de réaliser une classification supervisée des images, des données ont été collectées sur le terrain dans la RBG. Au total, 382 sites ont été visités. Pour chaque site, les renseignements notés sont les coordonnées géographiques, les types de végétation ; les espèces végétales dominantes ; la géomorphologie (plateau, versant, mi-versant, bas versant) et des photos d'illustration (**Figure 3**). L'algorithme de classification utilisé est le maximum de vraisemblance avec l'application d'un filtre majoritaire 3X3.



Figure 3 : Photos d'illustration des classes d'occupation des sols : A : Steppe arborée, B : Steppe herbeuse et C : Zone brûlée.

La validation des résultats de la classification a été effectuée à l'aide des indices suivants :

- **Coefficient de Kappa**

Il permet d'évaluer les similarités entre les résultats obtenus et ceux prévus (Agbanou, 2018). Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus le coefficient est proche de 1 plus le résultat est meilleur (Abdoulaye, 2022). Par exemple, un indice de Kappa de 0,75 signifie que 75 % de pixels sont bien classés dans leurs classes lors de la classification. Ce coefficient constitue une mesure fiable dans le processus de l'évaluation des classifications numériques des images satellitaires (Mama *et al.*, 2020).

$$K = \frac{P(A)-P(E)}{1-P(E)} \quad (1)$$

Avec $P(A)$ est la correspondance observée entre les classes et $P(E)$ est la probabilité hypothétique de correspondance.

- **Précision globale**

Elle correspond au rapport du nombre total de pixels correctement classés sur le nombre total de pixels de vérification. La précision globale varie de 0 à 100%, une classification est fiable et exploitable si la précision globale est supérieure ou égale à 80% (Lafleur, 2015).

$$IPG = \frac{\sum \text{Pixels correctement classifiés}}{\text{Nombre total de pixel}} \times 100 \quad (2)$$

Avec IPG qui est l'indice de précision global.

- **Matrice de confusion**

La matrice de confusion permet de dégager le pourcentage des classes bien classées suivant la diagonale. Les erreurs de commission correspondent à des erreurs de pixels sur les lignes alors que les erreurs d'omission tiennent en compte des erreurs sur les colonnes (Oreste *et al.*, 2019).

- **Erreur de commission (EC) et Erreur d'omission (EO)**

$$EC = 1 - ICV \quad (3)$$

Avec EC : Erreur de commission ; ICV : Indice cartographique de validation qui est le nombre total des pixels bien classés dans leurs classes (lignes) divisé par le nombre total des pixels de cette même classe.

$$EO = 1 - IPC \quad (4)$$

Avec EO : Erreur d'omission ; IPC : Indice de pureté des classes qui est le rapport entre le nombre des pixels bien classés dans leurs classes (colonnes) et le nombre total des pixels de cette classe.

Analyses cartographiques

A partir du logiciel ENVI 5.3, les images classifiées des différentes dates ont été vectorisées (conversion du format *raster* en *shapefile*) et exportées dans le logiciel Arc Gis 10.4 pour la visualisation des différentes classes d'occupation des sols et des calculs statistiques. Au cours de cette étape, six (6) classes thématiques ont été retenues suivant le système de référence de FAO (2022) sur l'occupation des sols de l'Afrique de l'Ouest. Il s'agit de : Steppe arborée, Steppe arbustive, Steppe herbeuse, Zone brûlée, Sol nu et Mare.

Identification des processus de transformation paysagère

Le processus de transformation paysagère est défini à l'aide d'un arbre de décision élaboré par (Bogaert *et al.*, 2004). Ainsi, une valeur prédéfinie de la proportion de diminution d'aire ($t = 0,5$) est utilisée pour distinguer le processus de fragmentation et de la dissection (Barima *et al.*, 2009). Une valeur observée (t_{obs}) est calculée à partir de la formule suivante :

$$t_{obs} = \frac{a_2}{a_1} \quad (5)$$

Lorsque $t_{obs} < t$, il existe un phénomène de fragmentation par contre si $t_{obs} > t$, phénomène de dissection. Soit a_1 , P_1 et n_1 représentent respectivement l'aire, le périmètre et le nombre de taches de l'année initiale et a_2 , P_2 , et n_2 désignent respectivement l'aire, le périmètre et le nombre de taches de l'année finale. Ces paramètres sont utilisés pour identifier les dix processus de transformation paysagère (**Figure 4**).

- *Nombre de taches*

Le nombre total de taches d'une classe est la somme des taches qui composent cette classe (Bogaert *et al.*, 2004). Le nombre de taches d'une classe élevé indique une fragmentation. Par contre, le nombre de taches d'une classe faible signifie une homogénéisation (Davidson, 1998).

$$n_j = \sum_{i=1}^n n_{ij} \quad (6)$$

Avec n_{ij} qui représente le nombre de taches de la i -ème tache de la classe j .

- *Aire totale*

L'aire totale d'une classe j est l'aire occupée par l'ensemble des taches i qui composent cette classe (Idrissa *et al.*, 2019). Elle a été calculée à partir de la formule suivante :

$$a_{tj} = \sum_{i=1}^{n_j} a_{ij} \quad (7)$$

Avec a_{ij} qui représente l'aire de la i -ème tache de la classe j .

- *Périmètre total d'une classe*

Le périmètre total est la somme des contours de chacune des taches P_i de cette classe, exprimé en Km (Inoussa, 2011). Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$t = \sum_{i=1}^n P_{ij} \quad (8)$$

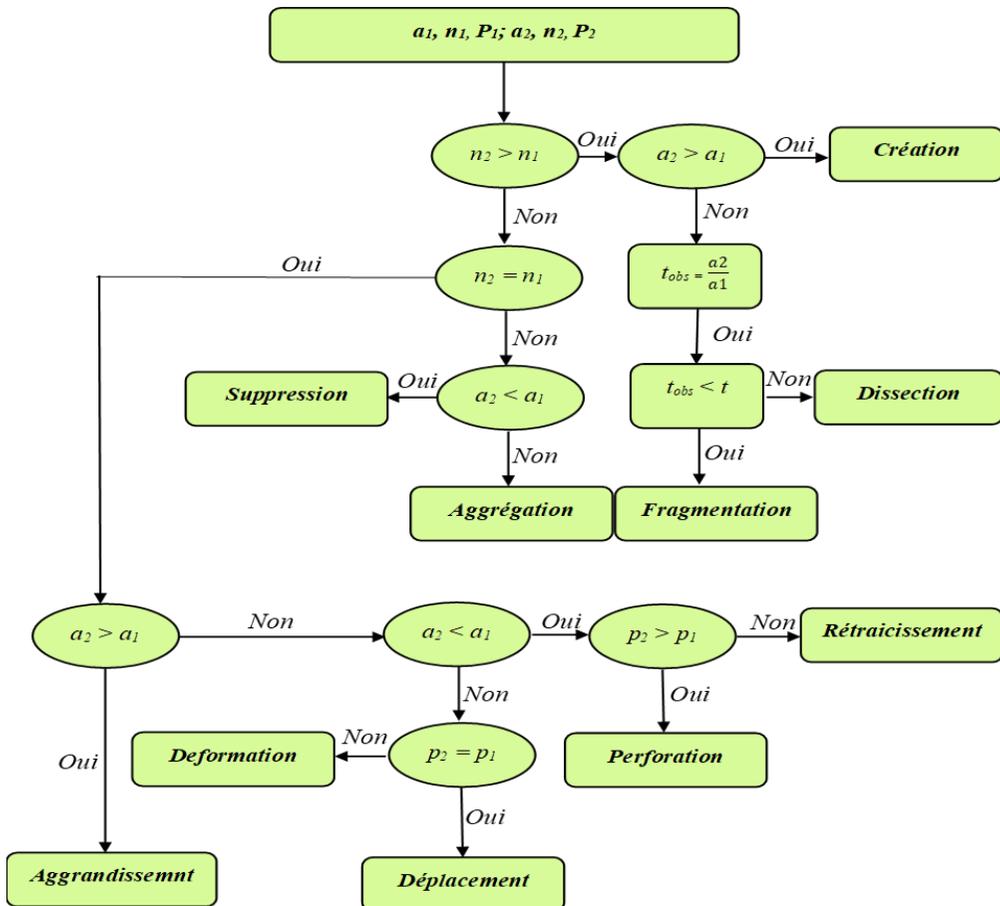


Figure 4 : Identification du processus de transformation spatiale (Bogaert et al., 2004)

Evaluation de la dynamique d'occupation des sols

L'évaluation de la dynamique des écosystèmes a été faite à partir de la réalisation des cartes des changements, du taux d'évolution, de la vitesse d'évolution et de la matrice de transition.

- Réalisation des cartes des changements

Les cartes des changements ont été élaborées par le croisement de deux cartes de l'année initiale et de l'année finale. Ainsi, ce croisement a été fait sur la base d'une comparaison entre les classes selon la période afin de ressortir les différents changements. L'appréciation des processus de mutation des écosystèmes s'est effectuée suivant trois possibilités en fonction du taux d'évolution des classes d'occupation des sols et de la qualité d'échange entre ces classes : stabilité, progression et régression.

- Matrice de transition

La matrice de transition permet de mettre en évidence les différentes formes de conversion que subissent les classes d'occupation des sols entre deux

périodes. Elle est constituée de x lignes et de y colonnes. Le nombre x de lignes de la matrice indique le nombre des classes d'occupation des sols de la période initiale tandis que le nombre y de colonnes de la matrice indique le nombre d'occupation des sols de la période finale. La diagonale contient les aires des classes d'occupation des sols restées inchangée (Kiansi *et al.*, 2021).

- **Taux d'évolution des classes d'occupation des sols**

Il permet d'évaluer l'impact de la pression anthropique sur le paysage (Krummel *et al.*, 1987). Sa formule est la suivante :

$$T = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \quad (9)$$

Avec A_1 et A_2 représentent respectivement l'aire de l'année initiale et de l'année finale.

Selon Barima *et al.* (2009), T positif indique une progression de l'aire de l'année initiale A_1 vers l'année finale A_2 , T négatif signifie une régression de l'aire de l'année initiale A_1 vers l'année finale A_2 et T est nul donc il y a une stabilité de l'aire entre les deux années.

- **Vitesse d'évolution des classes d'occupation des sols**

D'après Agbanou *et al.* (2019), la vitesse d'évolution des classes d'occupation des sols est le phénomène d'extension ou de régression d'une classe exprimée en ha/an. Elle est calculée selon la formule suivante :

$$\Delta S = \frac{A_2 - A_1}{t_2 - t_1} \quad (10)$$

Où : ΔS : Vitesse d'évolution d'une classe d'occupation des sols ; A_1 : aire occupée par la classe à l'année initiale (ha), A_2 : aire occupée par la classe à l'année finale (ha), t_1 : année initiale et t_2 : année finale.

Resultats

Validation de la classification

La discrimination entre les différentes classes d'occupation des sols est statistiquement significative pour les images des années 1990, 2013 et 2022. En effet, les résultats des précisions globales varient de 99,59%, 98,12% et 99,81% avec des valeurs du coefficient Kappa élevés de 0,98, 0,94 et 0,99 (Tableau 2).

Tableau 2 : Indices de Précision globale et coefficients de Kappa issues de la classification

Images Landsat	Indices de Précision globale (%)	Coefficients Kappa
1990	99,59	0,98
2013	98,12	0,94
2022	99,81	0,99

Les résultats des matrices de confusion révèlent globalement une confusion non significative entre les images de trois périodes (1990, 2013 et 2022). En effet, les classes d'occupation des sols les plus discriminées sont la classe (F), 100% de pixels de cette classe sont correctement classifiés dans les deux périodes (2013 et 2022). Cependant, cette classe est absente dans la période 1990. Ensuite vient la classe (D) dans les trois cas plus de 96% de pixels de cette classe sont correctement classifiés puis la classe (E) qui présente plus de 93% de pixels sont correctement classifiés dans les trois cas et la classe (A) dont les valeurs de pixels correctement classifiées varient de 90% à 96% dans les trois cas. Par contre, les classes (B) et (C), dans les trois cas les pixels correctement classifiés varient respectivement de 88% à 97% et 87% à 97% (**Tableau 3, 4 et 5**). Par ailleurs, quelques erreurs de commission et d'omission sont enregistrées et varient respectivement de 0% à 9% et de 1% à 8% en 1990, de 0% à 13% et de 0% à 14% en 2013 et de 0% à 4% et de 0% à 5% en 2022.

Tableau 3 : Matrice de confusion et les erreurs de commission et d'omission des images

1990						
Classes	A	B	C	D	E	EC
A	96	0	2	0	2	4
B	1	91	7	0	0	9
C	0	3	95	2	0	5
D	0	0	0	100	0	0
E	0	0	2	0	98	2
EO	1	4	8	1	7	

Légende : A : Steppe arborée ; B : Steppe arbustive ; C : Steppe herbeuse ; D : Sol nu ; E : Zone brûlée ; EC : Erreur de Commission ; EO : Erreur d'Omission.

Tableau 4 : Matrice de confusion et les erreurs de commission et d'omission des images

2013							
Classes	A	B	C	D	E	F	EC
A	90	7	3	0	0	0	10
B	4	88	7	1	0	0	12
C	2	11	87	0	0	0	13
D	1	3	0	96	0	0	4
E	4	0	3	0	93	0	7
F	0	0	0	0	0	100	0
EO	14	12	11	2	3	0	

Légende : A : Steppe arborée ; B : Steppe arbustive ; C : Steppe herbeuse ; D : Sol nu ; E : Zone brûlée ; F : Mare ; EC : Erreur de Commission ; EO : Erreur d'Omission.

Tableau 5 : Matrice de confusion et les erreurs de commission et d'omission des images 2022

Classes	A	B	C	D	E	F	EC
A	96	1	2	0	0	1	4
B	0	97	3	3	0	0	3
C	0	3	97	0	0	0	3
D	0	0	0	100	0	0	0
E	0	0	0	0	100	0	0
F	0	0	0	0	0	100	0
EO	2	3	5	0	1	2	

Légende : A : Steppe arborée ; B : Steppe arbustive ; C : Steppe herbeuse ; D : Sol nu ; E : Zone brûlée ; F : Mare ; EC : Erreur de Commission ; EO : Erreur d'Omission.

Etat des classes d'occupation des sols des années 1990, 2013 et 2022

Les différents traitements des images satellitaires ont abouti à la réalisation des cartes d'occupation des sols des années 1990, 2013 et 2022 (**Figure 5**). Au total six (6) classes d'occupation des sols ont été identifiées constituant les légendes des cartes. Le **Tableau 6** présente la description de ces différentes classes.

Tableau 6 : Description des classes d'occupation des sols

Classes d'occupation des sols	Description
Steppe arborée	<i>Balanites aegyptiaca</i> stand, <i>Sclerocarya birrea</i> , <i>Acacia nilotica</i>
Steppe arbustive	<i>Ziziphus mauritiana</i> , <i>Maerua crassifolia</i> , <i>Comiphora africana</i> , <i>Boscia senegalensis</i> , <i>Calotropis procera</i>
Steppe herbeuse	<i>Cenchrus biflorus</i> , <i>Eragrotis tremula</i> , <i>Dactyloctenium aegyptium</i> et <i>Schoenfeldia gracilis</i>
Sol nu	Espace dépourvus de la végétation
Zones brûlées	Espace brûlée accidentellement souvent par des éleveurs
Mare	Endroit gorge par des points d'eau stagnante

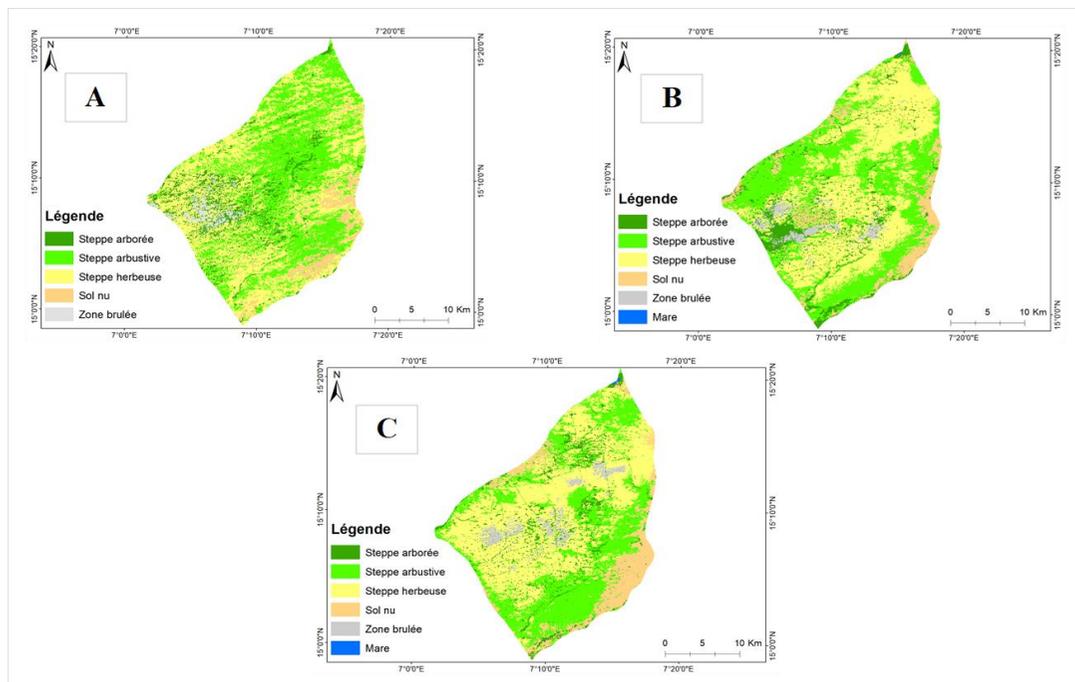


Figure 5 : Cartes d'occupation des sols de la Réserve de Biosphère de Gadabédji en A : 1990 ; B : 2013 et C : 2022

Aires des classes d'occupation des sols

Il ressort du résultat de la Figure 6 que dans chaque année, la classe de Steppe herbeuse est la plus représentée avec 26834 ha, 28834 ha et 30579 ha respectivement pour les années 1990, 2013 et 2022. Ensuite, la classe de Steppe arbustive qui occupe 26751 ha dans l'année 1990, 23418 ha dans l'année 2013 et 20945 ha dans l'année 2022. Puis, les autres classes telles que Steppe arborée, Sol nu, Zone brûlée et Mare sont faiblement représentées dans les années 1990 et 2013 et 2022.

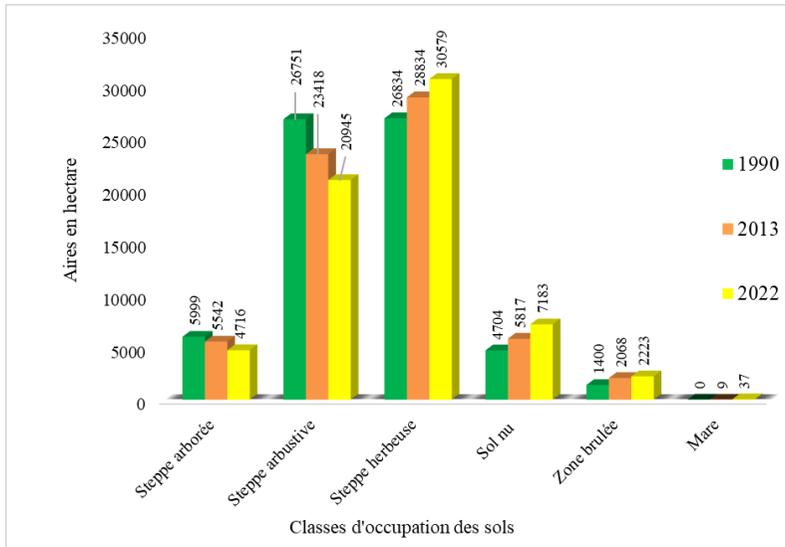


Figure 6 : Aires des classes d'occupation des sols des années 1990, 2013 et 2022

Processus de transformation spatiale

L'analyse des indices de structure spatiale des classes d'occupation des sols entre 1990, 2013 et 2022 est présentée dans le **Tableau 7**. Ainsi, entre les périodes 1990 et 2013 le nombre total de tâches a diminué de 8734 en 1990 à 6363 en 2013. Suivant les classes, deux processus de transformations spatiales ont été enregistrés entre 1990 et 2013 il s'agit de : la dissection observée dans les classes de Steppe arborée (A) et de Steppe arbustive (B) car leurs nombres de tâches $n_{2013} > n_{1990}$ et les aires $a_{2013} < a_{1990}$, dans cette condition $t_{obs} = \frac{a_{2013}}{a_{1990}} = 0,92$ et $0,87 > 0,5$ respectivement (**Figure 7**). Enfin, le phénomène de création a été observé dans les classes de Steppe herbusee (C), de Sols nu (D), des Zone brulée (E) et de Mare (F), leurs nombres de tâches $n_{2013} > n_{1990}$ et les aires $a_{2013} > a_{1990}$. De 2013 à 2022, le nombre total de tâches a augmenté de 6363 en 2013 à 15253 en 2022. Au niveau des classes, quatre processus de transformations spatiales sont observés entre les périodes 2013 et 2022, à savoir la dissection observée seulement dans la classe de Steppe arborée (A), le nombre tâches est $n_{2022} > n_{2013}$ et les aires $a_{2022} < a_{2013}$, dans cette condition $t_{obs} = \frac{a_{2022}}{a_{2013}} = 0,85 > t = 0,5$. Ensuite, le processus de la suppression enregistré dans la classe de Steppe arbustive (B) car le nombre de tâches $n_{2022} < n_{2013}$ et les aires $a_{2022} < a_{2013}$. Les classes de Steppe herbusee (C), Sols nu (D) et Mare (F) ont subi un processus de création, leur nombre de tâches $n_{2013} > n_{1990}$ et les aires $a_{2013} > a_{1990}$ et enfin l'agrégation observé dans la classe de Zone brulée (E).

Tableau 7 : Processus de transformation spatiale

Années	Indices	A	B	C	D	E	F
1990	nj	2375	2450	2907	715	287	-
	atj (ha)	5999	26751	26834	4704	1400	-
	Ptj (Km)	1939	4681	5189	833	316	-
2013	nj	2061	2001	3127	752	421	1
	atj (ha)	5542	23418	28834	5817	2068	9
	Ptj (Km)	1510	3139	2857	936	438	2
2022	nj	2450	1961	1139	524	361	2
	atj (ha)	4716	20945	30579	7188	2223	37
	Ptj (Km)	1655	2867	3068	849	438	5

Légende : A : Steppe arborée ; B : Steppe arbustive ; C : Steppe herbeuse ; D : Sol nu ; E : Zone brûlée ; F : Mare; nj : nombre total de taches de la classe j ; atj : aire totale de la classe j ; Ptj : périmètre total de la classe j.

Figure 7 : Transformation spatiale observé après l’application de l’arbre de décision



Légende : A : Steppe arborée ; B : Steppe arbustive ; C : Steppe herbeuse ; D : Sol nu ; E : Zone brûlée ; F : Mare

Détection des changements

Cartes des changements des écosystèmes dans la RBG

Les cartes des changements ont été réalisées par le croisement de deux cartes de l’année initiale et de l’année finale (**Figure 8**). Entre 1990 et 2013, 26 transitions des classes ont été identifiées. Il s’agit des transitions des classes de Steppe arborée vers Steppe arborée, de Steppe arborée vers Steppe arbustive, de Steppe arborée vers Steppe herbeuse, de Steppe arborée vers Sol nu, de Steppe arborée vers Zone brûlée, de Steppe arborée vers Mare, de Steppe arbustive vers Steppe arborée, de Steppe arbustive vers Steppe arbustive, de Steppe arbustive vers Steppe herbeuse, de Steppe arbustive vers Sol nu, de Steppe arbustive vers Zone brûlée, de Steppe herbeuse vers Steppe arborée, de Steppe herbeuse vers Steppe arbustive, de Steppe herbeuse vers Steppe herbeuse, de Steppe herbeuse vers Sol nu, de de Steppe herbeuse vers Zone brûlée, de Sol nu vers Steppe arborée, de Sol nu vers Steppe arbustive, de Sol nu vers Steppe herbeuse, de Sol nu vers Sol nu, de Sol nu vers Zone brûlée, de Zone brûlée vers Steppe arborée, de Zone brûlée vers Steppe

arbustive, de Zone brûlée vers Steppe herbeuse, de Zone brûlée vers Sol nu et de Zone brûlée vers Zone brûlée. En effet, la transition de la classe de Steppe arbustive vers Steppe herbeuse est la plus représentée avec 13897,51 ha. Ensuite, la transition au sein de la Steppe herbeuse avec 11484,77 ha. Puis, la transition de la classe de Steppe herbeuse vers Steppe arbustive avec 10015,17 ha. Cependant la faible transition a été enregistrée dans la classe de Steppe arborée vers Mare et la classe de Sol nu vers Zone brûlée avec respectivement 8,51 ha et 16,98 ha. De 2013 à 2022, 27 transitions sont enregistrées à savoir les transition des classes de Steppe arborée vers Steppe arborée, de Steppe arborée vers Steppe arbustive, de Steppe arborée vers Steppe herbeuse, de Steppe arborée vers Sol nu, de Steppe arborée vers Zone brûlée, de Steppe arborée vers Mare, de Steppe arbustive vers Steppe arborée, de Steppe arbustive vers Steppe arbustive, de Steppe arbustive vers Steppe herbeuse, de Steppe arbustive vers Sol nu, de Steppe arbustive vers Zone brûlée, de Steppe herbeuse vers Steppe arborée, de Steppe herbeuse vers Steppe arbustive, de Steppe herbeuse vers Steppe herbeuse, de Steppe herbeuse vers Sol nu, de de Steppe herbeuse vers Zone brûlée, de Sol nu vers Steppe arborée, de Sol nu vers Steppe arbustive, de Sol nu vers Steppe herbeuse, de Sol nu vers Sol nu, de Sol nu vers Zone brûlée, de Zone brûlée vers Steppe arborée, de Zone brûlée vers Steppe arbustive, de Zone brûlée vers Steppe herbeuse, de Zone brûlée vers Sol nu, de Zone brûlée vers Zone brûlée et de Mare vers Mare. La transition la plus représentée est celle de Steppe herbeuse vers Steppe herbeuse avec 17165,42 ha, ensuite vient la transition de Steppe arbustive vers Steppe arbustive avec 10056,51 ha. Puis la transition de Steppe arbustive vers Steppe herbeuse avec 8909,01 ha. Les faibles transitions ont été identifiées dans les classes de Steppe arborée vers Zone brûlée, Sol nu vers Zone brûlée, Mare vers Steppe arborée et Mare vers Mare.

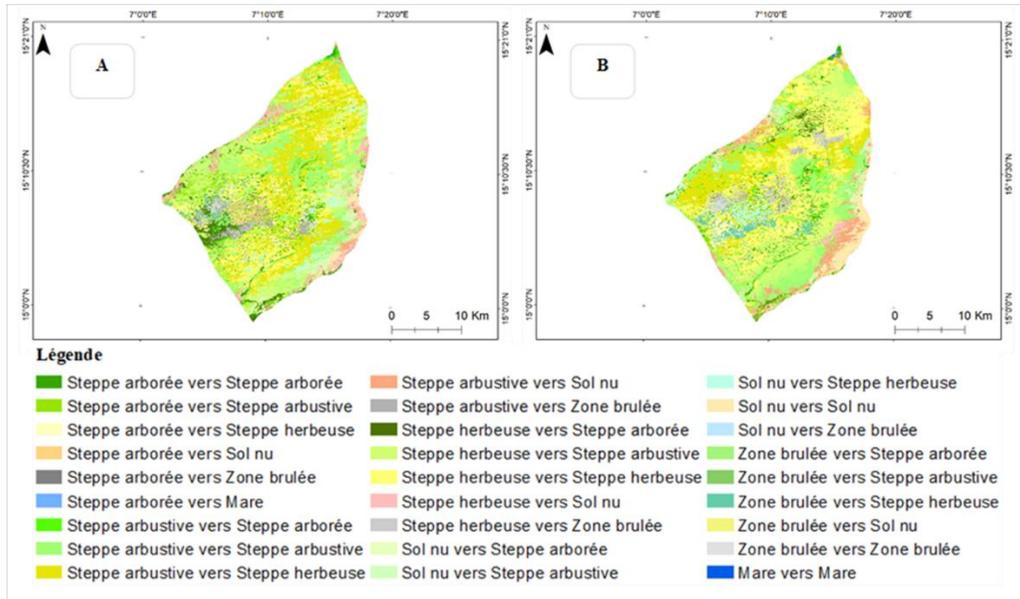


Figure 8 : Cartes de changements d’occupation des sols dans la RBG en A : entre 1990 et 2013 ; B : entre 2013 et 2022

Matrices de transition

Les changements de la dynamique des écosystèmes dans la RBG entre 1990 et 2013, entre 2013 et 2022 sont résumés dans les **Tableau 8 et 9**. Entre les périodes 1990 et 2013, la classe de Steppe arborée (A) a subi une faible stabilité de 1749 ha. La grande partie de cette classe est convertie dans les autres classes dont les classes de Steppe arbustive (B) et Steppe herbeuse (C) ont gagné 1746 ha et 1651 ha respectivement. La classe de Steppe arbustive (B) a connu également une faible stabilité de 9526 ha tandis qu’une grande partie de l’aire de cette classe est transformée dans les autres classes. La classe de Steppe herbeuse (C) a gagné 13898 ha de cette classe. De 2013 à 2022, une faible stabilité est enregistrée dans la classe de Steppe arborée (A) avec 2229 ha. Par contre, des conversions de cette classe vers les autres classes ont été relevées. Ainsi, les classes de Steppe herbeuse (C) et Steppe arbustive (B) ont reçu 1661 ha et 1220 ha provenant de cette classe. Également, la classe de Steppe arbustive (B) présente 10057 ha de stabilité alors que cette classe a subi une modification où la grande partie est transformé dans les autres classes. La classe de Steppe herbeuse (C) a eu 8909 ha issue de cette classe.

Tableau 8 : Matrice de transition des classes en ha entre 1990 et 2013

		Aires (ha) en 1990					
		Classes	A	B	C	D	E
Aires (ha) en 2013	A	1749	1566	1928	96	214	
	B	1746	9526	10015	1797	284	
	C	1651	13898	11485	1293	433	
	D	398	1193	2562	1483	219	
	E	446	533	822	17	246	
	F	9	0	0	0	0	

Légende : A : Steppe arborée ; B : Steppe arbustive ; C : Steppe herbeuse ; D : Sol nu ; E : Zone brûlée ; F : Mare

Tableau 9 : Matrice de transition des classes en ha entre 2013 et 2022

		Aires (ha) en 2013						
		Classes	A	B	C	D	E	F
Aires (ha) en 2022	A	2229	1184	1015	146	150	28	
	B	1220	10057	8330	1131	178	0	
	C	1661	8909	17165	1404	1373	0	
	D	364	3055	682	3162	0	0	
	E	65	186	1573	32	362	0	
	F	0	0	0	0	0	9	

Légende : A : Steppe arborée ; B : Steppe arbustive ; C : Steppe herbeuse ; D : Sol nu ; E : Zone brûlée ; F : Mare

Taux d'évolution des écosystèmes

L'analyse du **Tableau 10** ressort qu'entre les périodes 1990 et 2013, les classes de Steppe arborée et Steppe arbustive ont connu des taux d'évolution avec des valeurs respectives de -0,08 et de -0,12. Par contre, les classes de Steppe herbeuse, Sol nu et Zone brûlée ont subi des taux d'évolution de 0,07, 0,24 et 0,48 respectivement. De la période 2013 à 2022, les taux d'évolution des classes de Steppe arborée et de Steppe arbustive ont des valeurs de -0,15 et -0,11 respectivement. Cependant, les valeurs de taux d'évolution des classes de Steppe herbeuse, Sol nu et Zone brûlée et Mare sont respectivement de 0,06, 0,24, 0,07 et 3,11.

Tableau 10 : Aires et taux d'évolution entre 1990 et 2013 et entre 2013 et 2022

Classes	Taux d'évolution entre 1990 et 2013	Taux d'évolution entre 2013 et 2022
Steppe arborée	-0,08	-0,15
Steppe arbustive	-0,12	-0,11
Steppe herbeuse	0,07	0,06
Sol nu	0,24	0,24
Zone brûlée	0,48	0,07
Mare	-	3,11

Vitesse d'évolution des écosystèmes

La **Figure 9** montre la vitesse d'évolution des classes d'occupation des sols. Entre 1990 et 2013, la vitesse d'évolution d'occupation des sols décroît au niveau des classes de Steppe arborée et de Steppe arbustive ce qui signifie, une perte respectivement de -18,61 ha par an et -145 ha par an. Par contre, la classe de Steppe herbeuse a subi une vitesse d'évolution rapide donc un gain de 83,22 ha par an. Cette vitesse baisse au niveau des classes de Sol nu, Zone brûlée et Mare, malgré la chute ces différentes classes ont gagné respectivement 51,52 ha par an, 29 ha par an et 0,39 ha par ha. Entre 2013 et 2022, le même phénomène est observé où la vitesse d'évolution d'occupation des sols baisse toujours par les classes de Steppe arborée et de Steppe arbustive avec une perte respectivement de -94,11 ha par an et de -275,33 ha par an. La classe de Steppe herbeuse a connu une croissance rapide de la vitesse d'évolution avec un gain de 194,33 ha par an et cette vitesse a baissé au niveau des classes des Sol nu, Zone brûlée et la Mare avec un gain de 154,78 ha par an, 17,22 ha par an et 3,11 ha par an.

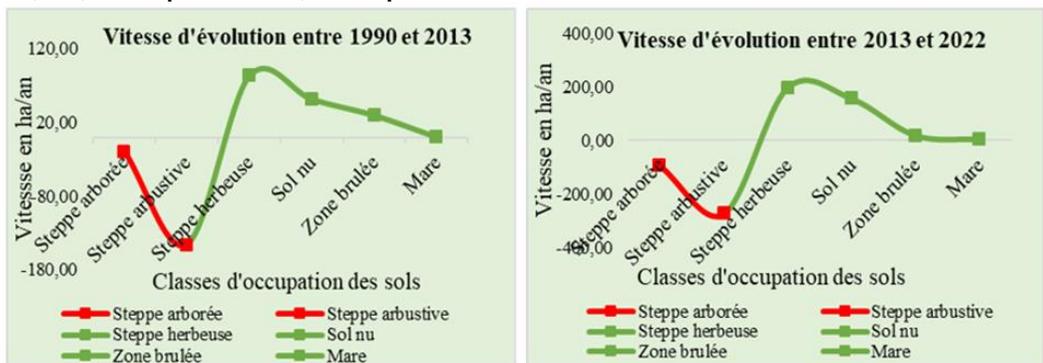


Figure 9 : Vitesse d'évolution des écosystèmes en A : entre 1990 et 2013 et en B : entre 2013 et 2022

Discussion

L'analyse cartographique des classes d'occupation des sols à travers les classifications supervisées des images satellitaires de trois périodes (1990, 2013 et 2022) a permis d'obtenir des indices de précision globale et des valeurs du coefficient de Kappa qui sont statistiquement satisfaisantes. Cela s'expliquerait d'une part par la qualité des images qui n'ont aucune couverture nuageuse et d'autre part par le choix des classes thématiques lors de la numérisation (Geyme & Baz, 2008; Inoussa, 2011) . Il faut noter que les données collectées lors de visite terrain ont également facilité les analyses et l'interprétation visuelle des images. Malgré ces précisions cartographiques acceptables, les classes d'occupation des sols ne sont pas très bien distinctes entre elles. Ces confusions sont dues à des réponses spectrales similaires pour certaines classes d'occupation des sols (Diallo *et al.*, 2011; Koné *et al.*, 2007)

. En effet, Cette confusion pourrait être liée lors de la numérisation des classes. Pour les images l'année 1990, 2013 et 2022 respectivement, 9% des pixels dont 7% des pixels de la classe de Steppe arbustive sont mélangés de la classe de Steppe herbeuse, 13% des pixels dont 11% de la classe de Steppe herbeuse sont mélangés de la classe de Steppe arbustive et 4% des pixels dont 2% de la classe de Steppe arborée sont mélangés de la classe de Steppe herbeuse. Ceux-ci pourraient être expliqués par le fait que, ces trois classes ont des réponses spectrales très proches. Par ailleurs les résultats des cartes d'occupation des sols montrent six (6) classes d'occupation des sols identifiées dans les images des années 2013 et 2022 alors que dans les images de l'année 1990, on note une absence de la classe de mare. Ce phénomène pourrait être lié par le fait qu'en 2013, la population locale créé des points d'eau pour abreuver leurs bétails. Ce résultat est différent à celui trouvé par Idrissa (2021) dans la Réserve Partielle de Faune de Dosso où les Mare ont diminué en nombre et en surface. L'examen des matrices de transitions révèlent plusieurs tendances possibles qui stipulent que toutes les classes d'occupation des sols ont connu des transitions de l'année initiale vers l'année finale. Entre 1990 et 2013, la transition de la classe de Steppe arbustive vers Steppe herbeuse est la plus importante. Cela s'expliquerait à des coupes illégales de bois et laissant place à la classe de Steppe herbeuse. Ces résultats sont en accords avec d'autres études notamment celles de Ibrahima *et al.* (2020) dans les communes de Torodi, Gothèye et Tagazar, (Mamane *et al.*, 2018) dans la Réserve Totale de Faune de Tamou, (Tidjani *et al.*, 2009) à Gouré, (Mahamane *et al.*, 2007) à Gabi où tous ils ont montré une tendance progressive des formations anthropisées. Cependant, on constate un phénomène de stabilité de 2013 à 2022 où les transitions les plus élevées se font au sein d'une même transition, Steppe herbeuse vers Steppe herbeuse et Steppe arbustive vers Steppe arbustive. Ce phénomène de stabilité pourrait être dû à des interventions des Projets dans la Réserve dans le cadre des récupérations des terres. En termes des indices de structure spatiale, entre 1990 et 2013 le phénomène de la dissection est observé dans les formations naturelles et a pour effet négatif la perte de l'habitat naturel tandis que les formations anthropisées ont connu une création de leur nombre de tâches. De 2013 à 2022, toujours les formations naturelles ont connu un phénomène de suppression alors que les formations anthropisées ont subi une agrégation. Toutefois, les activités anthropiques sont à la base de cette mutation paysagère. Le même constat a été signalé par (Kabulu *et al.*, 2008) en République Démocratique du Congo à partir d'une étude réalisée dans le Kantaga et (Mama *et al.*, 2020) au Mali dans la préfecture de Kangaba. Les taux d'évolutions des aires sont négatifs dans les classes de Steppe arborée et de Steppe arbustive et positifs dans les autres classes (Steppe herbeuse, Sol nu, Zone brulée et Mare). La vitesse d'évolution des classes de Steppe arborée et de Steppe arbustive décroît très rapidement

tandis que les autres classes croient de façon exponentielle entre les trois années (1990, 2013 et 2022). Tous ces phénomènes montrent en général une dégradation des ressources naturelles suite à des actions anthropiques et des variabilités climatiques.

Conclusion

A l'issue de cette étude menée dans la Réserve de Biosphère de Gadabédji au moyen de la Télédétection, de Système d'Information Géographique (SIG) et des données terrain, il ressort de cette étude que six (6) classes d'occupation des sols ont été identifiées, à savoir la classe de Steppe arborée, la classe de Steppe arbustive, la classe de Steppe herbeuse, la classe de Sol nu, la classe de Zone brûlée et la classe de Mare. Ainsi, la Réserve est dominée par la classe de Steppe herbeuse avec 26834 ha, 28834 ha et 30579 ha respectivement pour les années 1990, 2013 et 2022. Quatre processus de transformations spatiales sont identifiés. Il s'agit de : la dissection, la suppression, l'agrégation et la création. En outre, les classes de Steppe arborée et de Steppe arbustive ont connu des taux d'évolution négatif tandis que les autres classes, telles que la classe de Steppe herbeuse, la classe de Sol nu, la classe de Zone brûlée et la classe de Mare ont des taux d'évolution positif. Il faut également noter que la vitesse d'évolution décroît très rapidement dans les classes de Steppe arborée et celle de Steppe arbustive. Globalement, les formations naturelles de la Réserve de Biosphère de Gadabédji ont régressé au profit des formations anthropiques. Ce phénomène de régression est beaucoup plus observé à périphérie de la Réserve à cause l'installation des habitations. En effet, les feux de brousse et le pâturage illégal constituent des facteurs qui modifient l'évolution du couvert végétal dans cette Réserve.

Contributions des Auteurs: Ce travail a été réalisé en collaboration avec tous les auteurs. AAS est l'auteur principal, a fait l'élaboration d'un projet de recherche, la collecte des données sur le terrain, la conception des cartes d'occupation des sols et la détection des changements suivi de l'analyse et l'interprétation des données et enfin la rédaction du manuscrit. IMM est le superviseur de ce travail, a contribué à la validation du projet de recherche ainsi que les résultats obtenus à l'issue de cette étude. AGO, a contribué à son amélioration. MM, HNA, DS, BY et MA ont apporté leur observation lors de la rédaction de ce manuscrit.

Remerciements: Les auteurs de ce travail adressent leurs remerciements à l'endroit du Colonel Hamissou Malam Garba, Conservateur de la Réserve de Biosphère de Gadabédji au Centre National de Surveillance et de Suivi Ecologique. Ils remercient également tous les agents des Eaux et Forêts de la commune de Gadabédji pour leur soutien lors de vérité terrain. Ces auteurs

remercient également le Laboratoire de Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel de l'Université Abdou Moumouni de Niamey pour l'acceptation de cette thèse.

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. Abdoulaye, A. S. (2022). Analyse spatiale des écosystèmes de la zone de transition entre le Parc National W du Niger, la Réserve Totale de Faune de Tamou et la Réserve Partielle de Faune de Dosso (Sud-Ouest du Niger). *Mémoire Master à l'Université de Niamey*. 83p.
2. 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 à l'Université Toulouse-Jean Jaurès*. 271p.
3. Agbanou, B. T., Vincent, O., Djafarou, A., Paegelow, M., & Tente, B. (2019). Dynamique spatio-temporelle de L'occupation du sol en zone d'agriculture extensive: cas du secteur Natitingou Boukoumbe au nord-ouest du Benin. *Mélanges En Hommage Au Professeur THOMAS.*, (3), 978-99919-822-8-1.
4. Avakoudjo, J., Adi, M., Toko, I., Kindomihou, V., & Sinsin, B. (2014). Dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie au nord-ouest du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (6), 2608-2625.
5. Barima, Y. S. S., Barbier, N., Bamba, I., Traoré, D., Lejoly, J., & Bogaert, J. (2009). Dynamique paysagère en milieu de transition forêts –savane ivoirienne. *Bois et Forêts Des Tropiques.*, 299 (1), 15-25.
6. Bogaert, J., Celemans, R., & Salvador, V. D. (2004). Decision Tree Algorithm for Detection of Spatial Processes. *Landscape Transformation, Environmental Management*, 33, 62-73. . <https://doi.org/DOI:10.1007/s00267-003-0027-0>
7. Davidson, C. (1998). Issues in measuring landscape fragmentation. *Wildlife Society Bulletin*, 26, 32–37.
8. DFC/AP. (2012). Stratégie nationale et plan d'action pour la conservation et la valorisation de la faune sauvage au Niger. *Rapport*. 58p.

9. Diallo, H., Bamba, Y. S., Barima, Y. S. S., Visser, M., Ballo, A., Mama, A., Vranken, I., Maiga, M., & Bogaert, J. (2011). Effets combines du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sécheresse*, 22, 97-107.
10. El-Hadraoui, Y. (2013). Étude diachronique de l'occupation du sol et de modélisation des processus érosifs du bassin versant du Bouregreg (Maroc) à partir des données de l'Observation de la Terre. *Mémoire de Master à Ecole Supérieure Des Géomètres et Topographes, Maroc*. 89p.
11. FAO. (2018). La situation des forêts du monde. Les forêts au service du développement durable. *Rapport*. 158p.
12. FAO. (2022). West African Land Cover Reference system. 179p.
13. Geyme, A., & Baz, I. (2008). The potential of remote sensing for monitoring land cover changes and effects on physical geography in the area of Kayisdagi mountain and its surroundings (Istanbul). *Environmental Monitoring and Assessment*, 140 (1–3), 33–42.
14. Gildas, L. D., Henri, S. T. V., & Nickson, E. K. (2016). Dynamique de l'occupation du sol et évolution des terres agricoles dans la commune de Sinende au nord Bénin. *Cahiers Du CBRST*, (9), 101-121.
15. Hatfield, J. H., Orme, C. D. L., & Banks, L. C. (2018). Using functional connectivity to predict potential meta-population sizes in the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 16(4), 215-220.
16. Hiernaux, P., & Le Houérou, H. N. (2006). Les parcours du Sahel. *Sécheresse*, 17, 51-71.
17. Ibrahima, D., Catherine, M., Oumar, S., & Tidiane, S. (2020). Cartographier par télédétection l'occupation du sol et ses changements. *Open Edition Journals*. <https://doi.org/10.4000/echogeo.20510>
18. Idrissa, A. K. (2021). Evaluation de la biodiversité et caractérisation de la végétation de la Réserve Partielle de Faune de Dosso. *Thèse de Doctorat à l'Université de Niamey*. 296p.
19. Idrissa, A. K., Tougiani, A., Moussa, M., Rabiou, H., Idrissa, S., & Bogaert, J. (2019). Influence des pressions anthropiques sur la dynamique paysagère de la réserve partielle de faune de Dosso. *Int. J. Biol. Chem.*, 13(2);, 1094–1108. <https://doi.org/DOI://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.41>
20. Inoussa, M. M. (2011). Dynamique des forêts claires dans le Parc National du W du Niger. *Thèse de Doctorat à l'Universioté de Niamey*. 137p.
21. Jensen, J. R. (1983). Biophysical remote sensing. *Annals of the*

- Association of American Geographers.*, 73 (1), 111-132.
22. Kabulu, D. J., Bamba, I., Munyemba, K. F., Defourny, P., Vancutsem, C., Nyembwe, N. S., Luhembwe, M. N., & Bogaert, J. (2008). Analyse de la structure spatiale des forêts au Katanga. *In Ann. Fac. Sc. Agro.*, 1: (2), 12–18.
 23. Kiansi, M. T., Kouta, S., Mazo, I., Arouna, O., Thomas, O., & Imorou, T. I. (2021). Dynamique spatio-temporelle des espaces agraires au sein de la communauté de commune de la Pendjari au Nord-Ouest du Bénin. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies.*, 2509-0119.
 24. Koné, M., Aman, A., Yao A.C.Y., C. L., & N'Guessan, K. E. (2007). Suivi diachronique par télédétection spatiale de la couverture ligneuse en milieu de savane Soudanienne en Côte d'Ivoire. *Télédétection*, 7(1-2-3-4), 433-446.
 25. Kouassi, K. J. (2014). Suivi de la dynamique de l'occupation du sol à l'aide de l'imagerie satellitaire et des Systèmes d'Informations Géographiques : cas de la direction régionale des Eaux et Forêts de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *Mémoire Master à l'Ecole Supérieure d'Agronomie, Côte d'Ivoire*. 74p.
 26. Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., O'Neill, R. V., & Coleman, P. R. (1987). Landscape Patterns in a Disturbed Environment. *Oikos.*, 48 : 321.
 27. Lafleur, A. (2015). Étude évolutive de la mangrove de la Baie de Caracola (Nord-Est, Haïti) et perspectives de conservation. *Mémoire à l'Université de Liège, Belgique*. 55p.
 28. Laouel, A. A. (2014). Impacts des activités pétrolières sur la distribution des addax (*Addax nasomaculatus*) dans la Réserve Naturelle Nationale de Termit et Tin-Toumma : Analyse des Populations des Espèces Fauniques et Halieutique. 70p.
 29. Mahamane, A., Saadou, M., Bakasso, Y., Abassa, I., Aboubacar, I., & Karim, S. (2007). Analyse diachronique de l'occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans la commune de Gabi (région de Maradi, Niger). *Sécheresse*, 18(4), 296–304. <https://doi.org/DOI:10.1684/sec.2007.0105>.
 30. Mama, A., Alassane, A., Traoré, F. M., Sinsin, A. B., & Bogaert, J. (2020). Fragmentation du paysage naturel au Mali : cas des sites d'orpillage de la préfecture de Kangaba. *. Environnement et Dynamique Des Sociétés.*, N° 002.
 31. Mamane, B., Amadou, G., Barrage, M., Comby, J., & Ambouta, J. K. (2018). Dynamique spatiotemporelle d'occupation du sol dans la Réserve Totale de Faune de Tamou dans un contexte de la variabilité climatique (Sud-Ouest du Niger). *International Journal of Biological*

- and Chemical Sciences.*, 12(4), 1667-1687.
32. Marion, J. (2018). Le rôle de la diversité sur la stabilité des processus des écosystèmes forestiers en contexte de changement climatique. *Thèse de Doctorat à l'Université de Montpellier, France.* 362p.
 33. Oreste, T., Joseph, O., & Inoussa, T. (2019). Dynamique spatiale et structure du paysage dans la commune de Zè, Bénin. *Open Science.*, 13-15.
 34. Roxane, S. (2015). Evaluation de la capacité adaptative des socio-écosystèmes forestiers français face au changement climatique : le cas de la migration assistée. *Thèse en Biodiversité et Ecologie à l'Université de Paris Sud.* 204p.
 35. Saley, M. M. (2019). Etude des stratégies de mise en oeuvre effective de la CITES dans le Biome du Niger : cas de la Reserve de Biosphere de Gadabedji. *Memoire a l'Universite de Maradi.* 65p.
 36. Samuel, C. (2014). Etude des changements d'occupation et d'usage des sols en contexte agricole par Télédétection et fusion d'informations. *Thèse doctorat à l'Université de Rennes 2.* 138p.
 37. Soulama, S., Kadeba, A., Nacoulma, B. M. I., Traore, S., Bachmann, Y., & Thiombiano, A. (2015). Impact des activités anthropiques sur la dynamique de la végétation de la réserve partielle de faune de Pama et de ses périphéries (sud-est du Burkina Faso) dans un contexte de variabilité climatique. *Int. Journal of Applied Biosciences.*, 87, 8047-8064.
 38. Sournia, G. (1998). Les aires protégées d'Afrique francophone. *Editions JeanPierre de Monza, Paris, France.* 272p.
 39. Tidjani, A. A., Ozer, A., & Karimoune, S. (2009). Apports de la télédétection dans l'étude de la dynamique environnementale de la région de Tchago (nord-ouest de Gouré, Niger). *Géo-Eco_Trop*, 33 :, 69-80.
 40. Trumper, K. M., Bertzky, B., Dickson, G., Van der Heijden, M., Jenkins, & Manning, P. (2009). Le remède naturel Le rôle des écosystèmes dans l'atténuation des changements climatiques. *Une évaluation rapide du PNUE, Programme des Nations Unies pour l'environnement, PNUE-WCMC, Cambridge, Royaume-Uni.* 68p.