

European Scientific Journal, *ESJ*

March 2024

European Scientific Institute, ESI

The content is peer reviewed

ESJ Natural/Life/Medical Sciences

March 2024 edition vol. 20, No. 9

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

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

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

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

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

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

Sincerely,

Daniel B. Hier, MD

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

Editor in Chief

International Editorial Board

Jose Noronha Rodrigues,
University of the Azores, Portugal

Nino Kemertelidze,
Grigol Robakidze University, Georgia

Jacques de Vos Malan,
University of Melbourne, Australia

Franz-Rudolf Herber,
University of Saarland, Germany

Annalisa Zanola,
University of Brescia, Italy

Robert Szucs,
University of Debrecen, Hungary

Dragica Vujadinovic,
University of Belgrade, Serbia

Pawel Rozga,
Technical University of Lodz, Poland

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

Rashmirekha Sahoo,
Melaka-Manipal Medical College, Malaysia

Georgios Vousinas,
University of Athens, Greece

Asif Jamil,
Gomal University DIKhan, KPK, Pakistan

Faranak Seyyedi,
Azad University of Arak, Iran

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

Dejan Marolov,
European Scientific Institute, ESI

Noor Alam,
Universiti Sains Malaysia, Malaysia

Rashad A. Al-Jawfi,
Ibb University, Yemen

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

Hans W. Giessen,
Saarland University, Saarbrücken, Germany

Frank Bezzina,
University of Malta, Malta

Monika Bolek,
University of Lodz, Poland

Robert N. Diotalevi,
Florida Gulf Coast University, USA

Daiva Jureviciene,
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

Anita Lidaka,
Liepaja University, Latvia

Rania Zayed,
Cairo University, Egypt

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

Lydia Ferrara,
University of Naples, Italy

Byron A Brown,
Botswana Accountancy College, Botswana

Grazia Angeloni,
University "G. d'Annunzio" in Chieti, Italy

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

Cinaria Tarik Albadri,
Trinity College Dublin University, Ireland

Mahammad A. Nurmamedov,
State Pedagogical University, Azerbaijan

Henryk J. Barton,
Jagiellonian University, Poland

Saltanat Meiramova,
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

Rajasekhar Kali Venkata,
University of Hyderabad, India

Ruzica Loncaric,
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

Stefan Vladutescu,
University of Craiova, Romania

Billy Adamsen,
University of Southern Denmark, Denmark

Marinella Lorinczi,
University of Cagliari, Italy

Giuseppe Cataldi,
University of Naples "L'Orientale", Italy

N. K. Rathee,
Delaware State University, USA

Michael Ba Banutu-Gomez,
Rowan University, USA

Adil Jamil,
Amman University, Jordan

Habib Kazzi,
Lebanese University, Lebanon

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Henry J. Grubb,
University of Dubuque, USA

Daniela Brevenikova,
University of Economics, Slovakia

Genute Gedviliene,
Vytautas Magnus University, Lithuania

Vasilika Kume,
University of Tirana, Albania

Mohammed Kerbouche,
University of Mascara, Algeria

Adriana Gherbon,
University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania

Pablo Alejandro Olavegogeoascoechea,
National University of Comahue, Argentina

Raul Rocha Romero,
Autonomous National University of Mexico, Mexico

Driss Bouyahya,
University Moulay Ismail, Morocco

William P. Fox,
Naval Postgraduate School, USA

Rania Mohamed Hassan,
University of Montreal, Canada

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

Tilahun Achaw Messaria,
Addis Ababa University, Ethiopia

George Chiladze,
University of Georgia, Georgia

Elisa Rancati,
University of Milano-Bicocca, Italy

Alessandro Merendino,
University of Ferrara, Italy

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

Anastassios Gentzoglani,
University of Sherbrooke, Canada

Awoniyi Samuel Adebayo,
Solusi University, Zimbabwe

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

Berenyi Laszlo,
University of Miskolc, Hungary

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

Omar Arturo Dominguez Ramirez,
Hidalgo State University, Mexico

Bupinder Zutshi,
Jawaharlal Nehru University, India

Pavel Krpalek,
University of Economics in Prague, Czech Republic

Mondira Dutta,
Jawaharlal Nehru University, India

Evelio Velis,
Barry University, USA

Mahbubul Haque,
Daffodil International University, Bangladesh

Diego Enrique Baez Zarabanda,
Autonomous University of Bucaramanga, Colombia

Juan Antonio Lopez Nunez,
University of Granada, Spain

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

A. Zahoor Khan,
International Islamic University Islamabad, Pakistan

Valentina Manoiu,
University of Bucharest, Romania

Andrzej Palinski,
AGH University of Science and Technology, Poland

Jose Carlos Teixeira,
University of British Columbia Okanagan, Canada

Martin Gomez-Ullate,
University of Extremadura, Spain

Nicholas Samaras,
Technological Educational Institute of Larissa, Greece

Emrah Cengiz,
Istanbul University, Turkey

Francisco Raso Sanchez,
University of Granada, Spain

Simone T. Hashiguti,
Federal University of Uberlandia, Brazil

Tayeb Boutbouqalt,
University, Abdelmalek Essaadi, Morocco

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

Ismail Ipek,
Istanbul Aydin University, Turkey

Olena Kovalchuk,
National Technical University of Ukraine, Ukraine

Oscar Garcia Gaitero,
University of La Rioja, Spain

Alfonso Conde,
University of Granada, Spain

Jose Antonio Pineda-Alfonso,
University of Sevilla, Spain

Jingshun Zhang,
Florida Gulf Coast University, USA

Olena Ivanova,
Kharkiv National University, Ukraine

Marco Mele,
Unint University, Italy

Okyay Ucan,
Omer Halisdemir University, Turkey

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

Matti Raudjarv,
University of Tartu, Estonia

Cosimo Magazzino,
Roma Tre University, Italy

Susana Sousa Machado,
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

Jelena Zascerska,
University of Latvia, Latvia

Umman Tugba Simsek Gursoy,
Istanbul University, Turkey

Zoltan Veres,
University of Pannonia, Hungary

Vera Komarova,
Daugavpils University, Latvia

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

Pierluigi Passaro,
University of Bari Aldo Moro, Italy

Georges Kpazai,
Laurentian University, Canada

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

Michele Russo,
University of Catanzaro, Italy

Nikolett Deutsch,
Corvinus University of Budapest, Hungary

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

Brian Sloboda,
University of Maryland, USA

Natalia Sizochenko
Dartmouth College, USA

Marisa Cecilia Tumino,
Adventista del Plata University, Argentina

Luca Scaini,
Al Akhawayn University, Morocco

Aelita Skarbaliene,
Klaipeda University, Lithuania

Oxana Bayer,
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

Onyeka Uche Ofili,
International School of Management, France

Aurela Saliq,
University of Vlora, Albania

Maria Garbelli,
Milano Bicocca University, Italy

Josephus van der Maesen,
Wageningen University, Netherlands

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

Francisco Gonzalez Garcia,
University of Granada, Spain

Mahgoub El-Tigani Mahmoud,
Tennessee State University, USA

Daniel Federico Morla,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Valeria Autran,
National University of Rio Cuarto, Argentina

Muhammad Hasmi Abu Hassan Asaari,
Universiti Sains, Malaysia

Angelo Viglianisi Ferraro,
Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy

Roberto Di Maria,
University of Palermo, Italy

Delia Magherescu,
State University of Moldova, Moldova

Paul Waithaka Mahinge,
Kenyatta University, Kenya

Aicha El Alaoui,
Sultan My Slimane University, Morocco

Marija Brajčić,
University of Split, Croatia

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

Belen Martinez-Ferrer,
Univeristy Pablo Olavide, Spain

Rachid Zammar,
University Mohammed 5, Morocco

Fatma Koc,
Gazi University, Turkey

Calina Nicoleta,
University of Craiova, Romania

Shadaan Abid,
UT Southwestern Medical Center, USA

Sadik Madani Alaoui,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Patrizia Gazzola,
University of Insubria, Italy

Krisztina Szegedi,
University of Miskolc, Hungary

Liliana Esther Mayoral,
National University of Cuyo, Argentina

Amarjit Singh,
Kurukshetra University, India

Oscar Casanova Lopez,
University of Zaragoza, Spain

Emina Jerkovic,
University of Josip Juraj Strossmayer, Croatia

Carlos M. Azcoitia,
National Louis University, USA

Rokia Sanogo,
University USTTB, Mali

Bertrand Lemennicier,
University of Paris Sorbonne, France

Lahcen Benaabidate,
University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco

Janaka Jayawickrama,
University of York, United Kingdom

Kiluba L. Nkulu,
University of Kentucky, USA

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

George C. Katsadoros,
University of the Aegean, Greece

Elena Gavrilova,
Plekhanov University of Economics, Russia

Eyal Lewin,
Ariel University, Israel

Szczepan Figiel,
University of Warmia, Poland

Don Martin,
Youngstown State University, USA

John B. Strait,
Sam Houston State University, USA

Nirmal Kumar Betchoo,
University of Mascareignes, Mauritius

Camilla Buzzacchi,
University Milano Bicocca, Italy

EL Kandoussi Mohamed,
Moulay Ismai University, Morocco

Susana Borrás Pentinat,
Rovira i Virgili University, Spain

Jelena Kasap,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Massimo Mariani,
Libera Università Mediterranea, Italy

Rachid Sani,
University of Niamey, Niger

Luis Aliaga,
University of Granada, Spain

Robert McGee,
Fayetteville State University, USA

Angel Urbina-Garcia,
University of Hull, United Kingdom

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

Marko Andonov,
American College, Republic of Macedonia

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

Leyla Yılmaz Findik,
Hacettepe University. Turkey

Vlad Monescu,
Transilvania University of Brasov, Romania

Stefano Amelio,
University of Unsubria, Italy

Enida Pulaj,
University of Vlora, Albania

Christian Cave,
University of Paris XI, France

Julius Gathogo,
University of South Africa, South Africa

Claudia Pisoschi,
University of Craiova, Romania

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

Joseph Ntale,
Catholic University of Eastern Africa, Kenya

Kate Litondo,
University of Nairobi, Kenya

Maurice Gning,
Gaston Berger University, Senegal

Katarina Marosevic,
J.J. Strossmayer University, Croatia

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

Syed Shadab,
Jazan University, Saudi Arabia

Koffi Yao Blaise,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Mario Adelfo Batista Zaldivar,
Technical University of Manabi, Ecuador

Kalidou Seydou,
Gaston Berger University, Senegal

Patrick Chanda,
The University of Zambia, Zambia

Meryem Ait Ouali,
University IBN Tofail, Morocco

Laid Benderradji,
Mohamed Boudiaf University of Msila, Algeria

Amine Daoudi,
University Moulay Ismail, Morocco

Oruam Cadex Marichal Guevara,
University Maximo Gomes Baez, Cuba

Vanya Katsarska,
Air Force Academy, Bulgaria

Carmen Maria Zavala Arnal,
University of Zaragoza, Spain

Francisco Gavi Reyes,
Postgraduate College, Mexico

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

Patricia Randrianavony,
University of Antananarivo, Madagascar

Roque V. Mendez,
Texas State University, USA

Kesbi Abdelaziz,
University Hassan II Mohammedia, Morocco

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

Ilknur Bayram,
Ankara University, Turkey

Elenica Pjero,
University Ismail Qemali, Albania

Gokhan Ozer,
Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Turkey

Veronica Flores Sanchez,
Technological University of Veracruz, Mexico

Camille Habib,
Lebanese University, Lebanon

Larisa Topka,
Irkutsk State University, Russia

Paul M. Lipowski,
Holy Family University, USA

Marie Line Karam,
Lebanese University, Lebanon

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

Mohamed Berradi,
Ibn Tofail University, Morocco

Visnja Lachner,
Josip J. Strossmayer University, Croatia

Sangne Yao Charles,
University Jean Lorougnon Guede, Ivory Coast

Omar Boubker,
University Ibn Zohr, Morocco

Kouame Atta,
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

Patience Mpanzu,
University of Kinshasa, Congo

Devang Upadhyay,
University of North Carolina at Pembroke, USA

Nyamador Wolali Seth,
University of Lome, Togo

Akmele Meless Simeon,
Ouattara University, Ivory Coast

Mohamed Sadiki,
IBN Tofail University, Morocco

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

Gamal Elgezzeery,
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 Superieure 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 Superieure d'Abidjan, Ivory Coast

Sophia Barinova,
University of Haifa, Israel

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

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

Aderewa Amontcha,
Universite d'Abomey-Calavi, Benin

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

Rene Mesias Villacres Borja,
Universidad Estatal De Bolivar, Ecuador

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

Qamil Dika,
Tirana Medical University, Albania

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

Hariti Hakim,
University Alger 3, Algeria

Emel Ceyhun Sabir,
University of Cukurova, Turkey

Salomon Barrezueta Unda,
Universidad Tecnica de Machala, Ecuador

Belkis Zervent Unal,
Cukurova University, Turkey

Elena Krupa,
Kazakh Agency of Applied Ecology, Kazakhstan

Carlos Angel Mendez Peon,
Universidad de Sonora, Mexico

Antonio Solis Lima,
Apizaco Institute Technological, Mexico

Roxana Matefi,
Transilvania University of Brasov, Romania

Bouharati Saddek,
UFAS Setif1 University, Algeria

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

Serigne Modou Sarr,
Universite Alioune DIOP de Bambey, Senegal

Nina Stankous,
National University, USA

Lovergine Saverio,
Tor Vergata University of Rome, Italy

Fekadu Yehuwalashet Maru,
Jigjiga University, Ethiopia

Karima Laamiri,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Elena Hunt,
Laurentian University, Canada

Sharad K. Soni,
Jawaharlal Nehru University, India

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

Florence Kagendo Muindi,
University of Nairobi, Kenya

Maximo Rossi Malan,
Universidad de la Republica, Uruguay

Haggag Mohamed Haggag,
South Valley University, Egypt

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

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

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

Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

Stefan Cristian Gherghina,
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

Aristide Yemmafouo,
University of Dschang, Cameroon

Gabriel Anibal Monzón,
University of Moron, Argentina

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

Arburim Iseni,
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

Raoufou Pierre Radji,
University of Lome, Togo

Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,
Universidad de Almeria, Spain

Satoru Suzuki,
Panasonic Corporation, Japan

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

Russell Kabir,
Anglia Ruskin University, UK

Nasreen Khan,
SZABIST, Dubai

Luisa Morales Maure,
University of Panama, Panama

Lipeng Xin,
Xi'an Jiaotong University, China

Harja Maria,
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

Fernando Espinoza Lopez,
Hofstra University, USA

Ammar B. Altemimi,
University of Basrah, Iraq

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

Davide Calandra,
University of Turin, Italy

Nicola Varrone,
University of Campania Luigi Vanvitelli, Italy

Luis Angel Medina Juarez,
University of Sonora, Mexico

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

Sameer Algburi,
Al-Kitab University, Iraq

Braione Pietro,
University of Milano-Bicocca, Italy

Mounia Bendari,
Mohammed VI University, Morocco

Stamatios Papadakis,
University of Crete, Greece

Aleksey Khlopytskyi,
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

Sung-Kun Kim,
Northeastern State University, USA

Nemanja Berber,
University of Novi Sad, Serbia

Krejsa Martin,
Technical University of Ostrava, Czech Republic

Magdalena Vaverkova,
Mendel University in Brno, Czech Republic

Jeewaka Kumara,
University of Peradeniya, Sri Lanka

Antonella Giacosa,
University of Torino, Italy

Paola Clara Leotta,
University of Catania, Italy

Francesco G. Patania,
University of Catania, Italy

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

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

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

Usama Konbr,
Tanta University, Egypt

Branislav Radeljic,
Necmettin Erbakan University, Turkey

Anita Mandaric Vukusic,
University of Split, Croatia

Barbara Cappuzzo,
University of Palermo, Italy

Roman Jimenez Vera,
Juarez Autonomous University of Tabasco, Mexico

Lucia P. Romero Mariscal,
University of Almeria, Spain

Pedro Antonio Martin-Cervantes,
University of Almeria, Spain

Hasan Abd Ali Khudhair,
Southern Technical University, Iraq

Qanqom Amira,
Ibn Zohr University, Morocco

Farid Samir Benavides Vanegas,
Catholic University of Colombia, Colombia

Nedret Kuran Burcoglu,
Emeritus of Bogazici University, Turkey

Julio Costa Pinto,
University of Santiago de Compostela, Spain

Satish Kumar,
Dire Dawa University, Ethiopia

Favio Farinella,
National University of Mar del Plata, Argentina

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

Salwa Alinat,
Open University, Israel

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

Rasool Bukhsh Mirjat,
Senior Civil Judge, Islamabad, Pakistan

Samantha Goncalves Mancini Ramos,
Londrina State University, Brazil

Mykola Nesprava,
Dnoproetrovsk State University of Internal Affairs, Ukraine

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

Giacomo Buoncompagni,
University of Florence, Italy

Elza Nikoleishvili,
University of Georgia, Georgia

Mohammed Mahmood Mohammed,
University of Baghdad, Iraq

Oudgou Mohamed,
University Sultan Moulay Slimane, Morocco

Arlinda Ymeraj,
European University of Tirana, Albania

Luisa Maria Arvide Cambra,
University of Almeria, Spain

Charahabil Mohamed Mahamoud,
University Assane Seck of Ziguinchor, Senegal

Ehsaneh Nejad Mohammad Nameghi,
Islamic Azad University, Iran

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

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

Harouna Issa Amadou,
Abdou Moumouni University of Niger

Achille Magloire Ngah,
Yaounde University II, Cameroun

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

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

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

Oumar Bah,
Sup' Management, Mali

Angelica Selene Sterling Zozoaga,
Universidad del Caribe, Mexico

Josephine W. Gitome,
Kenyatta University, Kenya

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

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

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

Desara Dushi,
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

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

Aziz Dieng,
University of Portsmouth, UK

Ruth Magdalena Gallegos Torres,
Universidad Autonoma de Queretaro, Mexico

Alami Hasnaa,
Universite Chouaid Doukkali, Maroc

Emmanuel Acquah-Sam,
Wisconsin International University College, Ghana

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

Hicham Chairi,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Noureddine El Aouad,
University Abdelmalek Essaady, Morocco

Samir Diouny,
Hassan II University, Casablanca, Morocco

Gibet Tani Hicham,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

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

Abderrahim Ayad,
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

Sara Teidj,
Moulay Ismail University Meknes, Morocco

Gbadamassi Fousséni,
Université de Parakou, Benin

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

Haounati Redouane,
Ibn Zohr Agadir, Morocco

Hicham Es-soufi,
Moulay Ismail University, Morocco

Imad Ait Lhassan,
Abdelmalek Essaâdi University, Morocco

Givi Makalatia,
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Adil Brouri,
Moulay Ismail University, Morocco

Noureddine El Baraka,
Ibn Zohr University, Morocco

Ahmed Aberqi,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Oussama Mahboub,
Queens University, Kingston, Canada

Markela Muca,
University of Tirana, Albania

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

Kledi Xhaxhiu,
University of Tirana, Albania

Saleem Iqbal,
University of Balochistan Quetta, Pakistan

Dritan Topi,
University of Tirana, Albania

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

Adil Youssef Sayeh,
Chouaib Doukkali University, Morocco

Zineb Tribak,
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

Ngwengeh Brendaline Belo,
University of Biea, Cameroon

El Agy Fatima,
Sidi Mohamed Ben Abdelah University, Morocco

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

Nato Durglishvili,
University of Georgia, Georgia

Abdelkrim Salim,
Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

Omar Kchit,
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

Isaac Ogundu,
Ignatius Ajuru University of Education, Nigeria

Giuseppe Lanza,
University of Catania, Italy

Monssif Najim,
Ibn Zohr University, Morocco

Luan Bekteshi,
"Barleti" University, Albania

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

Oudani Hassan,
University Ibn Zohr Agadir, Morocco

Merita Rumano,
University of Tirana, Albania

Mohamed Chiban,
Ibn Zohr University, Morocco

Tal Pavel,
The Institute for Cyber Policy Studies, Israel

Jawad Laadraoui,
University Cadi Ayyad of Marrakech, Morocco

El Mourabit Youssef,
Ibn Zohr University, Morocco

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

Krzysztof Nesterowicz,
Ludovika-University of Public Service, Hungary

Laamrani El Idrissi Safae,
Ibn Tofail University, Morocco

Suphi Ural,
Cukurova University, Turkey

Emrah Eray Akca,
Istanbul Aydin University, Turkey

Selcuk Poyraz,
Adiyaman University, Turkey

Ocak Gurbuz,
University of Afyon Kocatepe, Turkey

Umut Sener,
Aksaray University, Turkey

Mateen Abbas,
Capital University of Science and Technology, Pakistan

Muhammed Bilgehan Aytac,
Aksaray University, Turkey

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

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

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

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

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

Atif Ali,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Shahzda Adnan,
Pakistan Meteorological Department, Pakistan

Waqar Ahmed,
Johns Hopkins University, USA

Faizan ur Rehman Qaiser,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Choua Ouchemi,
Université de N'Djaména, Tchad

Syed Tallataf Hussain Shah,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

Saeed Ahmed,
University of Management and Technology, Pakistan

Hafiz Muhammad Arshad,
COMSATS University Islamabad, Pakistan

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

Mujeeb Ur Rehman,
York St John University, UK

Noshaba Zulfiqar,
University of Wah, Pakistan

Muhammad Imran Shah,
Government College University Faisalabad, Pakistan

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

Titilayo Olotu,
Kent State University, Ohio, USA

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

Sajjad Ali,
Karakoram International University, Pakistan

Hiqmet Kamberaj,
International Balkan University, Macedonia

Sanna Ullah,
University of Central Punjab Lahore, Pakistan

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

Heba Mostafa Mohamed,
Beni Suef University, Egypt

Abdul Basit,
Zhejiang University, China

Karim Iddouch,
International University of Casablanca, Morocco

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

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

Dolantina Hyka,
Mediterranean University of Albania

Yaya Dosso,
Alassane Ouattara University, Ivory Coast

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

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

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

Rafael Antonio Estevez Ramos,
Universidad Autónoma del Estado de México

Mohamed El Mehdi Saidi,
Cadi Ayyad University, Morocco

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

Murry Siyasiya,
Blantyre International University, Malawi

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

Emmanuel Gitonga Gicharu,
Mount Kenya University, Kenya

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

Foldi Kata,
University of Debrecen, Hungary

Elda Xhumari,
University of Tirana, Albania

Daniel Paredes Zempual,
Universidad Estatal de Sonora, Mexico

Jean Francois Regis Sindayihebura,
University of Burundi, Burundi

Luis Enrique Acosta Gonzlez,
University of Holguin, Cuba

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

Maria Elena Jaime de Pablos,
University of Almeria, Spain

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

Compaore Inoussa
Université Nazi BONI, Burkina Faso

Dorothee Fegbawe Badanaro
University of Lome, Togo

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

Compaore Inoussa

Université Nazi BONI, Burkina Faso

Dorothee Fegbawe Badanaro

University of Lome, Togo

Kouakou N'dri Laurent

Alassane Ouattara University, Ivory Coast

Jalila Achouaq Aazim

University Mohammed V, Morocco

Georgios Farantos

University of West Attica, Greece

Maria Aránzazu Calzadilla Medina

University of La Laguna, Spain

Tiendrebeogo Neboma Romaric

Nazi Boni University, Burkina Faso

Dionysios Vourtsis

University of West Attica, Greece

Table of Contents:

The Philosophy of Probability Value Behavior: Fractions and Composite Probability Functions in the Continuous Case.....1

Abdulaziz Jughaiman

Hábitos Alimentarios en Estudiantes de la Licenciatura en Enfermería e Ingeniería de una Universidad Pública.....22

Adriana Martínez Díaz

Daniela Ugalde Fonseca

Ruth Magdalena Gallegos Torres

Sarket Gizeh Juárez Nilo

Carecterisation des Secheresses de la Region d’Atsimo Andrefana de Madagascar via Standard Precitipation Index (SPI).....34

Rija Santaniaina Rakotoarimanana

Tiana Razefania Ramahefy

Solofo Randrianja

Persistence des Séquences Pluvieuses et Risques d’Inondations de 1971 à 2022 en Côte d’Ivoire.....53

Kolotioloma Alama Coulibaly

Kouadio Christophe N’Da

Daouda Sylla

Pauline Agoh Dibi-Anoh

Bi Tié Albert Goula

Deferrisation Physicochimique des eaux Souterraines: Revue.....74

Benjamain Tiadjoue

Louis Monkam

Jacques Sylvain Mbemmo Fotso

**Hématuries Macroscopiques dans le Service d'UrologieAndrologie du
CHU de KARA, Togo : Aspects Épidémiologiques, Cliniques,
Étiologiques, et Thérapeutiques.....105**

Musapudi Eric Mbuya

Komi Hola Sikpa

Messan Semefa Agbedey

Gnimdou Botcho

Bawa Nonoa

Sabi Rachid Sade

Edoe Viyome Sewa

Kodjo Tengue

Tchilabalo Matchonna Kpatcha

Polyarthrite Rhumatoïde au Niger : États des Lieux.....117

Ismael Ayouba Tinni

Yannick Laurent Tchenadoyo Bayala

Abdoul Aziz

Garba Mahaman Salissou

Andia Abdoul Kader

Garba Abdoul Aziz

Moussa Fanata

Brah Souleymane

Eric Adehossi

**Connaissances, Attitudes et Pratiques de la Dépigmentation Cosmétique
Volontaire des Jeunes Filles en Milieu Scolaire et Universitaire du
Département des Collines au Bénin.....131**

Evrard Bayédjè Koutchoro

Damien Georgia Barikissou

Ignace Coovi Nonwanou Tokpanoude

Elvire Sègnon Eurydice Djossou

Sarafa O. Idohou

Christiane Koudoukpo

Badirou Aguemon

**Dynamique de l'Exploitation des Produits Forestiers non Ligneux
Commercialisés dans le Département de Goudomp, Sénégal.....147**

Seydou Ndiaye

Pape Ibrahima Djighaly

Saboury Ndiaye

Fodé Amata Dramé

**Diversité et Distribution du Peuplement Ichtyofaune dans l'Estuaire de
Betsiboka, Nord-Ouest de Madagascar.....162**

Benjamin Tsirilaza

Rabarison Guy Arthur Andriamirado

Jean Robertin Rasoloariniaina

Yves Mong Jean-Michel

Rejo-Fienena Félicitée

Evaluation de la Mise en Oeuvre des SONU dans le Département des Collines (Benin) en 2022.....180

Joachim G. Aïfa

Florence Abraham

Roger Klikpezo

Barikissou Georgia Damien

Badirou Aguemon

Edgard-Marius Ouendo

Evaluation de la Substitution Partielle du Tourteau de Glycine max (L.) Merr (Soja) par le Tourteau de la Pulpe de Dacryodes edulis (Safou) H.J. Lam. (1932) dans l'Alimentation des Poules Pondeuses au Congo-Brazzaville.....196

A. J. Saboukoulou

P. P. Adzona

V. M. Ntsoumou

H. Banga-Mboko

Caractérisation Lithologique, Hydrosédimentaire Et Cartographie des Aquifères par la Méthode des Indices d'Évolution : Cas de la Recharge des Aquifères de Bonoua (Sud-Est Côte d'Ivoire).....214

Amani Jonas Alla

N'Goran Jean Paul Yao

Diby Ferdinand Yao

Zéli Bruno Digbehi

Facteurs Associés à la Consommation des AINS en Automédication chez les Patients vus en Rhumatologie à Abidjan.....236

Nzima Brice Kollo

Aboubakar Bamba

Aboubacar Condé

Irène Mendo

Nina Kpami

Yaya Coulibaly

Abidou Kawélé Coulibaly

Mohamed Diomandé

Edmond Eti

Joseph Enoch Koffi

Ehaulier Kouakou

Perception des Exploitants Familiaux Producteurs de Maïs sur les Perturbations Climatiques dans l’Hinterland de Lubumbashi : Région du Haut-Katanga, RDC.....250

Laurent Kabala Kazadi

John Tshomba Kalumbu

Robert Monga Ilunga Dikoshi

Augustin Nge Okwe

Moïse Kalambaie

Jules Nkulu Mwine Fyama

The Philosophy of Probability Value Behavior: Fractions and Composite Probability Functions in the Continuous Case

Abdulaziz Jughaiman

Bachelor Degree of Science in the Field of Operations Research
King Saud University, Saudi Arabia

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p1](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p1)

Submitted: 19 January 2024
Accepted: 15 March 2024
Published: 31 March 2024

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

Cite As:

Jughaiman A. (2024). *The Philosophy of Probability Value Behavior: Fractions and Composite Probability Functions in the Continuous Case*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p1>

Abstract

This paper focuses on probability value behavior in the case of continuous sample space by employing fractions intervals and composite functions. The study evaluates value behavior rather than finding values directly, which involves utilization of some concepts from continuity, geometric probability, and measure theory. This paper primarily uses an experiment that contains two major events, head H and tail T, in all their occurrence phases. This spread in infinite and uncountable fractions by a continuous motion within intervals and in the predominant circumstances where events are probabilistic values. As a result, every circumstance reflects many important characteristics of probability theory. Among the main results, this paper provides proven propositions that help design experiments upon understanding the case nature, with some explanations to the existing relation between probability value and the case nature. Also, this paper provides a proven corollary that allows visualizing negative probability values as a particular trial. This in turn proposes necessary uses for the composite probability function $\mathcal{P}_j(\varphi_i)$. Moreover, this paper provides numerical explanations of limits, which can demonstrate the nature of $\mathcal{P}_j(\varphi_i)$, alongside some techniques. Also, this paper considered conditional probability through some corollaries and the possibility of using the non-negative function of the interval i , alongside many important results in form of discussions.

Keywords: Geometric Probabilities, Negative Probabilities, Dependent

Introduction

The difference between haphazard, chance or accident, and the act is a thin thread. The same applies to the difference between finding a dumped coin and the chance between two players. Notably, in the game of chance, every player has some information about the other and has some choices. However, in the first case, no one has an idea about who may find the coin, in addition to the independence factor. "Randomness is to be understood as a special case of the epistemic concept of the unpredictability of a process" (Eagle, 2005). In randomness, events happen without any intentional action, and it is difficult to predict their occurrence. Also, they are rarely repeated, in addition to the factor of homogeneity. According to Laplace, "Les événements actuels ont avec les précédents une liaison fondée sur le principe évident, qu'une chose ne peut pas commencer d'être, sans une cause qui la produise. Cet axiome, connu sous le nom de *principe de la raison suffisante*, s'étend aux actions mêmes que l'on juge indifférentes. La volonté la plus libre ne peut, sans un motif déterminant, leur donner naissance ; car si, toutes les circonstances des deux positions étant exactement semblables, elle agissait dans l'une et s'abstenait d'agir dans l'autre, son choix serait un effet sans cause : elle serait alors, dit Leibnitz, le hasard aveugle des épicuriens. L'opinion contraire est une illusion de l'esprit qui, perdant de vue les raisons fugitives du choix de la volonté dans les choses indifférentes, se persuade qu'elle s'est déterminée d'elle-même et sans motifs" (Laplace, 1995).

On the other hand, the concept of continuity plays a significant role in randomness. This means that the discrete process is usually a segment of a continuous process, and it appears if the continuous process is interrupted. Moreover, when human consciousness or technology are unable to recognize the entire process or the uncountable instant such as in the case of absolute speed, there is need to consider the process as a continuous process. Therefore, the unseen indicates events which happened as discrete events from a continuous process or as unrepeated events in discrete processes, where the latter may be considered as deterministic events. Furthermore, information may be regarded somewhat as events.

In the process of tossing a true coin, there will be a continuous process as long as the coin fluctuates. Subsequently, this is considered as a kind of unknown because of the infinite and uncountable points, thus resulting to an infinite and an uncountable sample space. The continuous process is almost uncontrollable since the change is permanent and one can evaluate its limit rather than its exact value. Therefore, there is less determination and more approximation. Moreover, science cannot visualize the discrete case precisely, except through its continuous case. As a result, the previous paper (discrete case) has provided some description of the continuous process (see Corollary

V) (Jughaiman, 2023). For instance, if a true coin is monitored during its fluctuation, at specific points and specific time intervals, to get the result of head and tail such that $(H, T): (\frac{49}{100}, \frac{51}{100})$, how could this result be repeated? Hence, if this question is necessary, then the answer is also necessary.

The notion of continuity dates back to Leonhard Euler (1707-1783). However, the more modern version of continuity is credited to Bolzano (1817) and Cauchy (1821). Interestingly, Bolzano and Cauchy were concerned with continuity on an interval, rather than continuity at a point (Stoll, 1997).

In reality, however, the epistemological value of the theory of probability is revealed only by limit theorems. Moreover, without limit theorems, it is impossible to understand the real content of the primary concept of all the sciences connected to the concept of probability. Historically, there are five considerable limit theorems and the first four deals with a sequence of independent events (Gnedenko & Kolmogorov, 1968).

Methods

The experiment focuses on observing the appearance of probability fractions (intervals) of head or probability fractions (intervals) of tail in a continuous process. However, it is important to answer the following question: How does the continuous value of probability behave?

This paper utilizes a true coin, shaping it into a spherical form (true ball), with a radius of r . Thereafter, the ball is theoretically divided into n ordered closed circles with replacement for every half separately, where n is unknown. At every point up to the peak, a cumulative value of probability fractions (circles) is supposed in an ordered manner, starting from the event $p_0 = 0$ as the lower fraction (minimum and lower bound) up to the event $p_n = 1$ as the upper fraction (maximum and upper bound) of the closed interval $[0,1]$. However, since the points are infinite and uncountable, p_i is unknown, where p_i is approaching $\pm\infty$. If p_0 and p_n are expressed as points, they can also be expressed as intervals $p_{i=[0,0]}$, $p_{i=[1,1]}$, or inside an interval $p_{i=[0,1]}$. The composite function $P_j(p_i)$ can be expressed as a sequence $\{P_{j=1,..,m}(p_{i=0,..,n})\}$. In addition, the peak of the upper half of the ball represents success as shown in Figure 1.

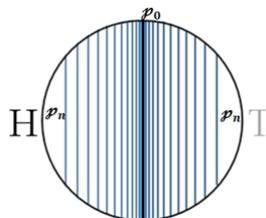


Figure 1. Every half is divided into infinite uncountable fractions

It should be noted that in the discrete case, i is used to denote the number of fraction that can possibly happen by every throw separately (Jughaiman, 2023). However, in the continuous case, i is used to denote the fractions intervals at some arbitrary time intervals. In addition, this present paper utilizes the procedures and expressions illustrated in Figure 2.

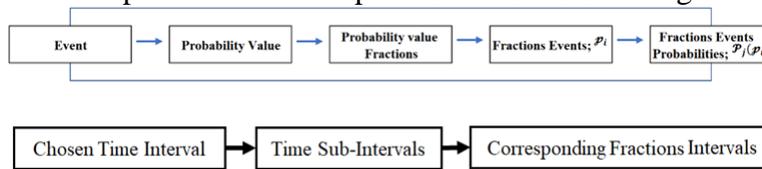


Figure 2. Used procedures and expressions

Where interval, unless specified otherwise, denotes the fractions interval. Regarding the time sub-interval (a, b) , this paper considers the longest time sub-interval as the required time interval for the ball to traverse a distance from zero to $\frac{\pi}{2}$, at its fastest motion. The shortest one occurs when the ball remains motionless. In this experiment, two circumstances arise: if the ball moves along a straight line, then there is one direction; secondly, if the ball moves on an uneven surface, then there are different directions (Here, the physical circular motion is disregarded).

Results

If “two arbitrary points are selected on the surface of a sphere of radius R ”, then “the probability that an arc of a great circle passing through these points will make an angle less than α , where $\alpha < \pi$ ”, is the area of the half surface of sphere minus this area multiplied by cosine α . This is further divided by the total area of the sphere’s surface.

Thus,

$$\begin{aligned}
 "p" &= " \frac{2\pi R^2 - 2\pi R^2 \cos \alpha}{4\pi R^2} = " \frac{2\pi R^2(1 - \cos \alpha)}{4\pi R^2} " = \frac{(1 - \cos \alpha)}{2} \\
 &= " \sin^2 \frac{\alpha}{2} "
 \end{aligned}$$

This is shown in Figure 3 (Sveshnikov, 1968).

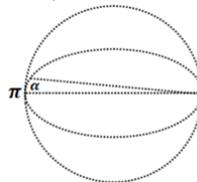


Figure 3. The probability that an arc $\widehat{0\alpha}$, passing through two points is less than the probability that an arc, $\widehat{0\pi}$, passing through these points by $2\pi R^2 \cos \alpha / 4\pi R^2$.

Therefore, the probability that an arc of a great circle passing through two arbitrary points makes an angle equal to α , where $\alpha < \pi$, and if $\alpha = \frac{\pi}{2}$, is given as:

$$p = \frac{2\pi r^2}{4\pi r^2} = \frac{1}{2}, \text{ which equals to } p = \frac{p(H)}{S} = \frac{1}{2}.$$

Circumstance 1: One Direction

1. If the ball moves in a straight line, starting from zero with constant velocity, consider the following: Every sub-interval of time will correspond to the fractions of interval i in a motion of rotation of 90° . Thus, for an infinite number of sub-intervals of time, the sample space will encompass all points on the great circle (Figure 4).

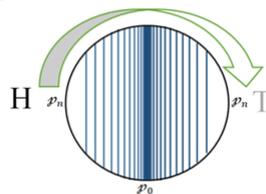


Figure 4. H is appearing completely when p_0 coincides with the x-axis, 180° clockwise

Also, there will be ordered head fractions and ordered tail fractions, but no randomness. Nevertheless, as values are subjected to probability axioms, then these values can reflect probability characteristics. Also, if one applies probability theory, then the outcomes for $\{(H), (T)\}$ will be the ordered triplets: $\{(0,1,0), (0,1,0), \dots + \infty\}$. This interprets why probability value takes the values of 0 and 1, and why the area under the density curve should be equal 1 in the case of continuous random variable.

2. If the ball moves in a straight line, starting from zero with variant velocity, then there is only one direction. However, as the rotation degree will be random for inconstant velocity, the corresponding fractions intervals on the curve will be unequal for equal time sub-intervals (See Figure 5).

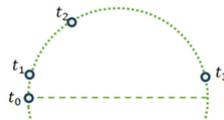


Figure 5. Equal and constant time intervals with unequal fractions intervals

This can result in drawing the normal distribution form (Gaussian distribution form). In addition, if the velocity of the ball increases arbitrarily, then the intervals become narrower and narrower (see Figure 6). The probability distribution of a sum of independent random variables tends to become gaussian as the number of random variables being summed increases without limit, such as, the shot noise generated in a thermionic vacuum tube and the voltage fluctuation produced by thermal agitation of electrons in a

resistor (Davenport, 1958). As soon as the ball stops, the continuous case will breakup at a discontinuity point, and it is called the discrete case.

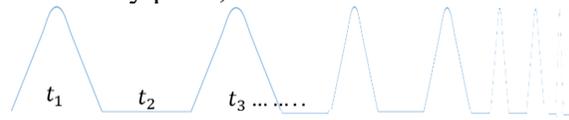


Figure 6. The intervals where H or T probability fractions are increasing and decreasing

Proposition I: For every random process, the number of trials is at least equal to the square number of the fundamental events, m^2 .

While this proposition may seem trivial, it is also quite useful as it can reflect various sampling and counting techniques. For an alternative proposition and evaluation, refer to Uspensky (1937).

Proof: In principle, for the case of a true coin in a discrete process, the number of trials should be at least four to obtain either head or tail (Table 1).

Table 1. The chances of all events m^2 , not the permutation $m!$.

H	T	1	2	3	1	2	3	4	...
T	H	2	3	1	2	3	4	1	...
		3	1	2	3	4	1	2	...
					4	1	2	3	...
					⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

In the case of throwing a ball, if one records the fraction that the ball moves through at every interval's end, then at every instant of time, there will be a new fraction, such that, for an infinite number of uncountable events (points) p_i , inside the closed interval $[0, 1]$, where $\sum_{i=0}^{\infty} P(p_i) = 1$. If this quantity is less than 1, then there are missing events. In other words, there is no certain event. Since this is true and because of the uncountable aspect of real numbers, there is always a need for enough intervals that reflect the main characteristics in any experiment, besides avoiding errors. Furthermore, while this could be used to prove the uncountable aspect of real numbers, continuity, on the other hand, it helps to reduce errors that cannot be recognized in the discrete process. Consequently, if every event has besides its increasing path, a decreasing path towards all complement events, then this will clearly support the proposition I (Figure 10) to the left.

In addition, in the case of discrete processes, the outcome has values with a large difference, such as tossing a true coin twice with outcomes of 0 and 1. In contrast, in the continuous case, there is a value at every instant, and this value is very close to the previous value or to the next value. Functions that are continuous at every number in a given interval are sometimes thought of as functions whose graphs can be sketched without lifting the pencil from the paper. Also, "a small change in x produces only a small change in the function value $f(x)$ ". These are not accurate descriptions, but rather devices to help develop an intuitive feeling for continuous functions (Swokowski, 1988).

For a sequence A_n , the set of all those points which belong to almost all A_n (all but any finite number) is called the *inferior limit* of A_n and $\liminf A_n = \bigcup_{n=1}^{\infty} \bigcap_{k=n}^{\infty} A_k$. Also, the set of all those points which belong to infinitely many A_n is called the *superior limit* of A_n and $\limsup A_n = (\bigcup_{n=1}^{\infty} \bigcap_{k=n}^{\infty} A_k^c)^c = \bigcap_{n=1}^{\infty} \bigcup_{k=n}^{\infty} A_k$. This implies that $\liminf A_n \subset \limsup A_n$. Thus, if the reverse inclusion is true, $\liminf A_n$ and $\limsup A_n$ are equal to the same set A . Therefore, A is called the *limit* of A_n . Also, a sequence A_n is said to be *monotone* if it is either *nondecreasing*: $A_1 \subset A_2 \subset \dots$, and it is written as $A_n \uparrow$; or if it is *nonincreasing*: $A_1 \supset A_2 \supset \dots$, and it is written as $A_n \downarrow$. Hence, “every monotone sequence is convergent, and $\lim A_n = \bigcup A_n$ or $\bigcap A_n$ according as $A_n \uparrow$ or $A_n \downarrow$ ” (Loève, 1977).

Corollary I: For fundamental events m , with probabilities of occurrence that equal to zero in a continuous process, the probabilities of fractions take negative probability values in a sub-sequence $\{\mathcal{P}_{j=1,\dots,m \downarrow}(\mathcal{P}_{i=0,\dots,t})\}$ of a sequence $\{\mathcal{P}_{j=1,\dots,m}(\mathcal{P}_{i=0,\dots,t})\}$ that sum to zero, where the composite functions $\mathcal{P}_{j \uparrow}(\mathcal{P}_i) = -\mathcal{P}_{j \downarrow}(\mathcal{P}_i)$ for $j = 1, \dots, m, i = 0, \dots, t$ and $\{\mathcal{P}_{j=1,\dots,m \uparrow}(\mathcal{P}_{i=0,\dots,t})\}$ is also a sub-sequence of the sequence $\{\mathcal{P}_{j=1,\dots,m}(\mathcal{P}_{i=0,\dots,t})\}$.

Proof: From probability axioms, $0 \leq \mathcal{P}_i \leq 1$, for $i = 0, 1, 2, \dots, \infty$. And if $\mathcal{P}_i, i = 0, 1, 2, \dots, \infty$ are mutually disjoint sets in \mathfrak{F} , then $\bigcup_i \mathcal{P}_i = \sum_i \mathcal{P}_i$. Also, if $\sum_{i=0}^n \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) + \sum_{i=0}^n \mathcal{P}_T(\mathcal{P}_i) = 1$ and if $\sum_{i=0}^n \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) = \sum_{i=0}^n \mathcal{P}_T(\mathcal{P}_i)$, then $\sum_{i=0}^n \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) = \sum_{i=0}^n \mathcal{P}_T(\mathcal{P}_i) = \frac{1}{2}$. Also, it is well known from the discrete case that, $\sum_{0 \leq i \leq n} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) = \sum_{0 \leq i \leq \frac{n}{2}} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) + \sum_{\frac{n}{2} < i \leq n} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) = \frac{1}{2}$.

Therefore, for a continuous motion, if $n = \pi$ and if,

$$\sum_{0 \leq i \leq \frac{\pi}{2}} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) = \sum_{\frac{\pi}{2} < i \leq \pi} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) = \frac{1}{2}. \text{ Then,}$$

$$\sum_{0 \leq i \leq \frac{\pi}{2}} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) + \sum_{\frac{\pi}{2} < i \leq \pi} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) > \frac{1}{2}.$$

This is contrary to the probability axioms. Therefore, one of the two series should be negative. Hence,

$$0 \leq \sum_{0 \leq i \leq \frac{\pi}{2}} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) + \sum_{\frac{\pi}{2} < i \leq \pi} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) \leq \frac{1}{2}.$$

By multiplying both sides of every inequality by -1 , we will arrive at:

$$-\frac{1}{2} \leq -\sum_{0 \leq i \leq \frac{\pi}{2}} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) - \sum_{\frac{\pi}{2} < i \leq \pi} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) \leq 0.$$

Then, by taking $\sum_{0 \leq i \leq \frac{\pi}{2}} \mathcal{P}_H(\rho_i) = \frac{1}{2}$ and adding it to the both sides of every inequality, then $0 \leq -\sum_{\frac{\pi}{2} < i \leq \pi} \mathcal{P}_H(\rho_i) \leq \frac{1}{2}$, or $-\frac{1}{2} \leq \sum_{\frac{\pi}{2} < i \leq \pi} \mathcal{P}_H(\rho_i) \leq 0$.

As a result, the negative value here is necessary.

Now, suppose that the ball moves in one direction at constant velocity v through the time interval $[t_0, t]$, which is corresponding to the fraction interval $[0,1]$. And if $t_0 = 0$, then the displacement $\theta = v\Delta t$, where Δt is the change of t . However, if $v = 1$, then $\theta = \Delta t$ where $0 \leq \theta \leq t$. Also, if $t = n$, then $n - 1 \leq t \leq n + 1$. Consequently, $t \leq n + 1$, where t includes all possible values, recall $\mathcal{P}_j(\rho_i)$ from the discrete case, where

$$\sum_j^m \sum_i^n \mathcal{P}_j(\rho_i) = \sum_j^m \sum_i^n \frac{1}{n+1} \left[1 - \frac{J(n-i)}{Jn} \right].$$

The infinite r rounds in the alternating infinite sequence $(-1)^{r+1}$ is given as:

$(-1)^{r+1} \sum_i^t \mathcal{P}_H(\rho_i) + (-1)^{r+1} \sum_i^t \mathcal{P}_H(\rho_i) + \dots$ for $r = 1, 2, \dots$. So, for $t > 0$,

$$\begin{aligned} (-1)^2 \sum_i^t \mathcal{P}_H(\rho_i) &= (-1)^2 \mathcal{P}_H(t_0, t) = \frac{(-1)^2}{t} \int_{t_0}^t [\mathcal{P}_H(\theta)] d\theta = \\ \frac{1}{t} \int_{t_0}^t \left[1 - \frac{(t-(t-t_0))}{t} \right] d\theta &= \frac{1}{t} \int_{t_0}^t \left[\frac{t-t+(t-t_0)}{t} \right] d\theta = \frac{1}{t} \int_{t_0}^t \left[\frac{(t-t_0)}{t} \right] d\theta = \\ \frac{1}{t^2} \int_{t_0}^t [\theta] d\theta &= \frac{1}{t^2} \left[\frac{\theta^2}{2} \right]_{t_0}^t = \frac{(t)^2 - (t_0)^2}{2t^2} = \frac{(t)^2 - 0}{2t^2} = \frac{t^2}{2t^2} = \frac{1}{2}. \text{ Result 1.} \end{aligned}$$

Also, for the same interval (t_0, t) , $(-1)^3 \mathcal{P}_H(t_0, t) = \frac{(-1)^3}{t^2} \int_{t_0}^t [(t - t_0)] d\theta =$

$$\frac{-1}{t^2} \int_{t_0}^t [\theta] d\theta = \frac{-1}{t^2} \left[\frac{\theta^2}{2} \right]_{t_0}^t = -\frac{(t)^2 - (t_0)^2}{2t^2} = -\frac{(t)^2}{2t^2} = -\frac{1}{2} \text{ Result 2.}$$

Also, from the integration $\int_a^b f(x) dx = -\int_b^a f(x) dx$ (Lebesgue, 1989), if the theoretical part of the ball is restricted on the arc $0 \widehat{\frac{\pi}{2}}$, then results 1 and 2 can be obtained directly by:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} [\theta] d\theta &= \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \left[\frac{\theta^2}{2} \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - (0)^2}{2\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} = \frac{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2}{2\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} = \frac{1}{2}. \\ \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \int_{\frac{\pi}{2}}^0 [\theta] d\theta &= \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \left[\frac{\theta^2}{2} \right]_{\frac{\pi}{2}}^0 = \frac{(0)^2 - \left(\frac{\pi}{2}\right)^2}{2\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} = -\frac{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2}{2\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} = -\frac{1}{2}. \end{aligned}$$

$$\text{So, } \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} [\theta] d\theta + \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2} \int_{\frac{\pi}{2}}^0 [\theta] d\theta = \frac{1}{2} + \left(-\frac{1}{2}\right).$$

$\{\mathcal{P}_H(\rho_{i=0,\dots,t})\} = \{\mathcal{P}_{H\uparrow}(\rho_{i=0,\dots,t})\} + \{\mathcal{P}_{H\downarrow}(\rho_{i=0,\dots,t})\} = 0$ Result 3.

Consequently, this process is a continuous process on $[0, 1]$, where the composite function $\mathcal{P}_H(\rho_i)$ does not cease at any point. Therefore, these results reflect the fact that $\rho_{(+\infty)} = 1$ and $\rho_{(-\infty)} = 0$. Also, these results

reflect that nil value does not only mean that the impossible event is happening, but it also means that there is no discrete process. At the same time, in the discrete case, nil value does not only mean that the impossible event is happening, but it also means that there is a continuous process. The zero value here provides an explanation of the limit value for $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{2^n} = 0$. *Result 3'*

If the density of the probability $f(z)$ is subject to two conditions: (a) $f(z) \geq 0$ for all z in (a, b) . (b) $\int_a^b f(z) dz = 1$. However, in all cases, the largest possible interval may be taken from $-\infty$ to $+\infty$. To this end, it suffices to *define* the density outside the originally given interval as being $= 0$. Thus, the density is defined for all real values of z and satisfies the conditions: (a) $f(z) \geq 0$ for all z . (b) $\int_{-\infty}^{+\infty} f(z) dz = 1$. Furthermore, the probability for x to be in any interval (c, d) will be given by $\int_c^d f(z) dz$. In particular, taking $c = -\infty$ and writing t instead of d , $F(t) = \int_{-\infty}^t f(z) dz$ represents the probability that x will not exceed or will be less than t . Considered as a function of t , $F(t)$ is never decreasing (Uspensky, 1937).

From another point of view, the negative part in *result 2* is not defined as being $= 0$. However, it is satisfying the axioms if *result 1* is solely considered as enough condition that is satisfying the axioms. Thus, the sum's axiom is explained by the inequalities instead of equality. If that is the case, then the importance of probability axioms will lie in that, $0 \leq \int_{-\infty}^{+\infty} f(z) dz \leq 1$. Therefore, it is significant to know how the sum in this interval $(-\infty, +\infty)$ can spread between these two inequalities.

On the other hand, if $\sum_{0 \leq i \leq \pi} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) = \frac{1}{2}$,

then $\sum_{0 \leq i \leq \frac{\pi}{2}} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) = \frac{1}{2} - \sum_{\frac{\pi}{2} < i \leq \pi} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i)$. In addition, $t + 1 \geq n$ implies that both quarters of every half are included in $t + 1$, where $0 \leq \theta \leq t$, $t_0 = 0$ and $t = 1$. Here, if $t = 1$, then $t + 1$ implies that "1" is an interval. In the discrete case, "1" is a point, and n are also points (Discussion-Supposition). Thus, $\sum_i^{t+1} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) = \sum_i^t \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) + \sum_i^t \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i)$.

The integration is $\mathcal{P}_H(t_0, t) = \frac{1}{t+1} \int_{t_0}^t \left[\frac{t-t+(t-t_0)}{t} \right] d\theta$. Also,

$$\frac{1}{t(t+1)} \int_{t_0}^t [t - t + (t - t_0)] d\theta = \frac{1}{t(t+1)} \int_{t_0}^t [\theta] d\theta = \frac{1}{t(t+1)} \left[\frac{\theta^2}{2} \right]_{t_0}^t = \frac{1}{2t(t+1)} [(t)^2 - (t_0)^2] = \frac{1-0}{2(2)} = \frac{1}{4}. \text{ Result 4.}$$

Consequently, the ball is divided into 4 quarters and every face has two attached quarters. Therefore, $\sum_{0 \leq i \leq \frac{\pi}{2}} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) = \sum_{\frac{\pi}{2} < i \leq \pi} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i) = \frac{1}{4}$ means that $\sum_i^{t+1} \mathcal{P}_H(\mathcal{P}_i)$ is already multiplied by $\frac{1}{2}$, since \mathcal{P}_n is always equal to 1.

Also, if the value of t increases infinitely such that $\theta \rightarrow +\infty$, then the value of probability will also increase to approach the value of $\frac{1}{2}$. However, it does not exceed it. Numerically, this proves that $\frac{1}{2}$ is a limit of $\mathcal{P}_H(p_i)$ (Table 2). At the same time, as the value of t decreases infinitely such that $\theta \rightarrow -\infty$, the value of probability decreases to approach zero. However, it does not exceed it. This further proves another limit of $\mathcal{P}_H(p_i)$, which is explained in results 1, 2, and 3.

Table 2. Whatever the acceleration of t is, the function has less acceleration

t	t^2	$\frac{t^2}{2t^2 + 2t}$
1	1	0.25
2	4	0.333333333
\vdots	\vdots	\vdots
1,000,000,000	1E+18	0.5

Actually, this case is not seen as one continuous process. It is rather seen as two separate continuous processes on $[0, 1]$, where every process repeats the other and they both cease at point 1 where the sum is $\frac{1}{4}$. Hence, they both serve separately to give a discrete quantity, where repeating is an aspect of the discrete processes, *Result 4'*. Therefore, $\mathcal{P}_H(p_i)$ is continuous at 0 to the right, while 1 is a discontinuity point.

Also, in continuous processes, the conditional concept could be considered. So, for every n events (interval) ; $p_{i+1\uparrow}$ occurring if $p_{i\uparrow}$ occurs is given. Additionally, it is sufficient that every point in $p_{i\uparrow}$ is also in $p_{i+1\uparrow}$ which is satisfying that the points are in $p_{i\uparrow}p_{i+1\uparrow}$.

For a probability space $(\mathfrak{F}, \mathfrak{B}, \mathcal{P}(\cdot))$, if \mathfrak{F} “is uncountable”, then \mathfrak{B} “cannot in general be the set of all subsets.” But “once one has one probability defined over” $(\mathfrak{F}, \mathfrak{B})$, “then one can define other probabilities that are called conditional probabilities” (Tucker, 1967).

In the present case, if $\mathcal{P}_{j=1,\dots,m}(p_0) = 0$ (impossible: nothing happened: no condition: zero), it is excluded, and this is also the case for $\mathfrak{F} \in \mathfrak{B}$ and all $p_i \in \mathfrak{B}$. Nevertheless, the nature of \mathfrak{F} allows it to contain probabilistic values ($p_0 = P(\emptyset), p_n = P(S)$). Thus, even if \mathfrak{F} is considered a fundamental set, \mathfrak{F} could be considered a set of subsets of $\{(P(H), P(T))\}$. In a sure event, S means the probability of 1, which takes the connective (*or*) (1 *or* 1). It also means the occurrence of all events of S , which also takes the connective (*or*) for its elements' occurrence. So, in definition VI in the discrete case (Jughaiman, 2023), it is necessary to take into account that it would have been better if “all $p_i \in \mathfrak{F}$ ” was extended to “all $p_i \in \mathfrak{B}$ ”. Also, the mutually disjoint sets in \mathfrak{B} , as well in the present case should be put into consideration.

Also, \mathcal{P}_i should be considered to represent, implicitly, any event such that $[\mathcal{P}_{j(i),j(i)}, \dots, \mathcal{P}_{j(i),j+1(i)}, \dots, \mathcal{P}_{j+1(i),j+1(i)}, \dots, \mathcal{P}_{j+1(i),j(i)}]$.

Moreover, the difference in the discrete case is that the events are independent in every throwing, where in the present case every event is supposed to be dependent on the previous event. “Among Markov’s own significant contributions to probability theory were his pioneering investigations of limit theorems for sum of *dependent* random variables and the creation of a new branch of probability theory, the theory of dependent random variables, that form what we now call a Markov chain”, (Shiryayev, 2016).

Corollary II (From Multiplication Rule): For every n events $\mathcal{P}_1, \dots, \mathcal{P}_n$ for which $\mathcal{P}_{j=1,\dots,m}(\mathcal{P}_1 \dots \mathcal{P}_{n-1}) > 0$. Then, $\mathcal{P}_{j=1,\dots,m}(\mathcal{P}_1 \dots \mathcal{P}_n) = \mathcal{P}_{j=1,\dots,m}(\mathcal{P}_1)\mathcal{P}_{j=1,\dots,m}(\mathcal{P}_2|\mathcal{P}_1) \dots \mathcal{P}_{j=1,\dots,m}(\mathcal{P}_n|\mathcal{P}_1 \dots \mathcal{P}_{n-1})$. For the theorem and proof, see Tucker (1967).

Corollary III (From Theorem of Total Probabilities): If $\mathcal{P}(\bigcup_{j=1}^m \bigcup_{i=1}^n \mathcal{P}_{ji}) = 1$, where $\{\mathcal{P}_{j=1,\dots,m,i=1,\dots,n}\}$ is a finite or denumerable sequence of disjoint events, if $\mathcal{P}_{j=1,\dots,m}(\mathcal{P}_{i=1,\dots,n}) > 0$ for every i , and if $A \in \mathfrak{B}$. Then, $\mathcal{P}_{j=1,\dots,m}(A) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \mathcal{P}(A|\mathcal{P}_{ji}) \mathcal{P}(\mathcal{P}_{ji})$. For the theorem and proof, see Tucker (1967). Moreover, for the expectation, if it exists and “as soon as the given σ -fields are not generated by countable partitions, the descriptive approach remains possible, thanks to the Radon-Nikodym theorem” (Loève, 1978).

3. If the ball moves in one direction but it diffuses in all directions at a velocity that is higher than the velocity of its motion, then the points turn away. Also, at every instant, there would be unknown points (uncountable) (Figure 7).

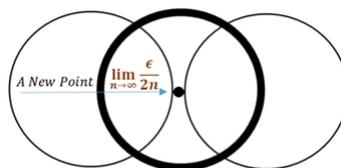


Figure 7. As point is undefined, it is also unknown (uncountable)

For example, the predominant circumstance in the process of tossing a true coin is the one-direction circumstance, where resistance is a bit like a flat surface. Also, if every face of a coin loses weight randomly in a continuous process, then by the integration $\sum_j^m \sum_i^n \mathcal{P}_j(\mathcal{P}_i) \geq 0$.

Circumstance 2: Different Directions

Every sub-interval of time will be corresponding to fractions’ interval i in a motion of different rotation. So, for an infinite number of sub-intervals

of time, sample space will be all points on the ball. If one considers that all events are equally likely, then it will also bring Result 3 or 4 (Figure 8).

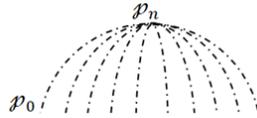


Figure 8. The infinite curves that the ball can move on, where every curve represents a single direction. That means the infinite motion in different directions brings the same result of one direction infinite motion

Definition I: “Let Ω be a measurable subset of n -dimensional Euclidean space with positive, finite Lebesgue measure. Furthermore, let \mathcal{A} be the set of all measurable subsets of Ω and $\mu(A)$ the n -dimensional Lebesgue measure of the measurable set A . Let $P(A)$ be defined by $\frac{\mu(A)}{\mu(\Omega)}$,” and “[Ω, \mathcal{A}, P] is a Kolmogorov probability space. In this probability space, probabilities may be obtained by geometric determination of measures” (Rényi, 1970).

“The selections of measurable sets and the concepts of limit in range-spaces are rooted in the properties of the Euclidean line: Real line $R = (-\infty, +\infty)$ with euclidean distance $|x - y|$ of points (numbers, reals) x, y . Species of spaces vary according to the preserved amount of these properties, an amount which increases as we pass from separated spaces to metric spaces, then to Banach spaces and to Hilbert spaces” (Loève, 1977).

Theoretically, if one bends the portion of the real line of the closed interval $[0,1]$ as shown in Figure 9, this will represent the infinite uncountable fractions (circles).

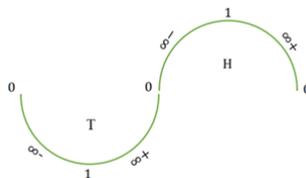


Figure 9. The portion of the real line that bends over every quarter of the ball

“It is well known that we can establish a one-to-one correspondence between all real numbers and all points on the line. Also, a similar correspondence may be established between all pairs of real numbers (x_1, x_2) and all points in a plane, or between all triplets of real numbers (x_1, x_2, x_3) and all points in a three-dimensional space.” Moreover, “the length of a finite interval (a, b) in R_1 is the non-negative quantity $b - a$.” Consequently, “for a degenerate interval, the length is zero. The length of an infinite interval can be defined as $+\infty$. Thus with every interval $i = (a, b)$, we associate a definite non-negative length, which may be finite or infinite. Also, we may express

this by saying that the length $L(i)$ is a *non-negative function of the interval i* , and writing $L(i) = b - a$, or $L(i) = +\infty$, as the interval i is finite or infinite” (Cramér, 1946). For example, in the present case, interval $\mathcal{P}_{i=[0,0]}$ is a degenerate interval. Intuitively, if area (or length) is used instead of numbering (frequency), then the probability of head will be the area of head / the area of the coin for the process of tossing a true coin. Also, in this present case for each face, if the two intervals $[0, 1]$ and $(0, 1)$ are considered separately, then, for some successive sub-intervals without common points, the sum of sub-intervals will take a length of less than or equal to 1. So, it is possible in principle to represent the function $L(i)$ by $\mathcal{P}_j(\mathcal{P}_i)$.

“Ensembles de mesure nulle.- Soit un ensemble E constitué par les points de plusieurs intervalles extérieurs les uns aux autres ; on appelle mesure de cet ensemble la somme des longueurs des intervalles qui le constituent. La mesure l ainsi définie est liée à la probabilité ; si l’ensemble E est tout entier situé dans un intervalle de longueur égale à l’unité, et que l’on considère un point choisi au hasard dans cet intervalle suivant une loi de probabilité telle que deux intervalles égaux soient également probables, la mesure de l’ensemble E représente la probabilité que le point choisi soit dans cet intervalle” (Lévy, 2006). Also, if the end points of any interval will be from an infinite uncountable sample space, then the intervals are infinite and uncountable intervals.

Geometrically, “for random directions in the space R^3 , the unit sphere serves as sample space; each domain has a probability equal to its area divided by 4π . Choosing a random direction in R^3 is equivalent to choosing at random a point on this unit sphere.” “A *random vector* in R^3 refers to a vector drawn in a random direction with a length L , which is a random variable independent of its direction. The probabilistic properties of a random vector are completely determined by those of its projection on the x -axis. Thus, by using the latter, it is frequently possible to avoid analysis in three dimensions” (Feller, 1966). As the ball moves in different directions, with various velocities, it would result to both vectors and scalars. Every vector has initial point v_0 , terminal point v_1 and length as a magnitude, which will be the time interval length. This is also dependent on the velocity. Simply, every point a has a probability value equal to $\frac{a}{t}$.

On the other hand, in the case where the ball is still without movement, every point at a random position on the ball could sketch a ball. Thus, as the points are uncountable, there will be uncountable balls. Also, when the ball moves, every point takes the position of the other one. So, if there are uncountable balls, then the probability to pull one of them will be such as the experiment of drawing ball randomly in a continuous process. However, since

there are random velocities and random directions, value will behave as follow:

1. The points on the peak remain around their position; if the ball move around its axle, the value remains within a bounded range.
2. The points on the peak remain around their orbit; if the ball move around this orbit, the value remains within some great circles.
3. The point moves in random directions, which is changing the value randomly.

From these, if one supposes that every point is moving on random orbits, then through the use of these orbits instead of points, there are infinite and uncountable orbits. Thus, the argument will be: What is the probability value of every orbit the moving ball may take? And, how long is the interval for the ball to remain moving at a specific half (head or tail)? Therefore, there would be some kinds of behaviors which include:

1. The behavior at a specific time interval.
It will be subjected to the conditions of the existing case. This means that events occurrence will not be equally likely (limited-time interval).
2. The behavior at an infinite time interval.
It will reflect the value behavior which depend on the ball movement behavior. This means that events occurrence will be equally likely.

Approach

To approach the ball motion problem to the stochastic processes' problems, the following examples are considered: "In the Bohr model of the hydrogen atom, the electron may be found in one of certain admissible orbits." This is "a Markov chain with an infinite number of states (although in principle only)" (Gnedenko, 1963). Also, for example: One "starts at the origin and takes a step in any direction of length Δ ." The one "then stops, selects a new arbitrary direction, and proceeds to take another step of length Δ in this new direction." Thus, he "continues his walk for n steps. The angles through which" the one "proceeds on the n steps are chosen independently and at random and thus may be taken as independent random variables. Therefore, let a_k be a random variable whose value determines the angle made with the x axis in the k^{th} step and assume that it is uniformly distributed from 0 to 2π (that is, the frequency function is $\frac{1}{2\pi}$ for $0 \leq a_k \leq 2\pi$ and zero elsewhere)." Another example is that "of a stationary and ergodic random process, we consider the motion of a perfectly elastic billiard ball on a frictionless circular table with perfectly elastic boundaries. Also, we assume the diameter of the ball to be zero and its speed to be a constant v ." Thus, "it is clear that upon

each impact with the boundary of the table, the direction of motion of the ball changes by the fixed amount α . From elementary geometry, it was found that all paths are tangent to an inner circle of radius $r_0 = R \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ and that each chord length is $2R \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ ” (Laning et al., 1956).

Discussion

As soon as an alternative design is considered (Figure 10 to the right), then there would be discontinuity points. Figure 10 (second from the right) consider finite sample space for the structure of single-member event, which “is an event that contains exactly one description” (Parzen, 1960). In this case, the exact description will be a positive finite interval or a negative finite interval.

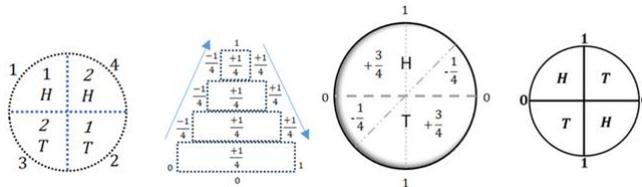


Figure 10. To the left, where every face has two appearances (paths). A possible visualization for the sum in Result 4, each quarter has either height or width sum $\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4}\right)$ (Second from the left). To the last right, it cannot remain a continuous process to flip the coin from face to face directly, or without zero fraction, \emptyset .

Furthermore, it is possible to record negative values (probabilistic values) on any quarter of every half, where the quarters of every half are equally likely, no matter what the directions are. At the same time, the probability of probability will be positive.

Also, besides the importance of *result 4'*, and to give more meaning to *result 4*, this paper, based on a *mere purpose of giving the frequency*, recorded any velocity less or more than $t_i = 1$. This shows that it is enough in considering both functions as one function in rotation of π and multiplied it by v^{-1} as shown below:

$$\mathcal{P}_H(t_0, t_{i+r}) = \frac{v^{-1}}{t_i + 1} \int_{t_0}^{t_{i+r}} \frac{t_i - t_i + (t_{i+r} - t_0)}{t_i} d\theta$$

Hence, this is because the both quarters of every half are symmetric. For instance, if $v = \frac{3}{2}$, $\mathcal{P}_H(0, \frac{3}{2}) = \frac{3}{8}$. But for $v = \frac{1}{2}$, $\mathcal{P}_H(0, \frac{1}{2}) = \frac{1}{8}$. In this case $0 \leq \frac{\theta}{\Delta t} \leq t + 1$, while $0 \leq \frac{\theta}{\Delta t} \leq t$ in the results of 1, 2, and 3. Regarding the displacement in general, see (Kane et al., 1988). Also, “suppose that it is in principle possible to continue the trials indefinitely and that the probabilities

$P_r\{(E_{j_1}, \dots, E_{j_n})\}$ of the outcomes of the first n trials are defined consistently for all n , we shall investigate classes of events defined by certain repetitive patterns” (Feller, 1950).

Regarding the displacement in general, see (Kane et al., 1988) and for some different ideas around the mechanics of a tossed coin (Keller, 1986).

On the other hand, for unequal fractions intervals, there would be unequal areas. “Indeed, one cannot assign an event to every subset of the area since the area, as it is well known, cannot be defined for every subset such that it is completely additive and that the areas of congruent figures are equal. In general, the distribution of probability is said to be *uniform*, if the probability that an object situated at random lies in a subset can be obtained according to the definition (I) from a geometric measure μ invariant under displacement” (Rényi, 1970). Also, in the continuous process, the transition from H to T cannot be the discontinuity point. They are considered as one phenomenon, which is often considered as a homogenous physical body. “Sometimes, the basic set is not even countable. For example, consider the random phenomenon of spinning a pointer on a dial and, when it comes to rest, measuring-in radians, say-the angle θ , it makes with some reference direction.” Therefore, it would be natural to take the basic set in our mathematical model to be $E = \{\theta: 0 \leq \theta < 2\pi\} = [0, 2\pi)$. Here, by thinking of the case of a fair pointer, it is natural to begin by assigning to each interval I in this set a probability proportional to its length:

$$P(I) = \frac{\text{length of } I}{2\pi}.$$

$$\text{Then } P(E) = \frac{2\pi}{2\pi} = 1 \text{ (Botts, 1969).}$$

Also, for more cases in geometric probabilities problems, see McGinty (2004). On the other hand, “a random probability measure construction is a technique for specifying a probability measure (prior) on the space of probability measures. The most familiar priors of this type are those defined on some parametric family of probability distributions” (Monticino, 2002).

To accommodate and admit the negativity, in *results* 1, 2 and 3, we will consider the following: First of all, probability theory has precisely treated the non-decreasing and non-increasing functions to find the density functions. In this case, “the function $g(\cdot)$ is differentiable at every real number x and, furthermore, either $g'(x) > 0$ for all x or $g'(x) < 0$ for all x ” (Parzen, 1960). Here, function is characterized by an inverse function (Velleman, 1997). So, “if y is a decreasing function of x , x is a decreasing function of y and hence $\frac{dx}{dy} < 0$. Thus, by using the absolute-value sign around $\frac{dx}{dy}$, we may combine the result of the increasing function and the result of the decreasing function and obtain the final form of the theorem” (Meyer, 1970). For details and

theorem, see the latter. Also, the negative probabilities have been suggested in many texts, such as the problem of half of a coin (Szekely, 2005). Subsequently, before then, the study was treated by Feynman (1987) and Blass et al. (2015). On the other hand, Corollary I is understood to be compatible with probability axioms. Nonetheless, in principle, it is important to note that all fractions are positive. As a particular trial, when probability values are in non-increasing sequence, this sequence should be a sub-sequence that follows a non-decreasing sub-sequence that in turn expresses a value that is satisfying the probability axioms which is p_n . From here, if the probability's value is admitted to take a negative sign, it takes it to reflect the continuous process in some directions. Thus, this could be explained by Values from 0 to < 1 being in the success intervals, which is considered for the occurrence that precedes or tends to the sure event. At the same time, values from 1 (0) to > 0 (-1) are in the failure intervals, especially for the occurrence that precedes or tends to the impossible event. Consequently, "there are at least two directions from which the fundamental axioms of probability theory may be approached: probability theory concepts may be built up, mechanically, from the concept of the event and its probability, or they may be derived as special applications of the theory of measurable spaces" (Allen, 1976).

For infinite time sub-intervals, there would be infinite fractions sub-intervals which are necessary with common points. Moreover, for random velocities, these sub-intervals have random lengths, which are considered as random variables. In addition, the endpoints of intervals could be considered as random variables, which are not necessarily independents. For more discussion, see Justicz et al. (1990).

Supposition: In the discrete case, if the arguments were $\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{n} \left[1 - \frac{(n-i)}{n} \right]$, then $\mathcal{P}_H(p_{i=n}) = 1$. However, this is also contrary to the probability axioms. So, $p_0 = 0$ is necessary as φ is necessary, but only for H or only for T (Mutually Exclusive Condition) as shown in Figure 11. This means the unoccurrence probability of H . Thus, $\mathcal{P}_H(p_0) + \mathcal{P}_H(p_n) = \frac{1}{2}$, where $\mathcal{P}_H(p_0)$ is the image of $\mathcal{P}_T(p_n) = \frac{1}{2}$, and the reverse is true. So, by supposing that $\mathcal{P}_H(p_0)$ is a *limit value*, where in general $P(\varphi) = 0$, and p_0 should be included in t . Hence, $n + 1$ (discrete) and $t, t + 1$ (continuous) are always true. Also, if $p_n = 1$ and $\overline{p_n} = \varphi = 0 = p_0$, then $p_0, p_n \in \mathfrak{F}$, which implies that \mathfrak{F} is a set of subsets.

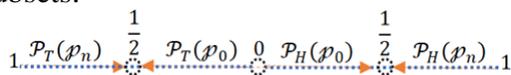


Figure 11. Mutually Exclusive Conditions

Conclusion

This paper begins with an introduction that distinguishes the concept of randomness within levels of uncertainty. It also briefly presents the concept of continuity and its relationship to the probabilistic nature. This paper uses a method that relies on carefully designed experiment to reflect the physical nature and to ensure consistency with the mathematical logic of probability. This is done so that it contains the possible greatest number of applicable concepts, and to help in proffering answers to many questions related to probability theory. As for the results, they explained the method in more detail. Consequently, most of the paper's results were based on a typical circumstance which is based on a structure composed of elements that are subject to the axioms of probability. Here, this circumstance can be transformed into a probabilistic circumstance by adding more elements gradually. The outcomes flowed through mathematical techniques, starting with geometric probability as a logical conception of the nature of the experiment. Also, each circumstance helps to reflect some aspects of the experiment and to deduce some logical imperatives as results. The paper also contained many carefully explained illustrations that make them an important complement to the content of the paper. Also, this paper added more techniques in the form of discussions, examples, and suppositions as part of the experiment and the results.

In conclusion, the experiment of tossing a true coin can be represented geometrically, especially where the continuous process can explain clearly the theoretical concept for the probability values of 0 and 1. It also concluded that the sum of probability values in a motion of rotation of 180° can represent the smallest picture of the continuous infinite rotation towards $\pm\infty$. Also, this paper concluded that the randomness in continuous process is explained by the sample space and the rarity of recurrence (repeating) of event. In the discrete process, the randomness is explained by the extent of the difference of probability values that the event takes, while the continuity could be considered as the nature of all events. Moreover, the present experiment can interpret the continuity by the small difference of fractions, compared to the large difference of fractions in the discrete case. In addition, this paper proposes the counting principle in the experiments design, which is supported by the experiment and the results.

Subsequently, negative probability values do not appear in the discrete processes but they appear in the continuous processes. Therefore, the random processes could be described in more details in the continuous processes. It also concluded that negative values are considered as part of particular trial, and they cannot be discontinuity points from the continuous case as negative values, but as positive discrete values. Also, it is clear that the probability of non-decreasing sequence is equal to the probability of non-increasing

sequence, of which they are cancelling each other. On the other hand, for a given purpose, it is possible to assume that non-increasing values take the meaning of failure for the event under study. This, thereafter, is followed by the meaning of success for the complement event. Also, the adoption of negative probability value is dependent on the extent of the explanation of the non-increasing sequence, and on the extent of the need to negative value. By some amendments of the experiment design, the distribution and composite probability functions, negative probability values can be calculated by the composite probability function $\mathcal{P}_j(p_i)$ to give positive values with $\mathcal{P}_H(p_{i=0,1,..n}) + \mathcal{P}_T(p_{i=0,1,..n}) = 1$. Therefore, the probability of probability has a mathematical necessity. In addition, this paper concluded that there are maxima and minima limits for $\mathcal{P}_j(p_i)$. These limits are proven numerically to reflect probability value behavior and to demonstrate the nature of $\mathcal{P}_j(p_i)$. Also, this paper consider that $\mathcal{P}_j(p_i)$ can be used in the conditional probability, if \mathfrak{X} is uncountable. On the other hand, it is possible in principle to represent the non-negative function of the interval i by $\mathcal{P}_j(p_i)$. Also, this paper concluded that mutually exclusive condition cannot be achieved, except by the existence of p_0 (zero limit value) or φ in general.

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

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

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

References:

1. Allen, E. H. (1976). Negative Probabilities and the Uses of Signed Probability Theory. *Philosophy of Science*, 43(1), 53–70. <http://www.jstor.org/stable/187335>
2. Blass, A. & Gurevich, Y. (2015). Negative probability. *Bull Eur Assoc Theor Comput Sci*. 115.
3. Botts, T. (1969). Probability Theory and the Lebesgue Integral. *Mathematics Magazine*, 42(3), 105–111. <https://doi.org/10.2307/2689118>
4. Cramér, H. (1946). *Mathematical Methods of Statistics*. First Printing. USA: Princeton University Press.
5. Davenport Wilbur, B. & Root William, L. (1958). *An Introduction to the Theory of Random Signals and Noise*. USA: McGraw Hill Book Company.

6. Eagle, A. (2005). Randomness Is Unpredictability. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 56(4), 749–790. <http://www.jstor.org/stable/3541866>
7. Feller, W. (1950). An Introduction to Probability Theory and Its Applications, Volume I. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.
8. Feller, W. (1966). An Introduction to Probability Theory and Its Applications, Vol.2. Digital Library of India Item 2015.134183.
9. Feynman Richard, P. (1987). Negative probability. In Basil J. Hiley & D. Peat (eds.), *Quantum Implications: Essays in Honour of David Bohm*. Methuen. pp. 235--248.
10. Gnedenko, B.V. (1963). *The Theory of Probability*. Second Edition. USA: Chelsea Publishing Company.
11. Gnedenko, B.V. & Kolmogorov, A. N. (1968). *Limit Distributions for Sums of Independent Random Variables*. USA: Addison-Wesley Publishing Company.
12. Jughaiman, A. (2023). The Philosophy of Probability Values Behaviour through Fractions and Composite Probability Function for Independent Events in the Discrete Case. *European Scientific Journal, ESJ*, 19(18), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n18p1>
13. Justicz, J., Scheinerman, E. R., & Winkler, P. M. (1990). Random Intervals. *The American Mathematical Monthly*, 97(10), 881–889. <https://doi.org/10.2307/2324324>
14. Kane Joseph, W. & Sternheim Morton, M. (1988). *Physics*. Third Edition. Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
15. Keller, J. B. (1986). The Probability of Heads. *The American Mathematical Monthly*, 93(3), 191–197. <https://doi.org/10.2307/2323340>
16. Laning Halcombe Jr. & Battin Richard, H. (1956). *Random Processes in Automatic Control*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
17. Laplace, P.S. (1995). *Théorie Analytique Des Probabilités*. Quatrième & Troisième Édition. Paris: Éditions Jacques Gabay.
18. Lebesgue Henri (1989). *Leçons sur L'intégration et La Recherche des Fonctions Primitives*. Deuxième Édition. Paris: Éditions Jacques Gabay.
19. Lévy Paul (2006). *Calcul Des Probabilités*. Paris: Éditions Jacques Gabay.
20. Loève, M. (1977). *Probability theory, Volume I*. 4th Edition. New York: Springer-Verlag.
21. Loève, M. (1978). *Probability theory, Volume II*. 4th Edition. New York: Springer-Verlag.

22. Mcginty, M. (2004). Geometric Probability for The Space-Time Plane. *Pi Mu Epsilon Journal*, 12(1), 25–35. <http://www.jstor.org/stable/24340793>
23. Meyer, P. L. (1970). Introductory Probability and Statistical Applications. Second Edition. USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
24. Monticino, M. (2001). How to Construct a Random Probability Measure. *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique*, 69(1), 153–167. <https://doi.org/10.2307/1403534>
25. Parzen, E. (1960). Modern Probability Theory and Its Applications. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.
26. Rényi Alfréd (1970). Probability Theory. Amsterdam: Holden-Day and Akadémiai Kiadó.
27. Shiryaev Albert, N. (2016). Probability-1. Third Edition. New York: Springer.
28. Stoll Manfred (1997). Introduction to Real Analysis. Boston: Addison Wesley Longman Inc.
29. Sveshnikov, A.A. (Ed.).(1968). Problems in Probability Theory, Mathematical Statistics and Theory of Random Functions. USA: W. B. Saunders Company.
30. Swokowski Earl, W. (1988). Calculus with Analytic Geometry. Second Alternate Edition. USA: PWS-KENT Publishing Company.
31. Szekely Gabor, J. (2005). Half of a coin: Negative probabilities. *Wilmott Magazine*. 50. 66-68.
32. Tucker Howard, G. (1967). A Graduate Course in Probability. New York: Academic Press, Inc.
33. Uspensky, J.V. (1937). Introductions to Mathematical Probability. First Edition, Second Impression. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
34. Velleman, D. J. (1997). Characterizing Continuity. *The American Mathematical Monthly*, 104(4), 318–322. <https://doi.org/10.2307/2974580>

Hábitos Alimentarios en Estudiantes de la Licenciatura en Enfermería e Ingeniería de una Universidad Pública

Adriana Martínez Díaz

Licenciada en Nutrición, Maestra en Ciencias. Facultad de Enfermería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

Daniela Ugalde Fonseca

Estudiante de Enfermería en Servicio Social. Facultad de Enfermería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

Ruth Magdalena Gallegos Torres

Licenciada en Enfermería, Doctora en Ciencias de la Salud, Maestra en Ciencias de Enfermería y Maestría en Inteligencia Emocional. Facultad de Enfermería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

Sarket Gizeh Juárez Nilo

Licenciada en Enfermería, Maestra en Enfermería. Facultad de Enfermería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p22](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p22)

Submitted: 07 November 2024

Accepted: 21 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Díaz A.M., Fonseca D.U., Gallegos Torres R.M. & Juárez Nilo S.G. (2024). *Hábitos Alimentarios en Estudiantes de la Licenciatura en Enfermería e Ingeniería de una Universidad Pública*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 22.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p22>

Resumen

Introducción. Las prácticas de alimentación están influenciadas por diferentes factores: sociodemográficos, como edad, sexo, nivel socioeconómico, escolaridad, entre otros. Se le denomina hábitos alimentarios al conjunto de conductas adquiridas por un individuo, por la repetición de actos en cuanto a la selección, la preparación y el consumo de los alimentos. En el presente estudio se evaluaron la facultad de enfermería e ingeniería ya que una es del área de la salud y otra no, se buscaba encontrar diferencias. **Objetivo.** Comparar los hábitos alimentarios en estudiantes de la Licenciatura de Enfermería e Ingeniería Civil de una Universidad Pública en el año 2022 en la ciudad de Querétaro. **Metodología.** Estudio cuantitativo, transversal y descriptivo-comparativo. Se aplicó la herramienta de recolección de datos

“Cuestionario autocompletado de hábitos alimentarios para adolescentes” que consta de 27 preguntas de las cuales se compone por 4 secciones. Alfa de Cronbach en consistencia interna de 0,7 a 0,9. Se abordaron estudiantes mayores de 18 y menores de 21 años, ambos géneros. Para el análisis se utilizaron estadísticos descriptivos mediante promedios y frecuencias. Resultados. De un total de 254 estudiantes que participaron en el estudio el 44.4% (113) pertenecen a la Licenciatura en Enfermería, 55.5% (141) pertenecen a la Licenciatura en Ingeniería Civil. Los hábitos alimentarios de la población universitaria estudiada fueron parcialmente inadecuados, de los cuales, los estudiantes de la Licenciatura en Enfermería mostraron un 74% y de la Licenciatura en Ingeniería 77%, donde esta diferencia no se encontró estadísticamente significativa ($\chi^2=1.246, gl=2, p=0.536$). Conclusión. El resultado más importante fue que no hubo diferencia entre los hábitos alimentarios de las diferentes licenciaturas involucradas.

Palabras clave: Hábitos alimentarios, conducta alimentaria, población universitaria

Dietary Habits in Students of the Bachelor's Degrees in Nursing and Engineering at a Public University

Adriana Martínez Díaz

Licenciada en Nutrición, Maestra en Ciencias. Facultad de Enfermería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

Daniela Ugalde Fonseca

Estudiante de Enfermería en Servicio Social. Facultad de Enfermería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

Ruth Magdalena Gallegos Torres

Licenciada en Enfermería, Doctora en Ciencias de la Salud, Maestra en Ciencias de Enfermería y Maestría en Inteligencia Emocional. Facultad de Enfermería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

Sarket Gizah Juárez Nilo

Licenciada en Enfermería, Maestra en Enfermería. Facultad de Enfermería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México

Abstract

Introduction. Feeding practices are influenced by different factors: sociodemographic, such as age, sex, socioeconomic level, and education, among others. Eating habits are the behaviors acquired by an individual, because of the repetition of acts related to the selection, preparation, and

consumption of food. In the present study, the nursing and engineering faculty were evaluated because one is from the health area and the other is not, we were expecting to find differences. Aim: Compare the eating habits of students of the Faculty of Nursing and Civil Engineering of a Public University in 2022 in the city of Querétaro. Methodology. Quantitative, cross-sectional, and descriptive-comparative study. The data collection tool "Self-completed eating habits questionnaire for adolescents" was applied, which consists of 27 questions which are made up of 4 sections. Cronbach's alpha in internal consistency from 0.7 to 0.9. Students over 18 and under 21 years of age, both genders, were approached. For the analysis, descriptive statistics were used through averages and frequencies. Results. Of a total of 254 students who participated in the study, 44.4% (113) have a Bachelor's Degree in Nursing, and 55.5% (141) have a Bachelor's Degree in Civil Engineering. The eating habits of the university population studied were partially inadequate, of which the students of Bachelor of Nursing showed 74% and the Bachelor of Engineering 77%, where this difference was not found statistically significant ($X^2=1.246, df=2, p=0.536$). Conclusion. The most important result was that there was no difference between the eating habits of the different degrees involved.

Keywords: Eating habits, eating behavior, university population

Introducción

Tener buenos hábitos alimentarios ayuda a prevenir enfermedades crónico degenerativas como lo es diabetes mellitus, hipertensión arterial, cardiopatías, cáncer y accidentes cerebrovasculares. Los hábitos alimentarios tienen un papel muy importante en la calidad de vida que llevan todas las personas, en este caso los jóvenes universitarios, sin embargo se pueden ver afectados debido a factores sociodemográficos, socioeconómicos, falta de conocimiento sobre la alimentación, entre otros (Navalón-Mira & Fabregat-Cabrera, 2022).

Los hábitos alimentarios se pueden definir como el conjunto de conductas adquiridas por un individuo, por la repetición de actos en cuanto a la selección, la preparación y el consumo de alimentos. Los hábitos alimentarios se relacionan principalmente con las características sociales, económicas y culturales de una población o región determinada (Barriguete Meléndez et al., 2017).

Las prácticas de alimentación están influenciadas por diferentes factores, entre ellos los sociodemográficos, como edad, sexo, nivel socioeconómico, escolaridad, etnicidad, composición del hogar, entre otros (Rodríguez-Ramírez et al., 2020). En cuanto al nivel de escolaridad, el ingresar a la universidad afecta los estilos de vida del adolescente, debido a

una menor intervención de la familia sobre las decisiones de cómo alimentarse, mayor exposición a los medios de comunicación, el incremento de las responsabilidades, la influencia de los compañeros y la búsqueda de la aceptación social (Jiménez Diez & Ojeda López, 2017).

Los hábitos alimentarios en universitarios se asocian con la falta de tiempo debido a los horarios de estudio, determinantes socioeconómicos, pertenecer a estratos bajos, preferencias alimentarias, falta de conocimiento sobre alimentación y poca oferta de alimentos saludables en el entorno. Los adolescentes son un grupo etario que generalmente se considera sano, sin embargo, muchas enfermedades de la vida adulta tienen su origen en esta etapa, entre ellas, las relacionadas a la alimentación inadecuada y actividad física insuficiente (Flores Vázquez & Macedo Ojeda, 2016).

Por su parte Botello Márquez et al., 2018, en la ciudad de Santiago de Querétaro tuvieron como objetivo determinar la alimentación y estilos de vida percibidos en estudiantes universitarios del área de la salud, de tres licenciaturas de una institución pública, por lo que se encuestó a 158 estudiantes utilizando el cuestionario de hábitos alimentarios (Alfa de Cronbach de 0.82). El estudio fue transversal, descriptivo. Los estudiantes tenían edad promedio de 20.3 años \pm 2.4. Se encontró que múltiples autores evidencian el cambio en los estilos de vida de los estudiantes al ingreso y durante de la carrera universitaria, así como factores que pueden afectar o beneficiar dichos patrones, para establecer medidas de mantenimiento o corrección de la alimentación, con la finalidad de tener estudiantes sanos que cuenten con conductas saludables que favorezcan una adultez sana (Botello Márquez et al., 2018).

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) en México 2020, es necesario obtener información periódica y confiable del estado de salud y nutrición de la población en México, así como documentar el desempeño del Sistema Nacional de Salud El Sistema Nacional de Encuestas de Salud (SNES), engloba más de 20 Encuestas Nacionales entre las que se encuentran: las ENSA de 1986, 1994 y 2000, las encuestas nacionales de nutrición (ENN) de 1988 y 1999; y las ENSANUT de 2006, 2012, 2016 y 2018-19, se mostró que de acuerdo al grupo de edad estudiado en adultos mayores de 20 años a nivel nacional, entre los grupos de alimentos recomendables para su consumo cotidiano, los más consumidos, después del agua simple (88.7%) fueron el grupo de carnes no procesadas (65%), seguido de los grupos de verduras y frutas (50.7 y 50.3%, respectivamente). El grupo consumido en menor proporción fue el de nueces y semillas (4.9%). Respecto a los grupos no recomendables, los más consumidos fueron: bebidas endulzadas (86.7%), seguido del grupo de cereales dulces y el grupo de botanas, dulces y postres (35.9 y 29.8%, respectivamente). Los grupos con

menor porcentaje de consumidores son las carnes procesadas (13.8%) y comida rápida y antojitos mexicanos (18.3%)(Gaona-Pineda et al., 2023).

En un estudio realizado en población mexicana por (Rodríguez-Ramírez et al., 2020), se buscó estimar el consumo de alimentos recomendables y no recomendables para el consumo cotidiano, por características sociodemográficas en la población mexicana, por lo que, se encuestó a 14,319 participantes utilizando un cuestionario semicuantitativo de frecuencia de consumo de alimentos (de 7 días), de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino 2016. Se analizó información dietética de población preescolar (1-4 años de edad), escolar (5-11 años), adolescente (12- 19 años) y adulta (≥ 20 años). En este estudio se encontró que un porcentaje importante de la población no consume frutas, verduras, ni agua sola diariamente(Rodríguez-Ramírez et al., 2020).

Como lo menciona (Flores Vázquez & Macedo Ojeda, 2016), los hábitos alimentarios en universitarios se asocian con la falta de tiempo debido a los horarios de estudio, determinantes socioeconómicos, preferencias alimentarias, falta de conocimiento sobre alimentación.

De acuerdo a la información buscada previamente se pudo observar que los hábitos de los estudiantes universitarios tienen diferentes factores de riesgo y características. Sin embargo en la UAQ no existe evidencia de estudios previos que diferencien los hábitos alimentarios entre distintas carreras, por lo tanto el objetivo de esta investigación es comparar los hábitos alimentarios en estudiantes de la Licenciatura de Enfermería e Ingeniería Civil de una Universidad Pública en el año 2022 en la ciudad de Querétaro. Se decidió comparar estas dos carreras debido a que una de ellas pertenece al área de la salud y la otra no, por lo tanto, esperabamos encontrar diferencias importantes entre ambas poblaciones.

Por otro lado, es importante tener un referente de los hábitos alimentarios de nuestra población universitaria para tener un referente inicial y en futuras investigaciones incluir a otras facultades. Así mismo, poder diseñar programas de educación alimentaria que ayuden a que los estudiantes universitarios reflexionen acerca de la mejora de sus hábitos y los beneficios.

Metodología

Esta investigación fue transversal y comparativa. Se trabajó con estudiantes universitarios inscritos en una universidad pública de la ciudad de Querétaro, México, la cual cuenta con distintas Licenciaturas de las cuales se consideró la Licenciatura en Enfermería y la Licenciatura en Ingeniería Civil, conformados por un total de 1066 estudiantes. La población se obtuvo por conveniencia para poder realizar el estudio en el cual se abordó un total de 254 universitarios, 113 pertenecientes a la Licenciatura en Enfermería y 141 a la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Se tomaron en cuenta a universitarios menores de 21 años, de las licenciaturas de enfermería e ingeniería civil que se encontraran inscritos dentro de la universidad pública.

Se excluyó a universitarios que se encontraban de movilidad, universitarias embarazadas y universitarias de distintas licenciaturas.

Para la recolección de los datos se utilizó el Cuestionario Autocompletado de Hábitos Alimentarios para Adolescentes (Flores Vázquez & Macedo Ojeda, 2016). El cuestionario está diseñado para ser auto administrado; Consta de cuatro secciones, aunque solo las tres primeras se utilizan para evaluar los hábitos alimentarios. La primera consta de 4 ítems (6 preguntas) referentes a la frecuencia y cantidad de consumo de alimentos recomendados; la segunda contiene 7 ítems (9 preguntas) sobre el consumo de alimentos no recomendados y la tercera con 3 ítems (12 preguntas) se refiere a la frecuencia, compañía y lugar de los tiempos de comida. La sección cuatro es sobre la actividad física, que no forma parte de los hábitos alimentarios, por lo tanto no fue tomada para esta investigación. El cuestionario se evaluó de acuerdo a la puntuación asignada por los autores.

Los datos sociodemográficos (edad, sexo, estado civil, lugar de procedencia, residencia y religión) se preguntaron como parte del cuestionario en la primera sección.

Los datos se procesaron mediante estadística descriptiva, en donde las variables cualitativas se describen mediante distribución de frecuencias absolutas y relativas expresadas en porcentaje y frecuencias (% , (fr/n)). El análisis de variables cuantitativas se realizó con medidas de tendencia central como el promedio (media) y de dispersión como la desviación estándar (DE), (Media +/- DE).

Para evaluar la asociación entre las variables cualitativas entre hábitos alimenticios y variables demográficas se aplicó el estadístico de prueba chi cuadrada. Las pruebas estadísticas se encontraron a un nivel de significancia del 5% ($p < 0.05$).

Los datos se obtuvieron con formulario de google de forma presencial, las respuestas se migraron al programa de Excel, donde se realizó la configuración adecuada para su procesamiento en el programa IBM SPSS Statistics V.28.

Resultados

De un total de 254 estudiantes que participaron en el estudio el 44.4% (113) pertenecen a la Licenciatura en Enfermería, 55.5% (141) pertenecen a la Licenciatura en Ingeniería Civil. La edad de los participantes que participaron de la Licenciatura en Enfermería y los de Licenciatura en Ingeniería Civil tienen similares características, siendo de 20 años en un rango de 18 a 21 años.

De acuerdo a esta información, los hombres predominan en el área de Ingeniería (52%), mientras que las mujeres predominan más en el área de la salud en este caso enfermería (85%).

Con respecto al estado civil de acuerdo a la Licenciatura en Enfermería el 96% era soltero, mientras que en la Licenciatura en Ingeniería Civil 99% se encontraban en la misma condición. De acuerdo al lugar de procedencia, de la Licenciatura en Enfermería, 80% pertenecen al Estado de Querétaro, mientras que en la Licenciatura en Ingeniería Civil 70% pertenecen al Estado de Querétaro. En el lugar de residencia se encontró que los estudiantes de ambas licenciaturas residen con un 100% en el estado de Querétaro. En la tabla 1 se describen las variables demográficas cualitativas correspondientes a cada Licenciatura.

Tabla 1. Variables demográficas de los participantes

Variable	Opciones	Licenciatura en Enfermería	Licenciatura en Ingeniería Civil
Sexo	Mujer	85% (96/113)	48% (67/141)
	Hombre	15% (17/113)	52% (74/141)
Estado Civil	Casado	3% (4/113)	0% (0/141)
	Soltero	96% (108/113)	99% (140/141)
	Unión libre	1% (1/113)	1% (1/141)
Lugar de procedencia	Querétaro	80% (90/113)	70% (99/141)
	Estado de México	8% (10/113)	10% (14/141)
	Guanajuato	4% (4/113)	12% (17/141)
	Otro	8% (9/113)	8% (11/141)
Lugar de residencia	Querétaro	100% (113/113)	100% (141/141)
¿Con quién vive?	Familia	85% (96/113)	65% (91/141)
	Pareja	4% (5/113)	1% (1/141)
	Solo	5% (6/113)	7% (10/141)
	Otro	5% (6/113)	27% (39/141)
Religión que profesa	Católica	67% (76/113)	60% (84/141)
	Testigo de Jehová	0% (0/113)	1% (2/141)
	Otra	4% (4/113)	6% (8/141)
	Ninguna	29% (33/113)	33% (47/141)

Los hábitos alimentarios de la población universitaria estudiada fueron parcialmente inadecuados, de los cuales, los estudiantes de la Licenciatura en Enfermería mostraron un 74% y de la Licenciatura en Ingeniería 77%, donde

esta diferencia no se encontró estadísticamente significativa ($X^2=1.246, gl=2, p=0.536$). Tabla 2

Tabla 2. Hábitos alimentarios por los estudiantes, por licenciatura

Variable	Opciones	Licenciatura en Enfermería	Licenciatura en Ingeniería Civil
Hábitos alimentarios	Inadecuado	22% (25/113)	21% (29/141)
	Parcialmente inadecuados	74% (83/113)	77% (109/141)
	Adecuados	4% (5/113)	2% (3/141)

($X^2=1.246, gl=2, p=0.536$)

Se observa que en la Licenciatura de Enfermería tiene menor proporción en hábitos alimentarios parcialmente inadecuados respecto a la Licenciatura en Ingeniería Civil en mujeres, donde la diferencia observada no es estadísticamente significativa. Tabla 3

Tabla 3. Diferencia de Hábitos Alimentarios de las Licenciaturas en Enfermería e Ingeniería Civil en mujeres

Variable	Opciones	Licenciatura en Enfermería	Licenciatura en Ingeniería Civil	Total
Hábitos alimentarios	Inadecuado	26% (25/96)	18% (12/67)	23% (37/163)
	Parcialmente inadecuados	70% (67/96)	78% (52/67)	73% (119/163)
	Adecuados	4% (4/96)	4% (3/67)	4% (7/163)
	Total	96 100%	67 100%	163 100%

($X^2=1.489, gl=2, p=0.475$)

En la Licenciatura en Ingeniería Civil se observa que ningún hombre tiene hábitos alimentarios adecuados, teniendo mayor proporción en hábitos inadecuados con respecto a la Licenciatura en Enfermería en hombres, donde la diferencia observada es estadísticamente significativa ($X^2=8.762, gl=2, p=0.013$). Tabla 4

Tabla 4. Diferencia de Hábitos Alimentarios de las Licenciaturas en Enfermería e Ingeniería Civil en hombres

Variable	Opciones	Licenciatura en Enfermería	Licenciatura en Ingeniería Civil	Total
Hábitos alimentarios	Inadecuado	0% (0/17)	23% (17/74)	19% (17/91)
	Parcialmente inadecuados	94% (16/17)	77% (57/74)	80% (73/91)
	Adecuados	6% (1/17)	0% (0/74)	1% (1/91)
	Total	17 100%	74 100%	91 100%

($X^2=8.762, gl=2, p=0.013$)

Discusión

Se compararon los hábitos alimentarios entre la Licenciatura en Enfermería e Ingeniería debido a que una de ellas pertenece al área de la salud y la otra no. Y se esperaba que la formación en materia de nutrición influyera en los hábitos de los estudiantes de enfermería. En el presente estudio realizado no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, esto pudo deberse a que en general los estudiantes universitarios no toman en cuenta la importancia del cuidado de su alimentación, independientemente de la carrera que estén estudiando. Como se muestra en un estudio realizado por Chales-Aoun & Escobar, 2019 en la Universidad de Centro-Sur Chileno quien abordó a 331 universitarios, teniendo un rango de edad de 20 a 24 años, se midieron los estilos de vida, la detección de necesidades en el ámbito de la salud y el desarrollo de estrategias para su intervención desde las instituciones educativas, particularmente de las conductas de salud en jóvenes pertenecientes a educación superior, utilizando el cuestionario de estilos de vida en jóvenes universitarios, encontraron que la clasificación de las conductas de alimentación de los jóvenes universitarios es alarmante ya que casi el 97% de los participantes se ubicaron en prácticas no saludables. Así mismo, los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que en la Licenciatura en Enfermería se obtuvo un 74% de hábitos alimentarios parcialmente inadecuados y de la Licenciatura en Ingeniería un 77%.

Tampoco se encontraron diferencias entre sexos obteniendo un 73% de hábitos parcialmente inadecuados para mujeres y un 80% para hombres. Como se menciona en el estudio realizado en la Zona Urbana de Guadalajara, México por (Macedo Ojeda et al., 2008), que buscó describir los hábitos alimentarios en adolescentes de una Secundaria Mixta de Guadalajara, Jalisco. En donde encuestó a 632 estudiantes utilizando un cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos y se encontró que no existen en general, diferencias significativas entre sexos, a excepción de los hábitos de consumo de agua y de dulces/chocolates (mayor prevalencia de consumo no recomendable en mujeres). La mayoría no realiza tres tiempos de comida mínimo al día. Y concluyó que es necesario desarrollar estrategias educativas y de intervención, además de guías alimentarias claras, con el objetivo de modificar los patrones inadecuados de consumo (Macedo Ojeda et al., 2008).

Por otro lado, habría sido interesante comparar el lugar de procedencia con los hábitos alimentarios. Ya que los estudiantes foráneos presentarían más complicaciones para poder llevar una alimentación adecuada. Como en un estudio realizado en la ciudad de Guayaquil por (Lapo et al., (2019), que buscó distinguir las tipologías de los jóvenes universitarios con base a su nivel de satisfacción con la alimentación según los aspectos sociodemográficos, los hábitos y cultura alimentaria. Se encuestó a 500 estudiantes universitarios, utilizando un cuestionario estructurado. El instrumento de recogida de

información fue tipo escala de Likert, se consultaron los hábitos de consumo de alimentos dentro y fuera de la universidad, entre otros. El estudio contempla un diseño no experimental transversal correlacional, con un enfoque cuantitativo. Los estudiantes tenían rango de 17 a 30 años. Se encontró que la disponibilidad de los estudiantes para la preparación de su comida incide de forma directa proporcional a su satisfacción con los alimentos. Esto genera que la mayoría de los jóvenes desarrollen un adecuado hábito alimentario, dependiendo de su tiempo para la planificación de sus alimentos y la cocción de este (Lapo et al., 2020).

Conclusión

Este estudio reveló que los estudiantes universitarios abordados de las Licenciaturas en Enfermería e Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Querétaro presentan hábitos alimentarios parcialmente inadecuados. Al comparar entre facultades no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Tampoco se encontraron diferencias al comprar entre sexos.

Los jóvenes de entre 17 y 20 años no muestran preocupación por tener buenos hábitos alimentarios y es importante prestar atención a esto ya que serán los futuros adultos con grandes riesgos de parecer enfermedades crónicas degenerativas.

Es de gran relevancia tomar en consideración los resultados obtenidos, puesto que los datos son alarmantes debido a que son clasificados como parcialmente inadecuados en su mayoría, es por eso que se recomienda considerar la difusión de la información obtenida a las facultades involucradas, así como a la población en general de la universidad abordada para que puedan reflexionar y se acerquen a obtener alguna asesoría para mejorar los hábitos alimentarios.

Por tanto, en estudios posteriores se recomienda evaluar más facultades y comparar la residencia y actividad laboral o académica con sus hábitos alimentarios. También se sugiere implementar algún programa de educación alimentaria con su respectivo seguimiento, monitoreo y evaluación para poder lograr un impacto real en la población estudiada.

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

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

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

Declaración para los participantes humanos: Este estudio ha sido aprobado por el Comité de bioética de la Facultad de Enfermería de Universidad Autónoma de Querétaro y cumplió con la Declaración de Helsinki y Código de Nüremberg, se apegó a lo dispuesto en el reglamento de la Ley General de Salud.

Referencias:

1. Barriguete Meléndez, J. A., Vega León, S., Radilla Vázquez, C. C., Barquera Cervera, S., Hernández Nava, L. G., Rojo-Moreno, L., Vázquez Chavez, A. E., & Ernesto Murillo, J. M. (2017). Hábitos alimentarios, actividad física y estilos de vida en adolescentes escolarizados de la Ciudad de México y del Estado de Michoacán Eating habits, physical activity and lifestyles among adolescents in Mexico City and the State of Michoacán. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 23(1).
2. Botello Márquez, M., Villanueva Lugo, N. E., Ruiz Vargas, N. V., & Gallegos Torres, R. M. (2018). Alimentación y estilos de vida saludables percibidos en estudiantes universitarios del área de la salud, de tres licenciaturas . *LUX MÉDICA*, 39, 55–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.33064/39lm20181334>
3. Chales-Aoun, A. G., & Escobar, J. M. M. (2019). Physical activity and eating behaviors among chilean university students. *Ciencia y Enfermería*, 25. <https://doi.org/10.4067/s0717-95532019000100212>
4. Flores Vázquez, A. S., & Macedo Ojeda, G. (2016). VALIDACIÓN DE UN CUESTIONARIO AUTOCOMPLETADO DE HABITOS ALIMENTARIOS PARA ADOLESCENTES EN JALISCO, MEXICO . *Revista de Nutrición Comunitaria*, 22(1135–3074), 26–31. <https://doi.org/10.14642/RENC.2016.22.2.5138>
5. Gaona-Pineda, E. B., Rodríguez-Ramírez, S., Medina-Zacarías, M. C., Valenzuela-Bravo, D. G., Martínez-Tapia, B., & Arango-Angarita, A. (2023). Consumidores de grupos de alimentos en población mexicana. *Ensanut Continua 2020-2022. Salud Publica de Mexico*, 65, S248–S258. <https://doi.org/10.21149/14785>
6. Jiménez Diez, O., & Ojeda López, R. N. (2017). Estudiantes universitarios y el estilo de vida. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 4(8).
7. Lapo, M., Campoverde, R., Garzón, D., Xu, P., & Benitez, B. (2020). Evaluación de los hábitos alimentarios de los jóvenes universitarios de la ciudad de Guayaquil. *Empresarial*, 13(2). <https://doi.org/10.23878/empr.v13i2.161>
8. Macedo Ojeda, G., Bernal Orozco, P., López Uriarte, C., Hunot, C., Vizmanos, B., & Rovillé Sausse, F. (2008). HÁBITOS

ALIMENTARIOS EN ADOLESCENTES DE LA ZONA URGANA DE GUADALAJARA, MÉXICO. *Antropo*, 16, 29–41. www.didac.ehu.es/antropo

9. Navalón-Mira, A., & Fabregat-Cabrera, M. E. (2022). Sociodemografía de los hábitos alimentarios. Una investigación en jóvenes universitarios en Alicante. *Index de Enfermería*, 31(3). https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-12962022000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=en
10. Rodríguez-Ramírez, S., Gaona-Pineda, E. B., Martínez-Tapia, B., Arango-Angarita, A., Kim-Herrera, E. Y., Valdez-Sánchez, A., Concepción Medina-Zacarías, M., Ramírez-Silva, I., & Shamah-Levy, T. (2020). Consumo de grupos de alimentos y su asociación con características sociodemográficas en población mexicana. *Ensanut 2018-19. Salud Publica de Mexico*, 62(6), 693–703. <https://doi.org/10.21149/11529>

Carecterisation des Secheresses de la Region d'Atsimo Andrefana de Madagascar via Standard Precitipation Index (SPI)

Rija Santaniaina Rakotoarimanana, Doctorant

Université d'Antsiranana, Madagascar

Tiana Razefania Ramahefy, Docteur Ingénieur

Université d'Antananarivo, Madagascar

Solofo Randrianja, Professeur titulaire

Université d'Antsiranana, Madagascar

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p34](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p34)

Submitted: 26 December 2023

Accepted: 12 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Rakotoarimanana R.S., Ramahefy T.R. & Randrianja S. (2024). *Carecterisation des Secheresses de la Region d'Atsimo Andrefana de Madagascar via Standard Precitipation Index (SPI)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 34.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p34>

Résumé

Dans cet article, l'étude vise à caractériser les sécheresses de la Région d'Atsimo Andrefana de Madagascar par l'utilisation du Standard Precipitation Index (SPI). Cette région est choisie car elle est confrontée à une sécheresse dévastatrice qui est parmi les sources de la famine touchant cette région. Cette étude pourrait être une étape importante menant vers la prédiction ou prévision de sécheresse dans cette région. Elle pourrait aider les acteurs concernés à adopter des stratégies appropriées pour y faire face. Le SPI est un outil simple à utiliser pour la caractérisation de sécheresse. Seules les données de précipitation sont nécessaires pour le calcul. En effet, les SPI à différents pas de temps sont calculés afin d'avoir les variations, les catégories, l'occurrence et la fréquence de la sécheresse météorologique dans cette région. Ces résultats sont analysés et interprétés pour en tirer la caractérisation. Les données utilisées sont des données pluviométriques dans les relevés mensuels de précipitation, du mois de janvier 1990 jusqu'au mois de mai 2022 de la Région d'Atsimo Andrefana de Madagascar. Les résultats pour une période d'accumulation de précipitation plus courte montrent qu'il se produit au moins 13 épisodes de sécheresse légère tous les 10 ans, 13 épisodes de

sécheresse modérée tous les 33 ans, 9 épisodes de sécheresses sévères tous les 20 ans et 5 épisodes de sécheresse extrême tous les 33 ans. Les résultats relatifs aux périodes d'accumulation moyenne montrent qu'il présente 9 à 26 épisodes de sécheresse légère tous les 20 ans, 8 à 13 épisodes de sécheresse modérée tous les 33 ans, et 9 à 15 épisodes de sécheresse sévère tous les 33 ans, 4 à 5 épisodes de sécheresse extrême tous les 33 ans. Pour les périodes d'accumulation plus longues, les résultats exposent qu'il se manifeste 6 à 11 épisodes de sécheresse légère et 6 épisodes de sécheresse modérée tous les 25 ans, 2 à 5 épisodes de sécheresse sévère et 2 à 4 épisodes de sécheresse extrême tous les 33 ans. La probabilité d'occurrence des catégories climatiques dans cette étude dépasse largement celle de McKee et al en 1993.

Mots-clés: Prédiction, Caractérisation de la sécheresse, Indice de sécheresse, SPI

Characterization of Droughts in the Atsimo Andrefana Region of Madagascar via Standard Precipitation Index (SPI)

Rija Santaniaina Rakotoarimanana, Doctorant

Université d'Antsiranana, Madagascar

Tiana Razefania Ramahefy, Docteur Ingénieur

Université d'Antananarivo, Madagascar

Solofo Randrianja, Professeur titulaire

Université d'Antsiranana, Madagascar

Abstract

In this article, the study aims to characterize the droughts of the Atsimo Andrefana Region of Madagascar, using the Standard Precipitation Index (SPI). This region is chosen because it is facing a devastating drought which is among the sources of the famine affecting this region. This study could be an important step leading toward the prediction or forecast of drought in this region. It could help the actors concerned to adopt appropriate strategies to deal with them. The SPI is a simple-to-use tool for drought characterization. Only precipitation data is needed for the calculation. Indeed, the SPIs at different time steps are calculated in order to have the variations, categories, occurrence, and frequency of meteorological drought in this region. These results are analyzed and interpreted to characterize them. The data used are rainfall data in the monthly precipitation records, from January 1990 to May 2022 for the Atsimo Andrefana Region of Madagascar. The results for a

shorter precipitation accumulation period show that at least 13 mild drought episodes occur every 10 years, 13 moderate drought episodes every 33 years, 9 severe drought episodes every 20 years, and 5 episodes of extreme drought every 33 years. The results for average accumulation periods show that it has 9 to 26 mild drought episodes every 20 years, 8 to 13 moderate drought episodes every 33 years, and 9 to 15 severe drought episodes every 33 years, 4 to 5 episodes of extreme drought every 33 years. For longer accumulation periods, the results show that there are 6 to 11 episodes of mild drought and 6 episodes of moderate drought every 25 years, 2 to 5 episodes of severe drought, and 2 to 4 episodes of extreme drought every 33 years. The probability of occurrence of climatic categories in this study greatly exceeds that of McKee et al in 1993.

Keywords: Prediction, Drought Characterization, Drought Index, SPI

Introduction

Le développement durable dans les pays du monde est grandement menacé par la sécheresse. Selon le quatrième rapport du GIEC en 2007, une diminution des ressources en eau disponible et une accentuation de la sécheresse aux latitudes moyennes et dans les zones semi-arides de basses latitudes sont prévues (Sandratirina Andriambolatiana et al., 2013). Au cours des 50 années futures, la prévision indique une augmentation de sécheresse sévère (Bovolo et al., 2010). Des calculs statistiques estiment que de graves pénuries d'eau surviendront dans 35 pays d'ici l'an 2020 (Safari Shad et al., 2013). Depuis l'an 2000, une augmentation de 29% du nombre et de la durée de sécheresse est constatée, en comparant avec les deux précédentes périodes de dix ans (OMM, 2021).

Madagascar est parmi les pays les plus touchés par la crise climatique mondiale. Il subit une des pires épisodes de sécheresse de son histoire (Amnesty International, 2021). Malgré l'abondance des ressources en eau, elles sont inégalement distribuées sur le territoire, sont menacées par la réduction des précipitations et l'augmentation des températures (Jean-Etienne Bidou et al., 2007). Selon le rapport de l'Amnesty International, rendu public le 27 octobre 2021, le Sud de Madagascar est confronté à une sécheresse dévastatrice qui a provoqué la famine pour environ un million de personnes. Tous ces événements climatiques extrêmes qui s'intensifient progressivement emmènent le pays à se munir de stratégies d'adaptation pour la protection de la biodiversité et de la préservation des écosystèmes fragiles (Jean-Etienne Bidou et al., 2007).

Face à cette situation, la caractérisation de la sécheresse est indispensable pour mieux l'identifier et anticiper en conséquence. Cela permettra d'aider le pays dans l'élaboration, la réalisation ou l'amélioration de

certaines stratégies. L'objectif est de protéger la biodiversité, préserver les écosystèmes fragiles et contribuer à la réalisation des certains objectifs dans les Objectifs de Développement Durable (ODD), comme l'ODD1, 2, 3, 6, 13 et 14 (Paola Bettelli, 2021).

Concernant la méthode de caractérisation de la sécheresse, plus de 150 indicateurs de sécheresse ont été mis au point, sont en cours d'utilisation et ont été testés pour différentes conditions climatiques, hydrologiques et géographiques (Zargar et al., 2011).

Dans cet article, l'étude se porte sur la « CARACTERISATION DES SECHERESSES DE LA REGION D'ATSIMO ANDREFANA DE MADAGASCAR VIA STANDARD PRECIPITATION INDEX (SPI) ». Le SPI est, dans ce cas, calculé dans différents pas de temps, notamment 3, 6, 9, 12 et 48 mois. L'objectif est d'avoir les variations, les catégories, l'occurrence et la fréquence de la sécheresse météorologique dans cette région. Ces résultats sont analysés et interprétés pour en sortir des conclusions

Présentation de la zone d'étude

Contexte général

La région d'Atsimo Andrefana de Madagascar est choisie dans cette étude comme zone d'étude, car elle est la plus vulnérable en terme d'effets du changement climatique et de la sécheresse par rapport aux autres régions de Madagascar. Cette région se trouve dans la partie « midi occidentale » de Madagascar. Cette région se trouve dans la partie « midi occidentale » de Madagascar, sa délimitation est marquée par le fleuve Mangoky (Nord), par le massif ruiniforme de l'Isalo et une partie de la région d'Ihorombe (Est), par le fleuve Menarandra (Sud) et par le Canal de Mozambique (Ouest). La Superficie occupée par la Région d'Atsimo Andrefana est de 66 813 km². Elle est composée de 9 Districts qui sont Toliara I, Toliara II, Betioky Sud, Benenitra, Ampanihy Ouest, Beroroha, Morombe, Ankazoabo Sud et Sakaraha, de 121 communes et de 1 723 Fokontany. Le recensement fait dans cette région en 2018 donne 1 797 894 habitants et une densité démographique moyenne de 27 habitants par km². En 2010, la majorité de la population d'Atsimo Andrefana sont des ruraux (77 %) et elles ont l'agriculture comme principale occupation car 7 travailleurs sur 10 se focalisent sur ce secteur d'activité (CREAM, 2013).

Contexte climatique

Le climat de la Région d'Atsimo Andrefana est semi-aride. Une saison sèche s'étalant de 7 à 9 mois et une saison pluviale plus courte, parfois aléatoire, et souvent très irrégulière se rencontrent dans cette région pendant toute l'année. Elle a une faible précipitation, moins de 600 mm/an, qui est l'une des caractéristiques de cette région. La température moyenne est de 24,6 °C avec un maxima de 30 °C et un minima de 10 °C (CREAM, 2013).

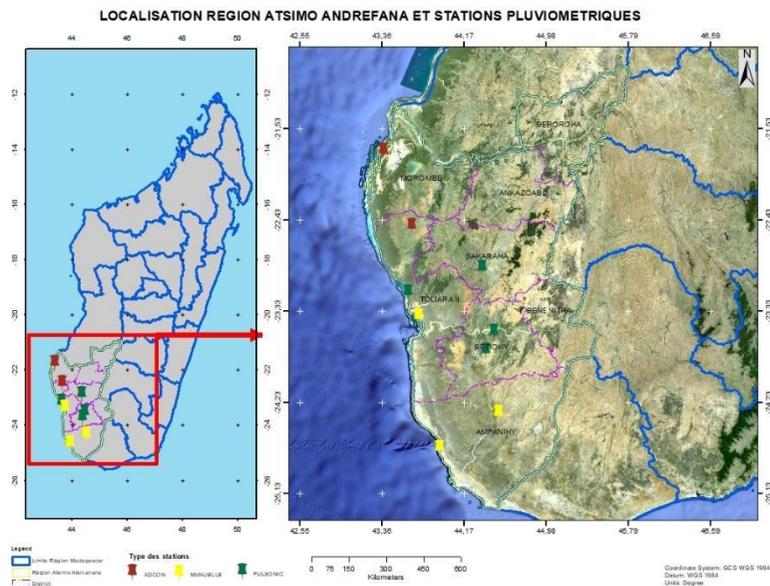


Figure 1. Carte de localisation de la région d'Atsimo Andrefana et les stations pluviométriques (Source : Service météorologique de Madagascar, Foiben-Taosarintanin 'i Madagascar, Auteur(2024))

Méthodologies

La modélisation des données utilisant la SPI permet de donner les caractérisations à priori des sécheresses. Elle donne un aperçu sur les procédures de calcul et l'utilisation de SPI. C'est une étape importante nécessaire pour avoir une prédiction des quantités de précipitations en dessous de la normale dans une région, comme le cas de l'Atsimo Andrefana de Madagascar.

Définition de la sécheresse

Plusieurs définitions de la sécheresse sont retrouvées dans la littérature. Mais Selon Palmer en 1965, la définition de la sécheresse varie en fonction de l'intérêt particulier de l'étude. Quant au paysan, elle désigne un manque d'humidité dans la partie de la racine de la culture. L'hydrologue la propose comme de niveau d'eau qui est inférieur à la moyenne dans les cours d'eau, dans les lacs et dans les réservoirs d'eau. Selon l'économiste, elle marque une pénurie d'eau qui nuit à l'économie établie.

Classification des définitions de sécheresse

Les définitions se regroupent en fonction des facteurs d'influence comme la précipitation, évapotranspiration, la météorologie, le débit, l'humidité du sol et la végétation.

Les définitions qui sont basées sur la précipitation, l'évapotranspiration et la météorologie se réfèrent à la sécheresse météorologique. Celle qui est en fonction du débit se réfère aux sécheresses hydrologiques et celles qui sont en fonction de l'humidité du sol et la végétation se rapportent aux sécheresses agricoles.

Indice de sécheresse

L'indice de sécheresse est une valeur numérique qui est en relation avec des effets cumulatifs du prolongation et d'anomalie. En hydrologie, il montre la différence entre les niveaux des cours d'eau, des lacs et des réservoirs avec leurs valeurs moyennes. En agriculture, les effets cumulatifs d'un déficit de transpiration absolue ou anormale sont en rapport avec cet indice.

Types d'indice de sécheresse

Les indices les plus utilisés sont l'indice de l'écart à la moyenne (Em), le Rapport à la Normale des précipitations (RN), l'indice de déficit pluviométrique (Indice de l'Ecart à la Normale (En)), l'indice de sévérité de la sécheresse de Palmer, l'Indice de Pluviosité (Ip), l'indice d'approvisionnement en eau de surface (SWSI), l'indice de sécheresse de Keetch Byram (KBDI) et l'indice de précipitation standardisé (SPI). Mais cette étude s'intéresse seulement sur l'indice de Précipitation standardisé (SPI).

L'Indice Standardisé de Précipitation (SPI)

L'Indice Standardisé de Précipitation (SPI) a été développé en 1993 par Mc Kee, N.J. Doesken & J. Kleist de l'Université de l'Etat du Colorado, pour la détermination des déficits pluviométriques pour une période donnée (McKee et al., 1993). C'est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis. En outre, l'indice SPI se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes humides que les périodes sèches (OMM, 2012).

Procédure de calcul et utilisation du SPI

Le SPI d'une région se calcule par le relevé de la série temporelle de précipitations cumulée, sur une échelle de temps donnée dans cette région. Cette série est de préférence sur une période d'au moins de 30 ans, mais de préférence sur 50 à 60 ans, voire plus, ce qui constitue la période optimale (Guttman, 1994) (McKee et al., 1993). Elle devrait être ajustée à une loi de

probabilité adéquate et transformée après à la distribution normale de moyenne égale à 0 et d'écarte type égale à 1, appelée Z-distribution, qui dans notre cas le SPI (Edwards and McKee, 1997). Le SPI a de valeurs positives pour des précipitations supérieures à la médiane et négatives pour les précipitations inférieures à la médiane.

Thom a conclu en 1966 que les précipitations sont adaptées beaucoup plus sur la loi gamma. Cette loi est définie par sa fonction de densité de probabilité donnée par la formule suivante (Edwards and McKee, 1997), pour $x>0$:

$$g(u) = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} u^{a-1} e^{-\frac{u}{\beta}} \quad (1)$$

Dont a est le paramètre de forme, b est le paramètre d'échelle, u est la quantité de précipitations et $\Gamma(a)$ est la fonction gamma, définie par la formule :

$$\Gamma(a) = \int_0^{\infty} v^{a-1} e^{-v} dv \quad (2)$$

L'ajustement de la distribution gamma se fait par déterminer les paramètres a et b qui sont estimés par Thom, en 1966 par :

$$\hat{a} = \frac{1}{4X} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4X}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\hat{b} = \frac{u}{\hat{a}} \quad (4)$$

$$X = \ln \ln (\underline{u}) - \frac{\sum \ln \ln (u)}{k} \quad (5)$$

Où \underline{u} est la moyenne de précipitations et k est le nombre d'observations.

La valeur de la probabilité cumulée $G(u)$ est obtenue par intégration de la fonction de densité $g(u)$, avec les deux paramètres a et b estimés. Cette valeur donne la probabilité d'observation d'une quantité de précipitation (inférieure ou supérieure à la médiane) pour un mois et une échelle de temps bien définis. Elle est donnée pour $u>0$ par :

$$G(u) = \int_0^u g(u) du = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} \int_0^u u^{a-1} e^{-\frac{u}{\beta}} du \quad (6)$$

Etant donnée que la fonction de distribution gamma n'est pas définie sur 0 ainsi que pour le total de précipitation qui pourrait être est égal à 0 sur l'échelle de temps déterminée, la valeur de probabilité cumulée est donnée par la formule suivante :

$$H(u) = p + (1 - p)G(u) \quad (7)$$

Avec $p = P(u = 0) > 0$ est la probabilité d'obtenir des précipitations nulles. La transformation de la fonction $H(u)$ en distribution normale standardisée correspond à la valeur du SPI. Cette transformation peut être encore approximée par les formules suivantes (Abramowitz, 1965) :

$$z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad (8)$$

Et
$$t = \sqrt{\ln \ln \left(\frac{1}{(H(u))^2} \right)} \quad \text{Pour } 0 < H(u) \leq 0,5 \quad (9)$$

$$z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad (10)$$

Et
$$t = \sqrt{\ln \ln \left(\frac{1}{(1-H(u))^2} \right)} \quad \text{Pour } 0,5 < H(u) \leq 1 \quad (11)$$

Et :

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517; & c_1 &= 0.802853; & c_2 &= 0.010328. \\ d_1 &= 1.432788; & d_2 &= 0.189269; & d_3 &= 0.001308. \end{aligned}$$

Le calcul s'effectue séparément pour chaque échelle de temps, en général, il se fait sur 3, 6, 12 et 24 mois. Comme l'indice est dans ce cas normalisé, en effet, la représentation des climats plus humide et plus sec pourrait être faite de la même manière. La sécheresse commence quand la valeur du SPI est inférieure ou égale à -1 et elle se termine quand cette valeur devient positive.

Tableau 1. Probabilité d'occurrence des catégories climatique selon McKee et al 1993

<i>SPI</i>	<i>Catégorie</i>	<i>Nb. des fois sur 100</i>	<i>Fréquence</i>
De 0 à 0.99	Légère sécheresse	33	1 fois tous les 3 ans
De -1.00 à -1.49	Sécheresse modérée	10	2 fois tous les 10 ans
De -1.5 à -1.99	Grande sécheresse	5	3 fois tous les 20 ans
<-2	Sécheresse extrême	2	4 fois tous les 50 ans

L'Organisation Mondiale de la Météorologie a adopté 7 classes de climat différentes. Elles varient de l'extrême chaude à l'extrême humide dont montre le tableau suivant :

Tableau 2. Valeurs de SPI et classes de sécheresse(OMM, 2012)

<i>Valeur SPI</i>	<i>Séquence de sécheresse</i>
2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2.0 et moins	Extrêmement sec

Les anomalies, c'est-à-dire, les écarts par rapport à la moyenne, des précipitations totales observées pour une zone, pendant une période donnée, sont montrées par le SPI. La probabilité de la gravité d'un événement humide ou sec est mesurée par l'ampleur de l'écart par rapport à cette anomalie. Puisque le calcul de SPI peut se faire sur différentes périodes d'accumulation de précipitations, qui sont généralement de 1 à 48 mois, il permet à l'estimation des impacts potentiels d'une sécheresse météorologique :

SPI-1 à SPI-3 mois : l'utilisation de ces SPI sont préférables pour des périodes d'accumulation de précipitations plus courtes, de 1 à 3 mois par exemple. Ils sont comme des indicateurs des impacts immédiats tels que la réduction de l'humidité du sol, du manteau neigeux, et l'écoulement dans des plus petits ruisseaux.

SPI-3 à SPI-12 mois : Ces SPI sont utilisés pour des périodes d'accumulation moyennes, de 3 à 12 mois par exemple, pour voir la réduction du débit des cours d'eau et du stockage dans les réservoirs.

SPI-12 à SPI-48 mois : ces SPI sont pratiqués pour des périodes d'accumulation plus longues de 12 à 48 mois par exemple, ils peuvent être considérés comme indicateur d'une recharge réduite des réservoirs et des eaux souterraines.

Etude de la sécheresse en fonction de l'échelle interannuelle

Le SPI-12 mois doit être utilisé pour la caractérisation des années sèches. Le modèle de précipitation à long terme a été reflété à cette échelle de temps par ce SPI. Il fait comparer le cumul des précipitations des 12 mois consécutifs avec celle de la moyenne du même mois sur toutes les années de la série temporelle des données disponibles. Cela signifie que le SPI-12 de la fin janvier 2023 compare le total des précipitations de la période Décembre 2022 à janvier 2023 avec la même période dans la série temporelle.

Etude de la sécheresse en fonction de l'échelle intra saisonnière SPI-3

Le SPI-3 mois produit des informations sur le cumul sur de trois mois avec le total de précipitations de la même période de trois mois sur toutes les années de la série temporelle. Ce qui implique que le SPI-3 mois de la fin du mois de Juin compare le total des précipitations de Avril – Mai – Juin de cette saison avec le total des précipitations de mois d'Avril au Juin pour toute la saison dans la série temporelle étudiée.

Etude de la sécheresse en fonction de l'échelle mensuelle SPI-2

Le SPI -2 mois donne la comparaison entre la précipitation de cette période avec la même période de deux mois sur toutes les années de la série temporelle. C'est-à-dire que le SPI-2 mois de la fin du mois d'Août compare le total des précipitations de la période Juillet-Août, le raisonnement est

toujours le même pour la fin de mois Septembre, en faisant la comparaison entre le total des précipitations de la période Août-Septembre avec tout le total de la même période. Le SPI-2 mois est ici utilisé, pour la saison chaude et pluvieuse de Novembre à Avril, de la fin du mois de Novembre pour le début de la pluie et Avril pour la fin de la pluie.

Données et logiciels utilisés

Les données utilisées sont de données pluviométriques dans les relevés mensuels de précipitation, du mois de janvier 1990 jusqu'au mois de mai 2022 dans la Région d'Atsimo Andrefana, ex-Province de Toliara, se trouvant dans le Sud-Ouest de Madagascar, fournies par le Service météorologique de Madagascar. Elles recouvrent 396 observations sur 33 ans.

Les logiciels utilisés pour les traitements sont le PyCharm 2022.3.1 (Community Edition) et SPI Generator, version 1.7.6.

Résultats et discussions

Pour analyser et évaluer les variations afin d'avoir les catégories, l'occurrence et la fréquence de la sécheresse météorologique dans la Région d'Atsimo Andrefana de Madagascar, les SPI-03, 06, 09, 12 et 48 mois sont calculés à partir des données de précipitation mensuelle sur une série de 33 années. Les résultats sont représentés par des graphes et tableaux suivants :

SPI-03 mois

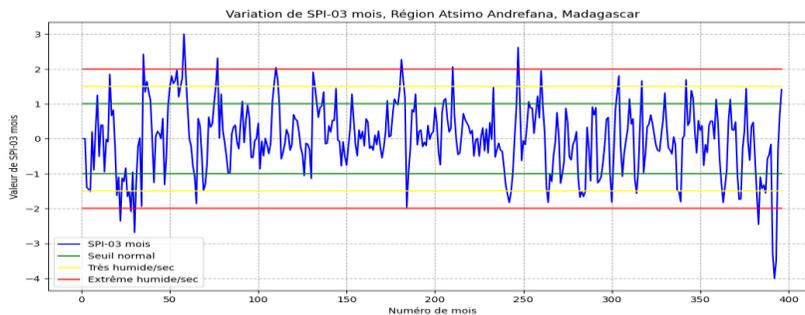


Figure 2. Variation de SPI-03 mois

Tableau 3. Probabilité d'occurrence de catégories climatiques par SPI-03 mois

SPI03	Catégories	Nb évènements de sécheresse	Nb des fois sur 100 ans	Fréquence
$0 > SPI > -0,99$	Sécheresse légère	43	130	13 fois tous les 10 ans
$-1 > SPI > -1,49$	Sécheresse modérée	13	39	13 fois tous les 33 ans
$-1,5 > SPI > -1,99$	Sécheresse sévère	15	45	9 fois tous les 20 ans
$SPI < -2$	Sécheresse extrême	5	15	5 fois tous les 33 ans

Selon les résultats de SPI03-mois, sur une série de données de 33 ans, 76 épisodes de sécheresses sont constatés, les épisodes de la sécheresse légère sont les plus dominants, ils occupent 56,58% des cas. Par contre, les épisodes de la sécheresse extrême sont les moins dominants, ils représentent 6,58% des cas. Les événements de sécheresse sévère sont aussi non négligeables, car ils représentent les 19,74% des cas.

Ces résultats montrent qu'il y a 9 épisodes de sécheresse sévère tous les 20 ans et 5 épisodes de sécheresse extrême tous les 33 ans. Leur durée maximale est d'environ de 3 mois. (Sécheresse sévère : juin au septembre 2013, sécheresse extrême : juillet au septembre 2022).

Les sécheresses extrêmes sont identifiées en mois d'octobre 1991, en mois d'avril et juin 1992, en octobre au novembre 2021 et en juillet au septembre 2022 dont l'intensité maximale est plus de 4 (Août 2022).

En ce qui concerne l'humidité, ces résultats montrent 7 épisodes extrêmement humides qui se sont manifestés entre le mois de novembre 1992 jusqu' au mois de juillet 2010. La durée de l'un des épisodes est d'environ de 1 mois et l'intensité maximale est de 3 (octobre 1994). Ils montrent aussi 8 épisodes très humides se localisant en avril 1991 jusqu'au mois de juin 2018.

Selon la courbe, les phénomènes d'humidité extrême se présentent de novembre 1992 jusqu' au mois de juillet 2010, et ceux de très humide se présentent au mois d'avril 1991 jusqu'au mois de juin 2018. Jusque-là, la courbe ne dépasse plus le seuil du très humides.

SPI-06 mois

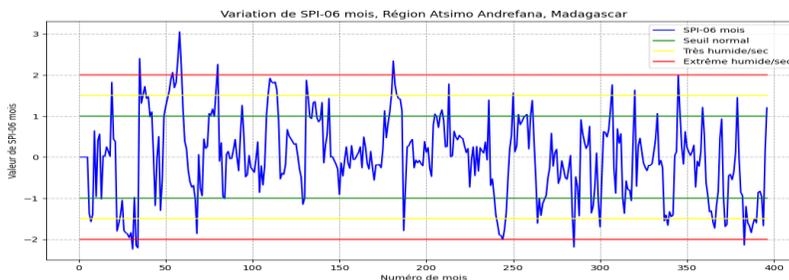


Figure 3. Variation de SPI-06 mois

Tableau 4. Probabilité d'occurrence de catégorie climatique par SPI-06 mois

<i>SPI06- mois</i>	<i>Catégories</i>	<i>Nb évènements de sécheresse</i>	<i>Nb des fois sur 100 ans</i>	<i>Fréquence</i>
0>SPI>- 0,99	Sécheresse légère	37	112	28 fois tous les 25 ans
-1>SPI>- 1,49	Sécheresse modérée	16	48	12 fois tous les 25
-1,5>SPI>- 1,99	Sécheresse sévère	14	42	14 fois tous les 33 ans
SPI<-2	Sécheresse extrême	5	15	5 fois tous les 33

Les résultats de SPI-06 mois montrent que, sur une série de 33 ans, 72 épisodes de sécheresses sont constatés, les épisodes de la sécheresse légère sont les plus dominants, ils occupent 51,39% des cas. Par contre, les épisodes de la sécheresse extrême sont les moins dominants, ils représentent 6,94% des cas. Les évènements de sécheresse sévère représentent les 19,44% des cas.

Ces résultats montrent qu'il y a 14 épisodes de sécheresse sévère et 5 épisodes de sécheresse extrême tous les 33. Leurs durées maximales sont respectivement d'environ 6 mois (Février-Août 1992) et 1 mois (septembre-octobre 1992).

Les sécheresses extrêmes sont identifiées en mois de juin au juillet 1992 et au mois de septembre au octobre 1992, en mois d'avril 2010, septembre 2013 et en novembre 2021 dont l'intensité maximale est d'environ de 2,24(juillet 1992).

En ce qui concerne l'humidité, ces résultats montrent 4 épisodes extrêmement humides qui se sont manifestés au mois de novembre 1993, juin et octobre 1994 et janvier 2005. La durée des épisodes est presque 1 mois et l'intensité maximale est de 3,05(octobre 1994). Ils montrent aussi 7 épisodes très humides se localisant en septembre 1991 jusqu'en octobre 2018.

Les résultats montrent que les valeurs de pic sur l'humidité ont tendance à décroître avec le temps, les 3 pics très remarquables sont en octobre 1994(SPI=3,05), en janvier 2005(SPI=2,3) et en septembre 2018(SPI=1,98).

Selon la courbe, les phénomènes d'humidité extrême se présentent en novembre 1992 jusqu' au février 2005, et ceux de très humide se présentent en juillet 1991 jusqu'au mois d'octobre 2018. Jusque-là, la courbe ne dépasse plus le seuil du très humides.

SPI-09 mois

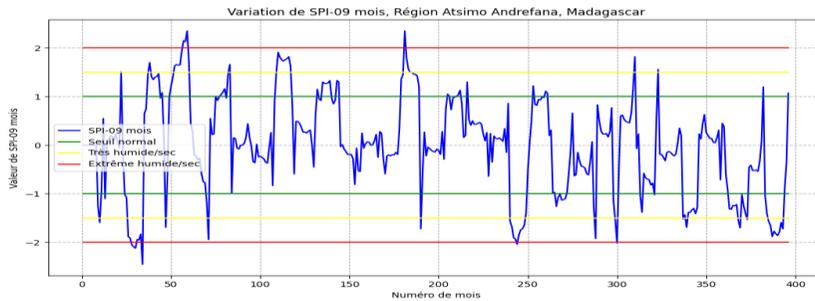


Figure 4. Variation de SPI-09 mois

Tableau 5. Probabilité d’occurrence de catégorie climatique par SPI-09 mois

<i>SPI09-mois</i>	<i>Catégories</i>	<i>Nb évènements de sécheresse</i>	<i>Nb des fois sur 100 ans</i>	<i>Fréquence</i>
$0 > SPI > -0,99$	Sécheresse légère	26	79	79 fois tous les 100 ans
$-1 > SPI > -1,49$	Sécheresse modérée	8	24	6 fois tous les 25ans
$-1,5 > SPI > -1,99$	Sécheresse sévère	11	33	1 fois tous les 3 ans
$SPI < -2$	Sécheresse extrême	4	12	4 fois tous les 33ans

Les résultats de SPI-09 mois montrent que, sur une série de 33 ans, 49 épisodes de sécheresses sont constatés, les épisodes de la sécheresse légère sont les plus dominants, ils occupent 53,06% des cas. Par contre, les épisodes de la sécheresse extrême sont les moins dominants, ils représentent 8,16% des cas. Les évènements de sécheresse sévère représentent les 22,45% des cas.

Ces résultats montrent qu’il y a au moins un épisode de sécheresse sévère tous les 3 ans et 4 épisodes de sécheresse extrême tous les 33. Leurs durées maximales sont respectivement d’environ 9 mois (janvier-septembre 2022) et 3 mois (avril-juillet 1992).

Les sécheresses extrêmes sont identifiées en mois d’Avril jusqu’au mois de Juillet 1992, au mois de septembre jusqu’au mois d’octobre 1992, en Avril 2010 et en Décembre 2014 dont l’intensité maximale atteint plus de 2,45 (octobre 1992).

En ce qui concerne l’humidité, ces résultats montrent 2 épisodes extrêmement humides : l’un s’est manifesté aux mois d’Août jusqu’au mois de décembre 1994, avec une durée de 3 mois et une intensité maximale de 2,35 et l’autre s’est présenté aux mois de janvier jusqu’au février 2005. Ils ont presque la même intensité. Les résultats montrent aussi que 7 épisodes très

humides ont été localisés depuis le mois d'octobre 1991 jusqu'au mois de novembre 1996.

D'après la courbe, les valeurs de pic sur l'humidité ont tendance à diminuer avec le temps : elle a une intensité de 2,35 en janvier 2005, de 2,82 en octobre 2015, de 1,56 en novembre 2016, de 1,2 en octobre 2021 et de 1,07 en décembre 2022.

Selon la courbe, les phénomènes d'humidité extrême se présentent en août 1994 jusqu' au février 2005, et ceux de très humide se présentent en novembre 1991 jusqu'au mois novembre 2016. Jusque-là, la courbe ne dépasse plus le seuil du très humide.

SPI-12 mois

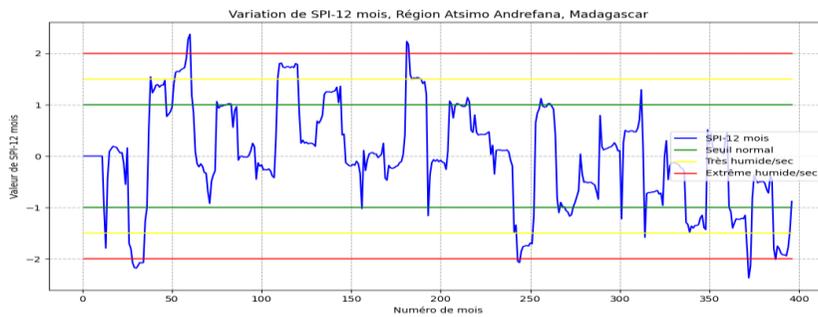


Figure 5. Variation de SPI-12 mois

Tableau 6. Probabilité d'occurrence de catégorie climatique par SPI-12 mois

<i>SPI12-mois</i>	<i>Catégories</i>	<i>Nb évènements de sécheresse</i>	<i>Nb des fois sur 100 ans</i>	<i>Fréquence</i>
$0 > SPI > -0,99$	Sécheresse légère	15	45	9 fois tous les 20 ans
$-1 > SPI > -1,49$	Sécheresse modérée	8	24	6 fois tous les 25 ans
$-1,5 > SPI > -1,99$	Sécheresse sévère	5	15	5 fois tous les 33 ans
$SPI < -2$	Sécheresse extrême	4	12	4 fois tous les 33 ans

Les résultats de SPI-12 mois montrent que, sur une série de 33 ans, 32 épisodes de sécheresses sont constatés, les épisodes de la sécheresse légère sont les plus dominants, ils occupent 48,88% des cas. Par contre, les épisodes de la sécheresse extrême sont les moins dominants, ils représentent 12,50% des cas. Les évènements de sécheresse sévère représentent les 15,63% des cas.

Ces résultats montrent qu'il y a 5 épisodes de sécheresse sévère et 4 épisodes de sécheresse extrême tous les 33. Leurs durées maximales sont

respectivement d'environ 7(mars-octobre 2022) mois et 6,5 mois (avril-octobre 1992).

Les sécheresses extrêmes sont identifiées en mois d'avril jusqu'au mois d'Octobre 1992, en mars jusqu'au mois d'avril 2010, en novembre 2020 jusqu'au mois de janvier 2021 et au mois de mars 2022. L'intensité maximale est plus de 2,35(décembre 2020).

En ce qui concerne l'humidité, ces résultats montrent 2 épisodes extrêmement humides : l'un s'est manifesté au mois d'octobre jusqu'au mois de Décembre 1994, avec une durée de 2 mois et une intensité maximale de 2,37 et l'autre s'est présenté aux mois de janvier jusqu'au mois de février 2005, avec une durée d'environ de 1,5 mois. Ils montrent aussi 2 épisodes très humides l'un s'est passé en février 1993 et l'autre en janvier-décembre 1999 avec une durée de 11 mois. Ils ont aussi montré 10 épisodes modérément humides qui se localisent en février 1993 au décembre 2015. La valeur de SPI passe à 0 au mois de décembre 2019. Elle est devenue négative et n'est plus passée à l'humidité normale.

Selon la courbe, les phénomènes d'humidité extrême se sont présentés le mois d'octobre 1994 jusqu' au mois de février 2005, et ceux de très humide se sont présentés au mois de février 1993 jusqu'au mois de septembre 2005. Ceux d'humidité modérée se sont présentés au mois de février 1993 jusqu'au mois de décembre 2015. Jusque-là, la courbe ne dépasse plus le seuil de l'humidité modérée et à partir de décembre 2019, la courbe s'est passée au-dessous de 0, c'est-à-dire, elle s'est située en dessous de la sécheresse normale.

SPI-48 mois

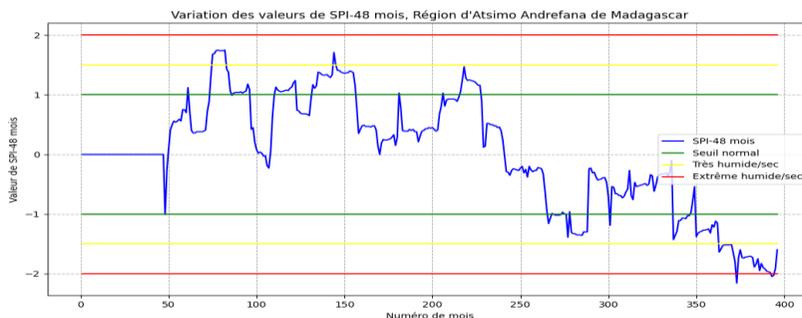


Figure 6. Variation de SPI-48 mois

Tableau 7. Probabilité d'occurrence de catégorie climatique par SPI-48 mois

<i>SPI48-mois</i>	<i>Catégories</i>	<i>Nb évènement de sécheresse</i>	<i>Nb des fois sur 100 ans</i>	<i>Fréquence</i>
0>SPI>-0,99	Sécheresse légère	8	24	6 fois tous les 25 ans

$-1 > \text{SPI} > -1,49$	Sécheresse modérée	8	24	6 fois tous les 25 ans
$-1,5 > \text{SPI} > -1,99$	Sécheresse sévère	2	6	2 fois tous les 33 ans
$\text{SPI} < -2$	Sécheresse extrême	2	6	2 fois tous les 33 ans

Les résultats de SPI-48 mois montrent que, sur une série de 33 ans, 20 épisodes de sécheresses sont constatés, les épisodes de la sécheresse légère et modérée sont les plus dominants, ils occupent les mêmes pourcentages de 40% des cas. Par contre, les épisodes des sécheresses sévère et extrême sont les moins dominants, ils représentent chacun les 10% des cas.

Ces résultats montrent qu'il y a 2 épisodes de sécheresse sévère et extrême tous les 25 ans. Leurs durées maximales sont respectivement d'environ de 20 mois (janvier 2021-août 2022) et de 2 mois (août-octobre 2022).

Les sécheresses sévères sont identifiées en mois de janvier 2021 et en mois d'août au mois d'octobre 2022 dont l'intensité maximale est plus de 2,16 (janvier 2021).

La durée la plus longue des épisodes de sécheresse sévères s'étale du mois de Janvier 2021 jusqu'au mois d'Août 2022.

En ce qui concerne l'humidité, ces résultats montrent 2 épisodes très humides : l'un s'est manifesté aux mois de février jusqu'au mois de Décembre 1996, avec une durée supérieure à 10 mois et une intensité maximale de 1,75 et l'autre s'est présenté aux mois de novembre jusqu'au mois de janvier 2002. Ils montrent aussi 8 épisodes modérément humides qui se sont passés entre janvier 1995 au décembre 2008. La valeur de SPI est passée à 0 au mois de janvier 2010. Elle est devenue négative et n'est plus revenue à l'humidité normale.

Selon la courbe, les phénomènes très humides se présentent entre le mois de février 1996 jusqu'au mois de janvier 2002. Ceux de l'humidité modérée s'est présentés du mois de janvier 1995 jusqu'au mois de décembre 2008. Depuis janvier 2010, la courbe est passée au-dessous de 0, c'est-à-dire, elle est en dessous de la sécheresse normale.

Conclusion

Cette étude a permis de conclure que les sécheresses dans la région d'Atsimo Andrefana de 1990 à 2022 se sont caractérisées par des sécheresses légère, modérée, sévère et extrême. Pour une période d'accumulation de précipitation plus courte (SPI-03 mois), il se produit aux moins 13 épisodes de sécheresse légère tous les 10 ans, 13 épisodes de sécheresse modérée tous les 33 ans, 9 épisodes de sécheresses sévères tous les 20 ans et 5 épisodes de sécheresse extrême tous les 33 ans. Pour une période d'accumulation

moyenne (SPI-03 à SPI-12 mois), il présente 9 à 26 épisodes de sécheresse légère tous les 20 ans, 8 à 13 épisodes de sécheresse modérée tous les 33 ans, et 9 à 15 épisodes de sécheresse sévère tous les 33 ans, 4 à 5 épisodes de sécheresse extrême tous les 33 ans. Pour les périodes d'accumulation plus longues (SPI-12 à SPI-48 mois), les résultats exposent qu'il se manifeste 6 à 11 épisodes de sécheresse légère et 6 épisodes de sécheresse modérée tous les 25 ans, 2 à 5 épisodes de sécheresse sévère et 2 à 4 épisodes de sécheresse extrême tous les 33 ans. La probabilité d'occurrence des catégories climatiques dans cette étude dépasse largement celle de McKee et al en 1993. La sécheresse la plus sévère d'intensité maximale supérieur à 4 est constatée par SPI-03 mois en Août 2022.

Quant à l'humidité, la valeur de pic d'un épisode et le nombre des événements extrêmement humides et très humides diminuent avec le pas de temps utilisé, pendant 33 ans. Le SPI-03 mois a présenté 7 épisodes extrêmement humides et 8 épisodes de très humide. Le SPI-12 mois a présenté 2 épisodes d'extrêmement humides et 2 épisodes de très humide et le SPI-48 mois n'a présenté que 2 épisodes très humides.

Depuis juin 2018, SPI-03 mois a montré que la courbe ne dépasse plus le seuil de très humide. Depuis décembre 2019(SPI-12 mois) et janvier 2010(SPI-48 mois), les événements se situent au-delà de la sécheresse normale.

Cette expérience est encore limitée sur la caractérisation de sécheresse mais elle pourrait être une étape pour d'autres études comme la prévision de sécheresse par des méthodes plus efficaces comme l'utilisation du Réseau de Neurone Récurrente qui est approprié pour les données de série temporelle.

Financement: les auteurs n'ont pas bénéficié de financement tout au long de cette étude.

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

Conflits d'intérêts: les auteurs n'ont pas déclaré de conflits d'intérêts.

Références:

1. Abramowitz M, Stegun A(Eds), 1965. Handbook of Mathematical Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Publications, Inc., New York, USA.
2. Amnesty International, 2027 : Madagascar, le changement climatique cause de terribles souffrances et des morts.

3. Bovolo C., Blenkinsop S., Majone B., Zambrano B.-M., Fowler H., Bellin A., Burton A., Barceló D., Grathwohl P., Barth J, 2010: Climate change water resources and pollution in the Ebro basin. Towards an integrated approach. In : Barceló D., Petrovic M., eds. The Ebro River Basin, Springer-Verlag.
4. C. Edwards and T. B. McKee., 1997 Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple scales, Atmospheric Science, pp 634.
5. CREAM (Centre de Recherches, d'Etudes et d'Appui à l'Analyse économique à Madagascar), 2013 : Monographie Région Atsimo Andrefana, 208 pages.
6. Djerbouai Salim, 2016 : Méthodes de l'Intelligence Artificielle pour la prévision des sécheresses, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedienne, p7-11
7. Edwards DC, McKee TB, 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Colorado State University, Fort Collins. Climatology Report No. 97-2, CO, USA.
8. F. Djellouli, A. Bouanani, K. Baba-Hamed, 2019 : Caractérisation de la sécheresse et du comportement hydrologique au niveau du bassin versant de l'oued Louza (Algérie occidentale), TSM numéro 6, 114e année.
9. Guttman, N.B., 1994: On the sensitivity of sample L moments to sample size. Journal of Climate, 7(6):1026–1029.
10. INSTAT Madagascar, 2020 : RGPH3-Tome-02, 226 pages.
11. Jean-Etienne Bidou, Isabelle Droy, Patrick Rasolofo, 2007 : Pauvreté et vulnérabilité alimentaire dans le Sud de Madagascar : les apports d'une approche diachronique sur un panel de ménages.
12. McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist., 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23, 1993, Anaheim CA, p 179-186.
13. OMM, 2012 : Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, OMM-N° 1090,25p.
14. OMM. (2012). Organisation météorologique mondiale, Guide D'utilisat d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, N° 1090, p25.
15. Palmer WC, 1965. Meteorological drought, Research Paper 45, Weather Bureau, U.S. Dep. Of Commerce, Washington, D. C., USA.
16. Paola Bettelli, 2021 : Ce que le monde a appris en fixant les objectifs de développement, dossier # 10.
17. Safari Shad M., Dashti Marvili M., Dashti Marvili M. (2013): Study of drought with SPI index (case study: Ghareh Chai and Karkheh

- basins). International Research Journal of Applied and Basic Sciences; 4(9): 2638-44.
18. Sandratirina Andriambolatiana, Mialisoa Randriamampianina, 2013 : Changement climatique : politique et perspectives à madagascar, Réalisation et publication par Friedrich-Ebert-Stiftung, juillet 2013.
 19. Thom HCS, 1966: A note on gamma distribution. Mont Weather Rev (86), p117-122.
 20. Zargar A., Sadiq R., Naser B., Khan F.-I,2011: A review of drought indices, Environmental Review; 19: 333-49.

Persistence des Séquences Pluvieuses et Risques d'Inondations de 1971 à 2022 en Côte d'Ivoire

Kolotioloma Alama Coulibaly

Kouadio Christophe N'Da

Daouda Sylla

Pauline Agoh Dibi-Anoh

Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Bi Tié Albert Goula

Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p53](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p53)

Submitted: 16 December 2023

Accepted: 12 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Coulibaly K.A., N'Da K.C., Sylla D., Dibi-Anoh P.A. & Goula B.T.A. (2024). *Persistence des Séquences Pluvieuses et Risques d'Inondations de 1971 à 2022 en Côte d'Ivoire*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 53. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p53>

Résumé

Avec le réchauffement climatique mondial, les inondations sont devenues plus récurrentes en Afrique de l'Ouest, particulièrement en Côte d'Ivoire. Ainsi, la présente étude a pour objectif de contribuer à une meilleure compréhension des risques d'inondations à travers les extrêmes pluviométriques et leurs répartitions en Côte d'Ivoire. Pour cela, les données pluviométriques journalières de 1971 à 2022 des 14 stations synoptiques de la Direction de la Météorologie Nationale de Côte d'Ivoire sont utilisées. L'approche méthodologique comporte les chaînes de Markov, la loi de Gumbel et l'analyse fréquentielle des pluies journalières extrêmes. Les résultats ont montré que pendant les saisons des pluies, il y a plus de chance qu'il pleuve au Nord et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire si la veille est sèche. En revanche, au Centre, au Sud et sur le littoral, c'est lorsque la veille est pluvieuse que la probabilité de pluie est élevée. Cette probabilité est plus forte au Nord-Ouest et sur le littoral qu'au Centre et Sud. Au Nord et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, la période allant de juillet à septembre enregistre 74,5 à 84,6 % des années à pluie extrême alors que sur le littoral, c'est 61,5 à 76,9 % durant la première saison pluvieuse d'avril à juin. Au Centre et Sud ivoiriens, ce sont 21,2 à 58,3 % des années qui ont des pluies extrêmes entre avril et

novembre. Les pluies journalières normales à très exceptionnelles avec une durée de retour respectivement inférieure à six ans et supérieure à 100 ans occasionnent des inondations en Côte d'Ivoire. Ces résultats sont importants pour la mise à jour des plans stratégiques de prévention et de gestion des risques d'inondations en Côte d'Ivoire.

Mots-clés: Côte d'Ivoire, probabilité de jour pluvieux, pluie extrême, risques d'inondations, durée de retour

Persistence of Wet Spells and Flood Risks from 1971 to 2022 in Cote d'Ivoire

Kolotioloma Alama Coulibaly

Kouadio Christophe N'Da

Daouda Sylla

Pauline Agoh Dibi-Anoh

Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Bi Tié Albert Goula

Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

With global warming, floods have become more recurrent in West Africa, particularly in Cote d'Ivoire. Thus, this study aims to contribute to a better understanding of flood risks through extreme rainfall and their distributions in Cote d'Ivoire. For this, daily rainfall data from 1971 to 2022 for 14 synoptic stations of the National Meteorological Service of Cote d'Ivoire are used. The methodological approach includes Markov chains, Gumbel's law, and frequency analysis of extreme daily rainfall. Results showed that during rainy seasons, there is a greater chance of rain in the North and West of Cote d'Ivoire if the day before is dry. However, in the Centre, South, and coastal, it is when the day before is rainy that the probability of rain is high. This probability is higher in the Northwest and on the coast than in the Centre and South. In the North and West of Cote d'Ivoire, the period from July to September records 74.5 to 84.6 % of years with extreme rain while on the coast, it is 61.5 to 76.9 % during the first rainy season from April to June. In the Centre and South of Cote d'Ivoire, 21.2 to 58.3 % of years have extreme rainfall between April and November. Normal to very exceptional daily rainfall with return periods respectively less than six years and more than 100 years cause floods in Cote d'Ivoire. These results are important for

updating strategic flood risk prevention and management plans in Cote d'Ivoire.

Keywords: Cote d'Ivoire, probability of rainy day, extreme rainfall, flood risks, return period

Introduction

Le réchauffement climatique actuel que connaît le monde est à l'origine de l'accroissement de phénomènes météorologiques responsables des risques hydroclimatiques dont les inondations, les sécheresses, les vents violents et les vagues de chaleur (GIEC, 2014). Suivant les prédictions, ces extrêmes climatiques devraient se multiplier et gagner en intensités avec des conséquences effroyables pour les populations (GIEC, 2014). En effet, les catastrophes naturelles entraînent la destruction de matériels et de dégâts humains. Selon l'Organisation Météorologique Mondiale, 3253 événements hydrométéorologiques dangereux ont été recensés dans le monde au cours de la décennie 2005-2014. Ces événements ont fait 283035 victimes et causé de nombreux dégâts matériels et pertes économiques.

En Côte d'Ivoire, les catastrophes les plus récurrentes sont les inondations et les glissements de terrain. Les épisodes clés de ces types de catastrophes ont été enregistrés respectivement en 1968-1970; 1996; 2007-2009 et 2017-2018. Ils sont tous liés aux fortes précipitations durant les saisons pluvieuses (RCI, 2019, p. 30). Le cas du 18 au 19 juin 2018 a perturbé les activités socio-économiques suite aux pluies diluviennes à Abidjan et dans d'autres localités ivoiriennes provoquant ainsi de nombreux dommages matériels et humains (RCI, 2019, p. 9). Selon l'Office National de la Protection Civile (ONPC) de Côte d'Ivoire, les récentes inondations observées depuis les années 2010 ont occasionné des dégâts matériels et humains dans certaines localités ivoiriennes telles que Abidjan, Aboisso, Agboville, Bonoua, Bouaké, Grand-Bassam, Korhogo, San-Pédro, Tiassalé et Toulepleu. La plupart de ces dégâts sont causés par le ruissellement des eaux de pluie. Partant, la Côte d'Ivoire reste un pays très vulnérable aux catastrophes naturelles d'origine hydrométéorologiques telles que les inondations (K. M. Traoré, 2023, p. 1). Ces inondations constituent un obstacle majeur au développement économique du pays et à la vie des populations.

Face à ce problème, les solutions pour y faire face se concentrent presque exclusivement sur la gestion des conséquences des inondations. Pourtant, les ressources de la Côte d'Ivoire pour réduire ces risques d'inondations s'avèrent limitées malgré les initiatives de recherches existantes pour étudier et comprendre les événements pluviométriques extrêmes vecteurs d'inondations (L. Konaté *et al.*, 2016 ; G. E. Soro *et al.*, 2016 ; A. M. Kouassi

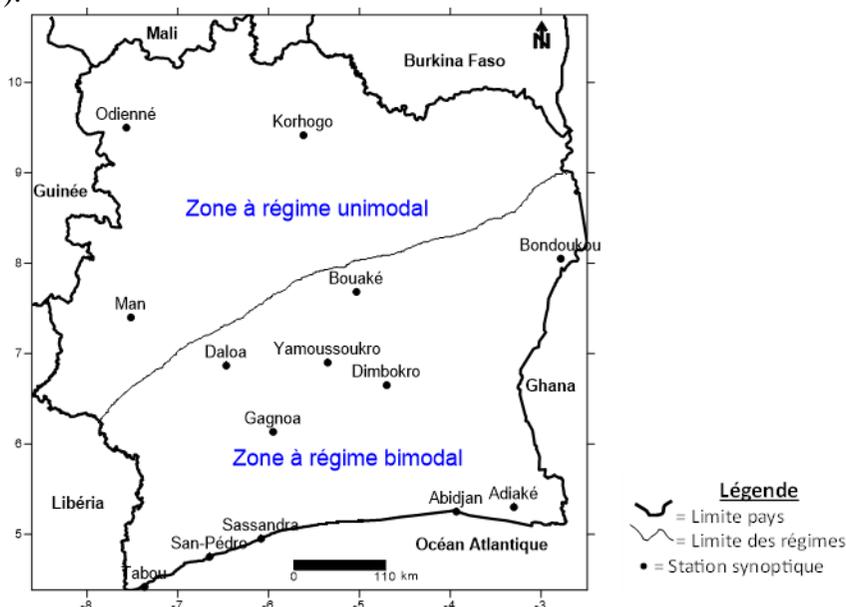
et al., 2018; A. E. L. Eba *et al.*, 2021; B. Diarrassouba *et al.*, 2022; K. M. Traoré, 2023).

Ainsi, vu l'ampleur des récentes inondations pluviales sur l'ensemble du territoire ivoirien, il est nécessaire de poursuivre le développement de stratégies d'adaptation pour les populations face à ce fléau d'origine hydrométéorologique. C'est dans cette optique que la présente étude a pour objectif de contribuer à une meilleure compréhension des risques d'inondations à travers les extrêmes pluviométriques et leurs répartitions en Côte d'Ivoire.

Méthodologie

Présentation de la zone d'étude

Située en Afrique de l'Ouest entre les latitudes 4° et 11° Nord et les longitudes 2° et 9° Ouest, la Côte d'Ivoire couvre une superficie de 322462 km² (Figure 1). Sa population est estimée à 29389150 habitants (INS-RGPH, 2021).



Note: Carte de la Côte d'Ivoire avec les 14 stations synoptiques (ou localités) et les régimes pluviométriques.

Source : Adapté de I. Ndabalishye (1995, p. 47); P. A. Dibi-Anoh et K. A. Coulibaly (2022, p. 136)

Figure 1. Localisation des zones pluviométriques homogènes en Côte d'Ivoire

Le Nord de la Côte d'Ivoire présente un climat tropical subhumide à sec tandis que le Sud enregistre un climat tropical humide (I. Ndabalishye, 1995). Le premier type de climat comporte une saison sèche et une saison pluvieuse centrée sur juillet-août-septembre avec le pic pluviométrique en

août ou en septembre. Le second comprend deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. La première saison humide est plus longue et intense. Elle se situe entre avril et mi-juillet. La deuxième est plus courte et couvre la période allant de septembre à novembre. Chaque saison pluvieuse est suivie par une saison sèche (P. A. Dibi-Anoh et K. A. Coulibaly, 2022, p. 136).

Données

Les données journalières de pluie sur la période 1971-2022 sont collectées à la Direction de la Météorologie Nationale (DMN), située au sein de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) de la Côte d'Ivoire. Ces relevés proviennent des enregistrements effectués dans les 14 stations synoptiques (ou localités) du territoire ivoirien. Ces localités sont listées en suivant le découpage géographique de la Côte d'Ivoire du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Il s'agit de Korhogo, Odienné (zone Nord), Man (zone Ouest), Bondoukou, Bouaké, Daloa (zone Centre), Dimbokro, Yamoussoukro, Gagnoa (zone Sud), Adiaké, Abidjan, Sassandra, San-Pédro et Tabou (zone du littoral). Ces postes sont retenus du fait de la régularité des observations et de leur fonctionnement en continue. De plus, ces stations disposent d'informations régulières et homogènes sur la période d'étude. Toutefois, les données observées par la Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles (CIDT), Ivoire Coton et la Société Sucrière Ivoirienne (Sucrivoire) ont permis de combler les valeurs manquantes entre 2002 et 2017 pour Korhogo, Odienné, Bouaké et Man. Avant la phase de traitement, les données ont été contrôlées afin de s'assurer de leur qualité et homogénéité.

Calcul des probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov

Dans cette étude, un jour est pluvieux lorsque le cumul de pluie est supérieur ou égal à 1 millimètre (mm). En revanche, un jour est sec s'il y a absence de pluie ou si le cumul de pluie est inférieur à 1 mm. Ce seuil permet d'avoir des informations utiles pour les gestionnaires des ressources en eau et les agriculteurs. Ainsi, la persistance des séquences de jours pluvieux est basée sur l'utilisation des chaînes de Markov d'ordre 1 et 2. Cette méthode énonce des probabilités conditionnelles de plusieurs événements et détermine celles d'avoir des jours de pluie sous certaines conditions. Le calcul est basé sur l'application du théorème de Bayes qui est un corollaire du théorème de probabilité totale. Plusieurs auteurs (H. Meddi et M. Meddi, 2009 ; C. S. U. Y. Allé *et al.*, 2013 ; N. H. Meledje *et al.*, 2015; N. Soro *et al.*, 2021) ont montré la possibilité d'utiliser les chaînes de Markov pour l'analyse des jours pluvieux ou secs. Le modèle des chaînes de Markov est un modèle stochastique et itératif. Ce processus exprime des probabilités conditionnelles de passage de l'état d'un ou deux jours précédents à l'état de jour pluvieux en

cours. Ainsi, l'état du jour j ne dépend que de l'état du jour $j - 1$ pour un modèle de Markov d'ordre 1, et des états $j - 1$ ainsi que $j - 2$ pour celui d'ordre 2. Partant, ces modèles sont appliqués aux valeurs pluviométriques journalières de 1971 à 2022 afin de déterminer la probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que l'état du jour précédent ou des deux jours antérieurs est sec ou pluvieux.

Pour un processus d'ordre 1 des chaînes de Markov, la probabilité (P) pour qu'il pleuve le jour dépend de l'état du jour précédant pluvieux (r) ou sec (d) et est notée comme suit :

P_{rr} = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que le jour précédent était pluvieux ;

P_{rd} = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que le jour précédent était sec.

Pour ce qui est du processus d'ordre 2 des chaînes de Markov, la probabilité (P) pour qu'il pleuve le jour dépend de l'état des deux jours précédents et est notée comme suit :

P_{rdd} = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que les deux jours précédents étaient secs ;

P_{rdr} = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que la veille était jour sec et l'avant-veille était jour pluvieux ;

P_{rrd} = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que la veille était jour pluvieux et l'avant-veille était jour sec ;

P_{rrr} = probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que les deux jours précédents étaient pluvieux.

Ces probabilités sont calculées pour chacune des 14 stations (ou localités) avant d'être moyennées par saison pluvieuse et par zone. Au Nord et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, la saison des pluies est centrée sur Juillet-Août-Septembre (JAS) alors qu'au Centre, au Sud et sur le littoral, ce sont Avril-Mai-Juin (AMJ) et Septembre-Octobre-Novembre (SON) qui sont les périodes les plus pluvieuses.

Analyse fréquentielle des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs

La plupart des inondations observées en Côte d'Ivoire sont dues à des pluies diluviennes d'une durée moyenne de un à trois jours consécutifs (L. Konaté *et al.*, 2016). Dans cette situation, les sols sont souvent gorgés d'eau et l'infiltration devient nulle. C'est pour cela que les pluies extrêmes (ou maximales) sur trois jours consécutifs sont calculées de 1971 à 2022 pour chaque localité, puis soumises à une analyse fréquentielle. Ainsi, les taux des années ayant enregistré des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs pour chaque saison et localité sont déterminés. La quantité de pluie cumulée la plus élevée sur les trois jours et la date de son observation sont identifiées. Le but

est de connaître la fréquence des pluies extrêmes des jours consécutifs pendant les saisons pluvieuses en Côte d'Ivoire.

Détermination des durées de retour des pluies extrêmes journalières

Les événements pluviométriques extrêmes sont analysés en se basant sur leurs durées (ou périodes) de retour. La loi de Gumbel par ajustement à la méthode graphique est appliquée aux hauteurs de pluie journalière extrême de 1971 à 2022 pour chaque localité. Le but est de vérifier si les épisodes pluvieux, sources d'inondations en Côte d'Ivoire, pourraient être qualifiés d'extrêmes ou non. La durée de retour caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée. La fonction de répartition de la loi de Gumbel se définit comme suit :

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left(-\frac{x-a}{b} \right) \right]$$

avec la variable réduite $u = \frac{x-a}{b}$

a et b sont les paramètres du modèle de Gumbel.

La fonction de distribution devient alors $F(x) = \exp(-\exp(-u))$ et $u = -\ln(-\ln F(x))$.

La durée de retour d'un événement (T) est définie comme étant l'inverse de la probabilité annuelle de dépassement de cet événement :

$$T = \frac{1}{1 - F(x_i)}$$

avec $F(x_i) = \frac{r-0,5}{n}$ et $r = \text{rang}$; $n = \text{taille de l'échantillon considéré}$.

Selon H. Hangnon *et al.* (2015, p. 498) et A. M. Kouassi *et al.* (2018, p. 153), un événement pluvieux est qualifié de « très exceptionnel » si T est supérieure à 100 ans; de « exceptionnel » si T est comprise entre 30 et 100 ans; de « très anormal » si T se situe entre 10 et 30 ans; de « anormal » si T oscille entre 6 et 10 ans, et de « normal » si T est moins de 6 ans.

La mise en œuvre des méthodes des chaînes de Markov, de l'analyse fréquentielle des pluies extrêmes et de la détermination de leurs durées de retour, a permis d'obtenir les résultats. Ils sont présentés et discutés.

Résultats et discussion

Probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 1 et 2

Les probabilités saisonnières de jour de pluie après un jour pluvieux ou sec selon les chaînes de Markov d'ordre 1 sont illustrées dans le tableau 1.

Tableau 1. Probabilités saisonnières de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 1 en Côte d'Ivoire

Zone	Localité	Avril-Mai-Juin (AMJ)		Juillet-Août-Septembre (JAS)		Septembre-Octobre-Novembre (SON)	
		<i>Prd</i>	<i>Prr</i>	<i>Prd</i>	<i>Prr</i>	<i>Prd</i>	<i>Prr</i>
Nord et Ouest	Korhogo	0,29	0,29	0,43	0,42	0,28	0,36
	Odienné	0,33	0,32	0,56	0,54	0,35	0,39
	Man	0,33	0,36	0,39	0,56	0,30	0,43
	Moyenne	0,32	0,32	0,46	0,51	0,31	0,39
Centre	Bondoukou	0,29	0,29	0,27	0,35	0,27	0,37
	Bouaké	0,30	0,33	0,26	0,37	0,23	0,35
	Daloa	0,31	0,32	0,30	0,46	0,28	0,41
	Moyenne	0,30	0,31	0,28	0,39	0,26	0,38
Sud	Dimbokro	0,32	0,34	0,22	0,37	0,25	0,32
	Yamoussoukro	0,32	0,35	0,24	0,40	0,26	0,38
	Gagnoa	0,41	0,43	0,26	0,43	0,34	0,42
	Moyenne	0,35	0,37	0,24	0,40	0,28	0,37
Littoral	Adiaké	0,41	0,47	0,24	0,45	0,33	0,45
	Abidjan	0,37	0,47	0,15	0,35	0,26	0,42
	Sassandra	0,33	0,47	0,15	0,39	0,23	0,38
	San-Pédro	0,33	0,47	0,19	0,45	0,27	0,44
	Tabou	0,36	0,53	0,32	0,64	0,36	0,59
	Moyenne	0,36	0,48	0,21	0,46	0,29	0,46

Note: Valeurs des probabilités de jour pluvieux par localité et par zone selon les saisons pluvieuses. Source: Nos traitements (2023)

Au Nord et Ouest de la Côte d'Ivoire, en début (AMJ) et fin (SON) de saison pluvieuse, les probabilités de jour de pluie (*Prd, Prr*) varient en moyenne entre 0,31 et 0,39. Elles sont élevées en pleine saison pluvieuse (JAS). Pendant cette période, les *Prd* et *Prr* oscillent entre 0,46 et 0,51. Cependant, elles peuvent atteindre 0,56 à Odienné et à Man. En général, les probabilités des localités de Man et d'Odienné situées au Nord-Ouest sont plus élevées que celles de Korhogo située au Nord de la Côte d'Ivoire. Cette différence peut s'expliquer par l'effet du relief montagneux au Nord-Ouest ivoirien qui créé un microclimat plus humide. De plus, le régime pluviométrique de Korhogo est similaire à celui des pays sahéliens de l'Afrique de l'Ouest avec une pluviométrie influencée par les mouvements Nord-Sud de la zone de convergence intertropicale avec un fort gradient Nord-Sud de pluviosité selon J. L. Redelsperger *et al.* (2006).

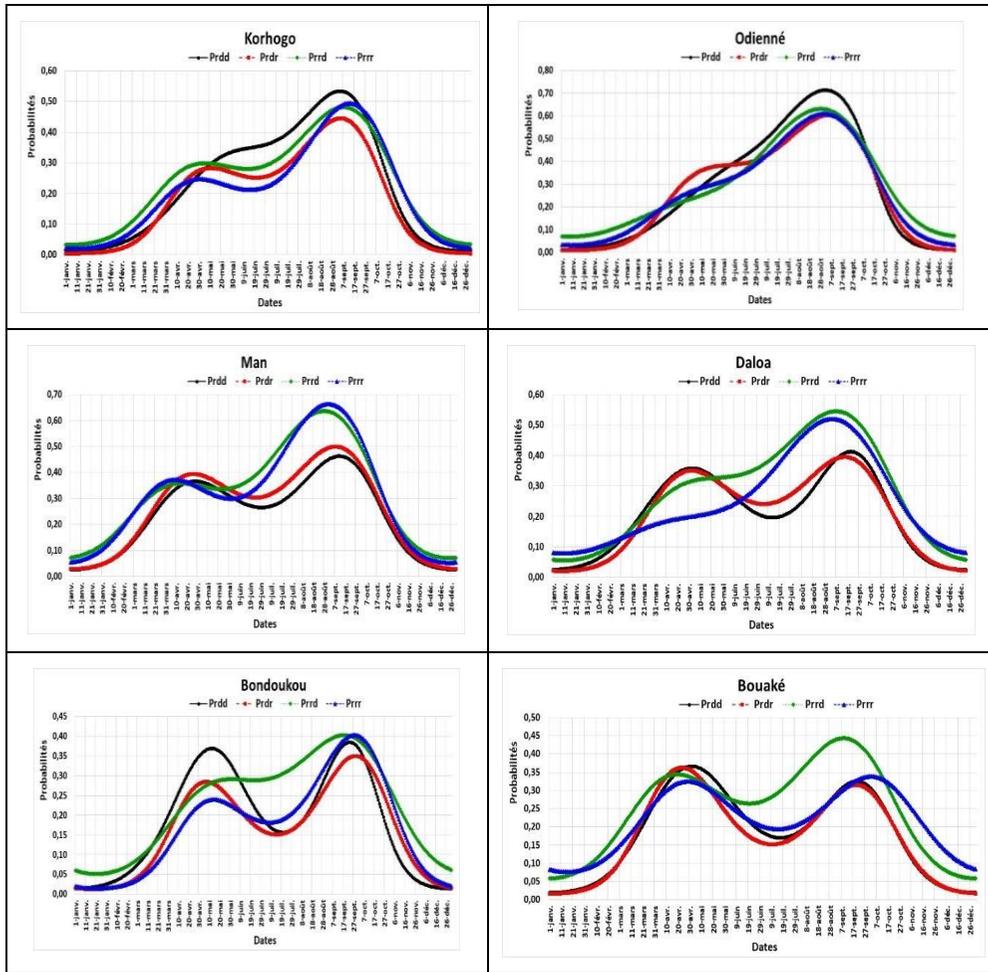
Au Centre de la Côte d'Ivoire, les probabilités de jour pluvieux (*Prd, Prr*) d'AMJ sont relativement identiques en moyenne autour de 0,30. Au cours des périodes JAS et SON, les *Prr* sont en moyenne 0,38 alors que les *Prd* fluctuent entre 0,26 et 0,28. La ville de Daloa enregistre les plus fortes

probabilités jusqu'à 0,46 en JAS et 0,41 en SON pour ce qui est des *Prr*. Les plus faibles probabilités (*Prd*, *Prr*) sont observées à Bondoukou et à Bouaké. La constance des probabilités de jour pluvieux au Centre de la Côte d'Ivoire sur AMJ, JAS et SON entre 0,26 et 0,38 signale le caractère transitoire de cette zone entre le régime pluviométrique bimodal et unimodal.

Au Sud ivoirien, les probabilités de jour pluvieux (*Prd*, *Prr*) sont plus élevées que celles du Centre au cours d'AMJ. Elles varient entre 0,35 et 0,37. En JAS, les probabilités oscillent entre 0,24 et 0,40 alors qu'en SON, elles fluctuent entre 0,28 et 0,37. Pour les trois périodes, les plus fortes probabilités sont enregistrées à Gagnoa (0,43 pour *Prr* en AMJ et JAS) tandis que les plus faibles sont à Dimbokro (0,22 pour *Prd* en JAS).

Sur le littoral de la Côte d'Ivoire, les probabilités de jour pluvieux (*Prd*, *Prr*) sont plus importantes en AMJ et SON qu'en JAS. Elles varient entre 0,36 et 0,48 pour AMJ et entre 0,29 et 0,46 pour SON. Ces deux périodes enregistrent le plus de pluie dans l'année sur le littoral. La ville de Tabou située dans l'extrême Sud-Ouest ivoirien enregistre les plus fortes probabilités jusqu'à 0,59 en SON pour les *Prr*.

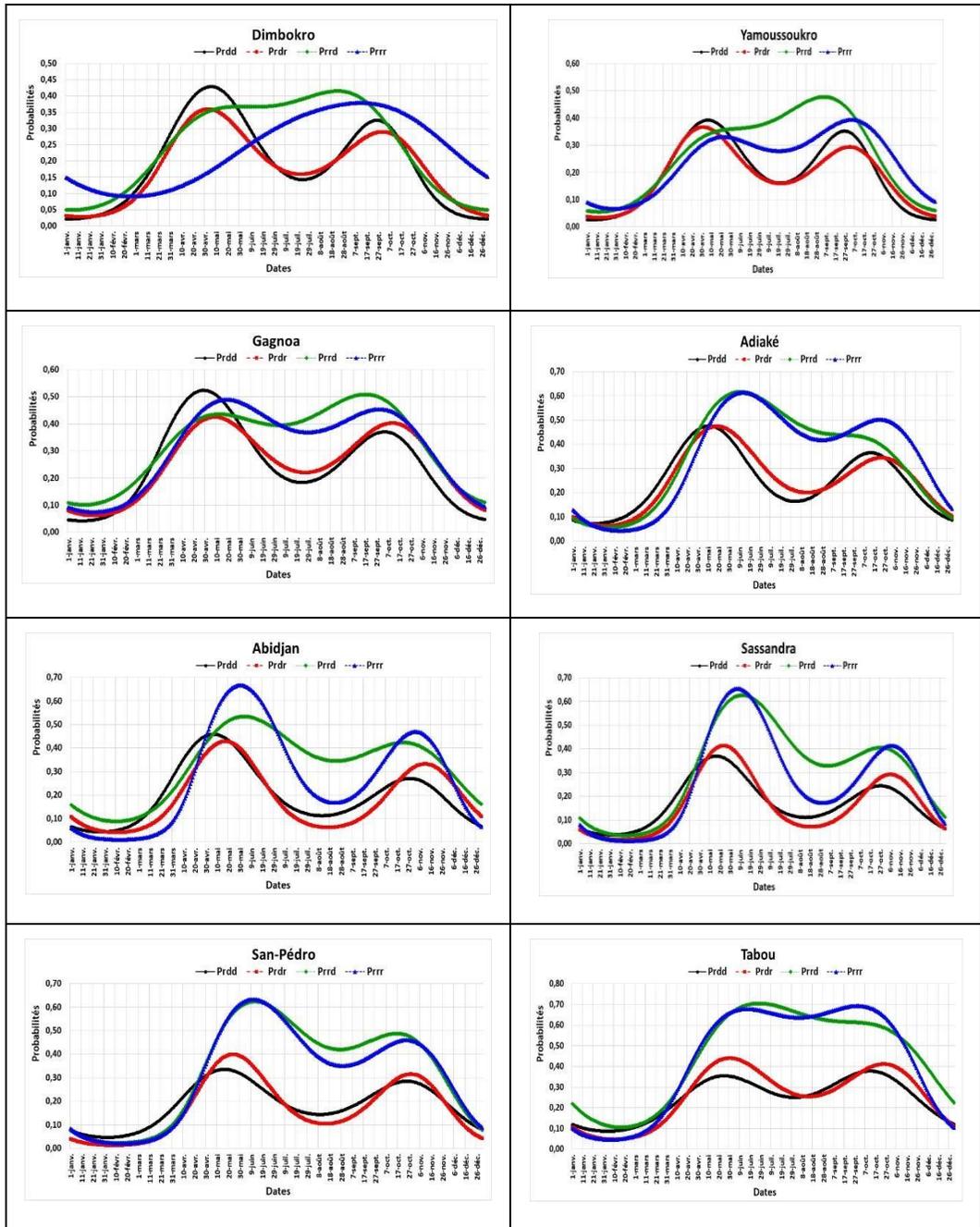
Ainsi, au cours des périodes AMJ, JAS et SON, la probabilité de jour pluvieux précédé d'un jour de pluie (*Prr*) est généralement supérieure à celle précédée d'un jour sec (*Prd*) dans toutes les zones de la Côte d'Ivoire. De plus, les probabilités (*Prd*, *Prr*) de la période AMJ du Nord, de l'Ouest, du Centre et du Sud fluctuent entre 0,30 et 0,37 à l'exception du littoral où elles sont élevées. Cela signifie qu'en début de saison des pluies, la probabilité de jour pluvieux est indépendante de l'état du jour précédent. En effet, le démarrage de la saison des pluies en Côte d'Ivoire se caractérise par l'entrée progressive des vents de mousson sur le continent du Sud vers le Nord suivant le mouvement de la zone de convergence intertropicale en Afrique de l'Ouest avec un saut au mois de juin tel que montré par B. Sultan et S. Janicot (2003). Par ailleurs, les *Prr* de la saison AMJ du littoral ivoirien sont plus importantes que celles des autres zones. Cela révèle que la période AMJ est plus pluvieuse et donc plus sujette à une récurrence des épisodes d'inondations au cours de ces dernières années sur le littoral ivoirien. A cet effet, L. Konaté *et al.* (2016) et B. Diarrassouba *et al.* (2022) ont souligné que les villes d'Abidjan et de San-Pédro sont exposées à des risques d'inondations. Cette catastrophe apparaît le plus souvent au cours de la période AMJ qui concentre plus de 51 % des cumuls pluviométriques annuels sur le littoral selon K. A. Coulibaly *et al.* (2019a). Les risques d'inondations augmentent lorsque les pluies continuent sur plus de deux jours. Partant, les résultats issus du processus des chaînes de Markov d'ordre 2 illustrés dans les figures 2 et 3 indiquent les probabilités des jours pluvieux selon l'état des deux jours précédents.



Note: Evolution journalière des probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 2.

Source: Nos traitements (2023)

Figure 2. Evolution des probabilités journalières de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 2 dans les localités du Nord, du Centre et de l'Ouest de la Côte d'Ivoire



Note: Evolution journalière des probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 2.

Source: Nos traitements (2023)

Figure 3. Evolution des probabilités journalières de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 2 au Sud et sur le littoral de la Côte d'Ivoire

Dans le Nord ivoirien (Korhogo et Odienné), en pleine saison des pluies (JAS), les probabilités de jour pluvieux varient en moyenne entre 0,40 et 0,70 quel que soit l'état des jours précédents. En général, les probabilités de jour pluvieux sont relativement identiques. Cependant, les *Prdd* sont légèrement supérieures aux *Prdr*, *Prrd* et *Prrr*. Cela démontre que les probabilités de jour pluvieux sont indépendantes de l'état des deux jours précédents. Ceci explique le caractère aléatoire des jours pluvieux au Nord de la Côte d'Ivoire où le régime pluviométrique est unimodal. Cette situation accentue la baisse des jours de pluie et par conséquent des quantités pluviométriques annuelles. Ce résultat est conforme à celui de K. A. Coulibaly *et al.* (2019b) qui ont montré une baisse du nombre de jours de pluie en relation avec les cumuls pluviométriques saisonniers en Côte d'Ivoire et particulièrement au Nord sur la période allant de 1951 à 2017.

A Man (Ouest de la Côte d'Ivoire) et dans les localités du Centre, du Sud et du littoral ivoiriens, les *Prrd* et *Prrr* sont supérieures aux *Prdd* et *Prdr* avec un écart très important pour les localités du littoral. Au Centre et au Sud ivoiriens, en moyenne, les *Prrd* et *Prrr* oscillent entre 0,31 et 0,38 pour la première saison des pluies (AMJ) et entre 0,32 à 0,42 pour la deuxième (SON). Sur le littoral ivoirien, elles sont en moyenne de 0,49 pour la période AMJ et de 0,54 pour SON. Ces résultats indiquent qu'il y a plus de chance qu'il pleuve après au moins un jour pluvieux au Centre, au Sud et sur le littoral de la Côte d'Ivoire.

En somme, les probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov d'ordre 2 sont supérieures à celles d'ordre 1. Cela indique qu'en Côte d'Ivoire, il y a plus de chance qu'il pleuve connaissant l'état des deux jours précédents. Par ailleurs, les probabilités de jour pluvieux sont plus élevées au Nord et sur le littoral que dans le Centre et le Sud ivoiriens. Il est plus probable qu'il pleuve après deux jours secs au Nord ivoirien à régime pluviométrique unimodal alors qu'au Centre, au Sud et sur le littoral à régime bimodal, c'est plutôt si un ou deux jours précédents sont pluvieux. Ainsi, l'analyse des probabilités de jour pluvieux selon les chaînes de Markov montrent que les localités peuvent être regroupées en trois zones qui varient selon les latitudes en Côte d'Ivoire : fortes probabilités au Nord et sur le littoral, et faibles probabilités au Centre et au Sud. Ces variations de probabilités s'alignent sur les régimes pluviométriques en Côte d'Ivoire. Ces résultats sont conformes à ceux de G. Samba et M. Mpounza (2005) qui ont montré que les valeurs des probabilités des jours pluvieux selon le caractère de la veille opposent deux domaines principaux à savoir le Sud (tropical humide) et le Nord (équatorial).

L'analyse des probabilités de jour pluvieux a révélé qu'elles sont élevées pendant les saisons pluvieuses et faibles en saisons sèches (inférieures à 0,1). Ainsi, les fortes pluies qui en résultent sur des jours consécutifs peuvent être à l'origine de risques d'inondations en Côte d'Ivoire. C'est pour cela

qu'une analyse fréquentielle des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs pendant les saisons pluvieuses est nécessaire.

Fréquences des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs

Le tableau 2 présente les statistiques des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs pour les différentes saisons pluvieuses en Côte d'Ivoire.

Tableau 2. Statistiques des pluies extrêmes sur trois jours consécutifs en Côte d'Ivoire

Zone	Localité	Avril-Mai-juin (AMJ)		Juillet-Août-Septembre (JAS)		Septembre-Octobre-Novembre (SON)	
		Taux d'années (%)	Pluie extrême Date	Taux d'années (%)	Pluie extrême Date	Taux d'années (%)	Pluie extrême Date
Nord et Ouest	Korhogo	17,6	109,2 mm 11 avril 1998	74,5	217,3 mm 16 août 2014	23,5	152,7 mm 10 septembre 1986
	Odienné	11,5	145,6 mm 13 mai 1978	84,6	189,8 mm 06 août 1982	9,6	140,2 mm 13 septembre 1975
	Man	28,8	177,3 mm 10 avril 1994	65,4	200,2 mm 25 septembre 2013	30,8	200,2 mm 25 septembre 2013
Centre	Bondoukou	40,4	153,6 mm 22 mai 2022	40,4	191,5 mm 16 septembre 2021	26,9	191,5 mm 16 septembre 2021
	Bouaké	38,5	163,6 mm 03 juin 1972	36,5	159,3 mm 24 août 2018	23,1	142,3 mm 09 octobre 2016
	Daloa	26,9	138,5 mm 19 juin 2018	58,3	172,8 mm 24 août 1973	26,9	136,1 mm 08 octobre 1995
Sud	Dimbokro	57,7	151,9 mm 25 mai 1991	21,2	120,7 mm 26 septembre 2021	25,0	149,2 mm 11 octobre 1994
	Yamoussoukro	47,9	159,6 mm 04 mai 1995	33,3	165,8 mm 27 septembre 2005	29,2	165,8 mm 27 septembre 2005
	Gagnoa	48,1	163,6 mm 1 ^{er} mai 2014	30,8	164,4 mm 22 juillet 2007	32,7	147,9 mm 26 septembre 2005
Littoral	Adiaké	69,2	381,2 mm	23,1	268,9 mm 08 juillet 2022	9,6	235,6 mm 05 octobre 2007

		05 juin 1997					
Abidjan	73,1	337,4 mm 20 juin 1983	17,3	280,7 mm 05 juillet 1975	13,5	266,9 mm 24 octobre 1992	
Sassandra	76,9	570,4 mm 13 juin 2017	9,6	240 mm 09 juillet 1989	11,5	180,1 mm 10 octobre 1993	
San-Pédro	67,3	303,4 mm 29 mai 1982	9,6	275,8 mm 06 juillet 1989	9,6	228,2 mm 28 octobre 1987	
Tabou	61,5	422,3 mm 25 mai 1983	28,8	469,7 mm 06 juillet 1984	17,3	247,9 mm 27 septembre 2008	

Note: Ce tableau résume pour chaque localité le taux des années ayant enregistré des pluies extrêmes, la plus forte valeur et la date de son occurrence. Les valeurs en gras représentent le taux d'années le plus élevé par localité.

Source: Nos traitements (2023); données SODEXAM

Au Nord et à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, la période JAS enregistre le plus d'années où les pluies extrêmes sont observées. Le taux d'occurrence varie entre 64,4 et 84,6 %. Les fortes pluies de 189,8 à 217,3 mm sont enregistrées entre juillet et septembre. Les périodes AMJ et SON enregistrent moins d'années ayant observées des pluies extrêmes. Leurs taux varient entre 11,5 et 28,8 % pour AMJ et entre 9,6 et 30,8 % pour SON.

Dans le Centre et le Sud ivoiriens, les pluies extrêmes sont observées sur les périodes AMJ, JAS et SON. Le taux d'années de ces pluies pour AMJ varie entre 26,9 et 57,7 %, alors qu'il est de 21,2 à 58,3 % pour JAS et de 23,1 à 32,7 % pendant la période SON. Les pluies extrêmes oscillent entre 120,7 et 191,5 mm et s'observent en mai-juin ou en août-septembre, et quelque fois en octobre. Ainsi, au Centre et au Sud de la Côte d'Ivoire, les extrêmes pluviométriques occasionnant des risques d'inondations, surviennent entre avril et novembre avec une fréquence élevée pendant les mois de mai, juin, août et septembre.

Sur le littoral de la Côte d'Ivoire, AMJ concentre entre 60 et 77 % des évènements pluvieux extrêmes pouvant atteindre 300 à 570 mm sur trois jours consécutifs pendant les mois de mai et juin. Les périodes JAS et SON enregistrent également de fortes pluies entre 180 et 469 mm en juillet ou en octobre, bien que le taux d'années d'évènements extrêmes soit faible et inférieur à 29 %. Malgré le fort taux d'années à pluie extrême enregistré en AMJ, le risque d'inondation couvre les périodes allant d'avril à novembre sur le littoral ivoirien.

Il ressort de cette analyse qu’au Nord et à l’Ouest de la Côte d’Ivoire, les pluies extrêmes sur trois jours consécutifs s’observent en JAS avec le pic en août-septembre. Dans le Centre et le Sud, les pluies extrêmes sont récurrentes de mai à octobre alors que sur le littoral, AMJ enregistre le plus d’évènements pluvieux avec une extension de l’occurrence en juillet, septembre et octobre. De plus, les pluies extrêmes sur trois jours consécutifs observées pendant les périodes pluvieuses sont apparues dans la plupart des cas après les années 1990. Cela concerne 64 % des localités pendant AMJ, 57 % en JAS et 71 % en SON. Ces résultats corroborent ceux du GIEC (2014) qui a indiqué qu’avec le réchauffement climatique, les extrêmes climatiques telles que les inondations et les sécheresses vont se multiplier et devenir plus violents.

A l’échelle de la Côte d’Ivoire, les fortes pluies extrêmes journalières sont observées sur le littoral ivoirien entre avril-mai-juin par rapport au Nord-Ouest, au Centre et au Sud. Ce qui fait que les localités du littoral sont plus vulnérables aux risques d’inondations même si aucune région de la Côte d’Ivoire n’est exempte de cette catastrophe naturelle. G. E. Soro *et al.* (2016) ont corroboré ce résultat en indiquant que les pluies journalières centennales et décennales avec les plus fortes valeurs se trouvent surtout sur le littoral, dans la zone montagneuse à l’extrême Ouest, et au Centre-Ouest de la Côte d’Ivoire. Les quantités de pluie de plus de 100 mm accentuent le risque d’inondations en Côte d’Ivoire. La détermination de la durée de retour de ces quantités de pluie extrême est importante pour connaître leur qualification.

Durées de retour des pluies extrêmes journalières

Les durées de retour des pluies extrêmes journalières en Côte d’Ivoire sont calculées. Les quantités quotidiennes pour chaque période de retour sont illustrées dans le tableau 3.

Tableau 3. Quantités de pluie extrême journalière et leur durée de retour en Côte d’Ivoire

Zone	Localité	Durée de retour et caractérisation des pluies extrêmes journalières (mm)								
		Normale		Anormale		Très anormale		Exceptionnelle		Très exceptionnelle
		2 ans	6 ans	7 ans	10 ans	11 ans	30 ans	31 ans	100 ans	101 ans
Nord et Ouest	Korhogo	68,8	94,6	97,8	105,2	107,1	127,1	127,8	150,6	150,8
	Odienné	69,5	93,1	96,1	102,8	104,6	122,8	123,4	144,3	144,5
Centre	Man	78,4	102,5	105,6	112,4	114,2	132,9	133,5	154,9	155,0
	Bondoukou	70,1	97,3	100,8	108,5	110,6	131,7	132,4	156,5	156,7
	Bouaké	68,3	89,5	92,2	98,2	99,8	116,3	116,8	135,6	135,8
Sud	Daloa	77,3	99,3	102,1	108,4	110,0	127,1	127,6	147,1	147,3
	Dimbokro	72,8	94,7	97,4	103,7	105,3	122,2	122,8	142,1	142,3
	Yamoussoukro	75,8	98,7	101,6	108,1	109,8	127,6	128,1	148,4	148,6
	Gagnoa	77,8	105,1	108,5	116,3	118,3	139,5	140,1	164,3	164,5

	Adiaké	116,9	165,9	172,0	186,0	189,7	227,5	228,8	272,1	272,5
	Abidjan	124,0	168,4	174,0	186,6	189,9	224,3	225,4	264,6	265,0
Littoral	Sassandra	113,3	162,0	168,1	182,0	185,7	223,4	224,7	267,8	268,2
	San-Pédro	116,2	151,7	156,2	166,3	169,0	196,5	197,4	228,9	229,2
	Tabou	153,4	208,8	215,7	231,5	235,7	278,6	279,9	329,0	329,4

Note: Ce tableau résume les quantités calculées de pluie extrême selon les durées de retour et leur qualification.

Source: Nos traitements (2023)

L'analyse des durées de retour montre que les quantités de pluie extrême journalière inférieures à 100 mm sont normales au Nord, au Centre et au Sud de la Côte d'Ivoire. Leurs durées de retour sont moins de six ans. Les quantités de pluie supérieures à 100 mm ont une durée de retour moyenne de sept à dix ans et sont qualifiées de pluies anormales. Les pluies deviennent exceptionnelles lorsqu'elles dépassent en moyenne 110 à 120 mm sauf à Man et Gagnoa où les seuils se situent à environ 130 à 140 mm. Selon K. N. Boko *et al.* (2013), les enregistrements du Bureau de la coordination des affaires humanitaires des Nations Unies (OCHA) indiquent des cas d'inondation dans le Nord de la Côte d'Ivoire, notamment à Korhogo en 2006 et 2007 où de nombreux dégâts matériels et humains, ainsi que des destructions d'infrastructures routières ont été signalés. Les quantités de pluie extrême journalière sur trois jours consécutifs observées à la station synoptique de Korhogo étaient de 55,9 mm le 23 septembre 2006 et de 58,6 mm le 23 juillet 2007 selon les relevés de la Société d'exploitation et de développement Aéroportuaire, aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Ainsi, ce sont des pluies normales avec une durée de retour inférieure à six ans qui ont causées ces dégâts en 2006 et 2007.

Sur le littoral ivoirien, les quantités de pluie sont élevées. Seules, les valeurs de plus de 220 mm sont considérées comme des pluies exceptionnelles sauf à San-Pédro où le seuil est d'environ 197 mm. Ainsi, les quantités de pluie enregistrées dans les communes du District Autonome d'Abidjan le 19 juin 2018 ont fait de nombreux dégâts matériels et humains selon les rapports de l'Office National de la Protection Civile et de RCI (2019). Ces cumuls pluviométriques ont varié entre 130 et 302 mm comme indiqué par la SODEXAM (2019). Partant, ce sont des pluies normales à l'exception de la quantité de pluie de 302 mm enregistrée dans la commune de Cocody qui a été très exceptionnelle avec une durée de retour de plus de 100 ans. Par ailleurs, au cours de ces dernières années, les cas d'inondations enregistrés en Côte d'Ivoire, notamment à Abidjan, Aboisso, San-Pédro, Bouaké et Toulepleu, sont survenues avec des pluies journalières inférieures à 150 mm. Sur le littoral, ce sont des pluies normales car les durées de retour restent inférieures à six ans. Ces résultats sont conformes avec ceux de K. M. Kouassi *et al.* (2021) qui ont montré que le seuil de pluie normale dans le bassin de la Bia au

Sud-Est de la Côte d'Ivoire est de 103 mm malgré les cas d'inondations enregistrés dans la région entre 2001 et 2015. De plus, ces auteurs ont utilisé des données de 1941 à 2000. Par conséquent, la présente étude allant de 1971 à 2022 est une actualisation des études antérieures.

Il ressort donc que les inondations enregistrées en Côte d'Ivoire sont occasionnées par des pluies normales, anormales et quelques rares fois exceptionnelles. Partant, ces inondations ne sont pas le fait seulement d'extrême pluviométrique. Des facteurs environnementaux et humains comme l'occupation du sol (constructions anarchiques), la topographie, l'obstruction des voies d'eau pluviale peuvent également en être des causes. H. Hangnon *et al.* (2015) ont abouti à des conclusions similaires à Ouagadougou (Burkina Faso) en indiquant que l'urbanisation mal maîtrisée et l'accroissement de la population augmentent la vulnérabilité de la ville aux risques d'inondations.

Conclusion

Cette étude a permis, à travers l'utilisation de méthodes statistiques d'analyse des pluies journalières, de montrer la relation entre la persistance des séquences pluvieuses et les extrêmes pluviométriques qui sont à la base des risques d'inondations en Côte d'Ivoire. En effet, pendant les saisons des pluies, la probabilité pour qu'il pleuve est liée à l'état d'un ou des deux jours précédents. La succession des jours pluvieux constitue des moments de vigilance et de veille pour la population. En effet, les sols se saturent rapidement d'eau, entraînant ainsi une accélération du ruissellement des eaux pluviales et les risques d'inondations. Les pluies exceptionnelles sont des causes de la survenue des inondations en Côte d'Ivoire. Cependant, les pluies normales à durée de retour inférieure à six ans occasionnent des risques d'inondations pendant les saisons pluvieuses. Les périodes Avril-Mai-Juin, Juillet-Août-Septembre et Septembre-Octobre-Novembre concentrent les pluies extrêmes journalières respectivement sur le littoral et Sud, le Centre et le Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. Les décideurs et autres acteurs en charge de la réduction des risques de catastrophes pourront exploiter ces résultats pour approfondir les connaissances sur les séquences pluvieuses et les extrêmes pluviométriques occasionnant les risques d'inondations. De plus, les plans stratégiques de prévention et de gestion des risques d'inondations pourront être actualisés à l'échelle de la Côte d'Ivoire dans ce contexte mondial de changement climatique.

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement la Direction de la Météorologie Nationale sise à la Société d'Exploitation et de développement Aéroportuaire aéronautique et Météorologique (SODEXAM) de Côte d'Ivoire pour la mise

à disposition des données pluviométriques journalières des 14 stations synoptiques de 1971 à 2022.

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 la réalisation de cette recherche.

Conflit d'intérêts: Les auteurs signalent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts pour cette étude.

Références:

1. ALLÉ C. S. Ulrich Y., AFOUDA A. Abel, AGBOSSOU K. Euloge, & GUIBERT Hervet (2013). Évolution des Descripteurs Intrasaisonniers des Saisons Pluvieuses Au sud-Bénin Entre 1951 et 2010. *American Journal of Scientific Research*, Issue 94, November 2013, pp. 55-68.
2. BOKO Koiadia Nadège, CISSÉ Guéladio, KONÉ Brama, & DEDY Séri (2013). Variabilité climatique et changements dans l'environnement à Korhogo en Côte d'Ivoire : mythes ou réalité? *Conférence internationale Africa 2013 sur l'Ecosanté*, 15p.
3. COULIBALY Kolotioloma Alama, DIBI-KANGAH Pauline Agoh, DJÈ Kouakou Bernard, & KOLI Bi Zuéli (2019a). Détection de structures pluviométriques spatio-temporelles homogènes en Côte d'Ivoire sur la période 1951-2017. *Revue de Géographie, d'Aménagement Régional et de développement des Suds (Regardsuds)*. Abidjan, Côte d'Ivoire, pp. 49-64.
4. COULIBALY Kolotioloma Alama, DIBI-KANGAH Pauline Agoh, & KOLI Bi Zuéli (2019b). Variations interannuelles récentes des paramètres climatiques majeurs en Côte d'Ivoire depuis 1951. *Climat et Développement*, N°26, Cotonou, Bénin, pp. 5-16.
5. DIARRASSOUBA Bazoumana, YAPI Atsé Calvin, & KOUADIO Williams Abel (2022). Occupation des Zones à Risques à San-Pedro (Côte d'Ivoire): Entre Laxisme des Autorités et Insouciance des Populations. *European Scientific Journal (ESJ)*, 18 (26), pp. 46-69. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n26p46>.
6. DIBI-ANO H Pauline Agoh, & COULIBALY Kolotioloma Alama, (2022). Services climatiques et agriculture durable en Côte d'Ivoire. *Collection FLE/FLA*. Décembre 2022, pp. 131-144.
7. EBA Anowa Evrade Larissa, AKE Gabriel Etienne, GOUADOU D'Avila Françoise, & JOURDA Jeanpatrice (2021). Evaluation de la Vulnérabilité à l'Inondation des Communes à Proximité des Grandes

- Villes Ouest Africaines : Cas de la Commune de Bingerville (Est d'Abidjan - Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal (ESJ)*, 17(14), pp. 277-299. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n14p277>.
8. GIEC, Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (2014). *Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R. K. Pachauri et L. A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161p.
 9. HANGNON H., DE LONGUEVILLE F., & OZER P. (2015). Précipitations extrêmes et inondations à Ouagadougou : quand le développement urbain est mal maîtrisé. *XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, 1-4 juillet 2015, Liège, pp. 497-502.
 10. INS-RGPH, Institut National de la Statistique-Recensement Général de la Population et de l'Habitat (2021). *RGPH 2021-Résultats globaux*, Abidjan, Côte d'Ivoire, 37p.
 11. KONATÉ Lassina, KOUADIO Boyossoro Hélène, DJÈ Bernard Kouakou, AKÉ Gabriel Etienne, N'GUESSAN Bi Vami Herman, GNAGNE Lornge, KOUAMÉ ÈMoïse Koffi, & BIÉMI Jean (2016). Caractérisation des pluies journalières intenses et récurrences des inondations: apport des totaux glissants trois (3) jours à la détermination d'une quantité seuil d'inondation (District d'Abidjan au Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 17 No. 3 Aug. 2016, pp. 990-1003.
 12. KOUASSI Amani Michel, NASSA Relwindé Abdoul-Karim, YAO Koffi Blaise, KOUAMÉ Koffi Fernand, & BIÉMI Jean (2018). Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 31(2), pp. 147-160. <https://doi.org/10.7202/1051697ar>.
 13. KOUASSI K. Maturin, MELEDJE N. Herman, AHOUSSE K. Ernest, KOUASSI K. Lazare, KOFFI Y. Blaise, OGA Y. Marie Solange, BIÉMI Jean, & SORO Nagnin (2021). Nature des événements pluviométriques sur le bassin versant de la rivière Bia en Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 34 No 1, Oct. 2021, pp. 1-6.
 14. MEDDI Hind, & MEDDI Mohamed (2009). Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, vol. 20, n° 1, janvier-février-mars 2009, pp. 57-65.
 15. MELEDJE N'Diaye Hermann, KOUASSI Kouakou Lazare, N'GO Yao Alexis, & SAVANÉ Issiaka (2015). Caractérisation des

- occurrences de sécheresse dans le bassin hydrologique de la Bia transfrontalier entre la Côte d'Ivoire et le Ghana : contribution des chaînes de Markov. *Cah. Agric*, Vol. 24, pp. 186-197. doi : 10.1684/agr.2015.0755.
16. NDABALISHYE Ildefonse (1995). *Agriculture vivrière ouest-africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire*. IDESA, Abidjan, Côte d'Ivoire, 383p.
 17. RCI, République de Côte d'Ivoire (2019). *Évaluation des pertes, dommages et besoins suite aux inondations de juin 2018 à Abidjan*. Côte d'Ivoire, Abidjan, Avril 2019, 220p.
 18. REDELSPERGER Jean-Luc, DIEDHIOU A., FLAMANT C., JANICOT S., LAFORE J.-P., LEBEL T., POLCHER J., BOURLES B., CANIAUX G., DE ROSNAY P., DESBOIS M., EYMARD L., FONTAINE B., GENEAU I., GINOUX K., HOEPFFNER M., KANE C., LAW K., MARI C., MARTICORENA B., MOUGIN E., PELON J., PEUGEOT C., *et al.* (2006). Amma, une étude multidisciplinaire de la mousson ouest-africaine. *La Météorologie* - n° 54 - août 2006, pp. 22-32.
 19. SAMBA Gaston, & MPOUNZA Marcel (2005). Application du processus de Markov sur les occurrences des précipitations journalières au Congo-Brazzaville. *Comptes Rendus Geoscience*, Volume 337, Issue 15, pp. 1355-1364.
 20. SODEXAM, Société D'EXploitation et de développement Aéroportuaire, aéronautique et Météorologique, (2019). *État du climat de l'année 2018 en Côte d'Ivoire*. Abidjan, Février 2019, Côte d'Ivoire, 64p.
 21. SORO Gneneyougo Émile, DAO Amidou, FADIKA Vamoryba, GOULA Bi Tié Albert, & SROHOROU Bernard (2016). Estimation des pluies journalières extrêmes supérieures à un seuil en climat tropical : cas de la Côte d'Ivoire. *Physio-Géo* (En ligne), Volume 10, mis en ligne le 19 août 2016, consulté le 15 septembre 2023.
 22. SORO Nambegue, ZEHE Frank Monnean, & SROHOUROU Bernard (2021). Variation des probabilités d'occurrence des séquences sèches dans la bande centrale de la Côte d'Ivoire au cours d'une saison pluvieuse : cas du département de Bouaké (Centre de la Côte d'Ivoire). *GENERIS Publishing (Changement Climatique en Afrique Subsaharienne : de la Vulnérabilité à l'Adaptation)*, pp. 80-90.
 23. SULTAN Benjamin, & JANICOT Serge (2003). The West African monsoon dynamics. Part II: The pre-onset and the onset of the summer monsoon. *J. Climate*, 16, pp. 3407-3427.
 24. TRAORE Kinakpefan Michel (2023). Évaluation du risque d'inondation par intégration du SAGA Wetness Index (SAGAWI) et

de l'Analyse Hiérarchique des Procédés (AHP) : cas du District Autonome d'Abidjan. *Belgeo*, 1, 2023, consulté le 12 janvier 2024, 24p, DOI : <https://doi.org/10.4000/belgeo.60310>.

Deferrisation Physicochimique des eaux Souterraines: Revue

Benjamain Tiadjoue

Louis Monkam

Jacques Sylvain Mbemmo Fotso

Laboratoire des Technologies et Sciences Appliquées (LTSA)
Université de Douala, Douala, Cameroon

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p74](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p74)

Submitted: 05 November 2023

Accepted: 28 February 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Tiadjoue B., Monkam L. & Mbemmo Fotso J.S. (2024). *Deferrisation Physicochimique des eaux Souterraines: Revue*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 74.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p74>

Résumé

Les sols ferrugineux que traversent les eaux souterraines perturbent parfois leur bonne qualité bactériologique, et influent fortement sur leur minéralisation. De nombreuses études dans les pays au sud du Sahara révèlent un fort taux d'abandon des eaux des forages à cause des fortes teneurs en fer (0 à 50 mg/l voir plus dans certains pays). Cette étude s'inscrit comme une synthèse des travaux sur la problématique de déferrisation des eaux souterraines. Elle contribuera à une meilleure compréhension des procédés existants, d'analyser les problèmes rencontrés et qui pourront susciter davantage d'autres recherches dans le domaine. Partant d'une recherche, un tri et une analyse des principaux sources d'informations autour la déferrisation, une synthèse des travaux a été faite depuis les origines, les problèmes posés par le fer et les procédés développés. Les résultats ont permis de noter que plusieurs technologies physicochimiques ont été développées pour l'enlèvement du fer et faisant intervenir plusieurs procédés tels que l'oxydation, l'adsorption, la coagulation-floculation et la précipitation. L'oxydation est le procédé le plus utilisé pour l'enlèvement du fer dans les eaux souterraines. Par contre d'autres paramètres physicochimiques perturbent son efficacité, comme l'influence du pH dont une élévation accélère la cinétique des ions Fer(II) et une réduction dans le cas contraire. Dans le processus de coagulation-floculation un dosage excessif du coagulant peut abaisser le pH et par conséquent la vitesse d'oxygénation du fer tandis qu'un

dosage insuffisant conduit à une qualité insuffisante de l'eau. Une baisse de la température augmente la viscosité de l'eau, ralentit ainsi la coagulation et la décantation des floes et diminue la plage optimale du pH. Malgré les efforts des technologies mises en place, on continue à enregistrer d'autres problèmes qui interpellent à d'autres études plus poussées pour améliorer des procédés et comme l'oxydation sur laquelle repose en grande partie la déferrisation des eaux souterraines.

Mots-clés: Déferrisation, Technologies physico-chimique, Oxydation, Coagulation-floculation

Physicochemical Deferrisation of Grounwater: Review

Benjamain Tiadjoue

Louis Monkam

Jacques Sylvain Mbemmo Fotso

Laboratoire des Technologies et Sciences Appliquées (LTSA)

Université de Douala, Douala, Cameroon

Abstract

The ferruginous soils through which groundwater flows sometimes affect its bacteriological quality and have a strong influence on its mineralization. Numerous studies in countries south of the Sahara have revealed a high rate of abandonment due to high iron levels (0 to 50 mg/l or even more in some countries). The aim of this study, which is a synthesis of work on groundwater deferrization, is to contribute to a better understanding of existing processes and to analyze the problems they encounter, which may lead to further research in the field. The results show that several physicochemical technologies have been developed for iron removal, involving processes such as oxidation, adsorption, coagulation-flocculation, and precipitation. Oxidation is the most widely used process for iron removal from groundwater. Several factors affect its effectiveness, such as the influence of pH, which accelerates the kinetics of iron (II) ions when raised and reduces them when lowered. In the coagulation-flocculation process, an excessive dosage of coagulant can lower pH and consequently, the rate of iron oxygenation, while an insufficient dosage leads to poor water quality. A drop in temperature increases water viscosity, thus slowing down coagulation and floc settling, and reducing the optimum pH range. These findings suggest the need for further studies to propose solutions for improving oxidation, on which groundwater deferrization is largely based.

Keywords: Iron removal, Physico-chemical technologies, Oxidation, Coagulation-floculation

Introduction

L'eau potable est l'une des premières ressources naturelles qui répond au premier rang des besoins humains sur toute la planète terre. Occupant 70% de la surface du globe, l'eau est inégalement répartie en quantité comme en qualité. 97,2 % est constituée d'eau de mer, salée et non potable et de 2,15 % de glaces, inutilisable directement. L'eau douce, à accès facile (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % (Renaudin V., 2003 ; Cuvelier A., 2023). Cette inégalité est indexée comme une des causes qui justifient, la question d'accès à l'eau potable qui touche presque toutes les couches sociales et attire une attention particulière dans le domaine de la santé.

Des études réalisées par le Centre Nationale de Recherche Scientifique (CNRS -Nancy) (2004) montrent principalement que les pays africains et du Moyen-Orient sont confrontés à une pénurie chronique d'eau douce. Dans ces pays, selon le Water Ressources Institute, 250 millions d'individus, ne disposent pas du minimum vital d'eau défini par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) à 1000 m³ par habitant et par an ; 400 millions de personnes vivent en situation de stress hydrique et on estime à 2,5 milliards de personnes qui pourraient souffrir d'un manque d'eau d'ici 2050 compte-tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau. Pour essayer de palier à ce problème d'accès à l'eau potable (Daré W. et al., 2023), de nombreux pays en Afrique tropicale recourent aux eaux souterraines, qui présentent de très bonnes caractéristiques bactériologiques et physico-chimiques, mais contiennent parfois des métaux lourds dont le fer, présent sous forme d'oxydes dans la plupart des sols tropicaux. La dissolution de ces oxydes par les eaux de recharge, est responsable des concentrations souvent élevées de fer dans les eaux souterraines. Une surcharge de l'organisme en fer peut entraîner une hémochromatose primitive (mauvaise régulation de l'absorption du fer par les intestins) et même une cancérisation hépatique (risque de cancer du foie). De plus la précipitation du fer jumelée au développement d'une masse gélatineuse de bactéries peut favoriser l'obstruction des conduites d'eau potable. Ces bactéries pouvant provoquer également une coloration rougeâtre (Ahmad et al., 2005) et nuire aux caractéristiques organoleptiques de l'eau. Il n'existe pas de norme internationale reconnue sur la concentration du fer. Sur la base de la considération de goût et de nuisance, l'OMS recommande que la concentration de fer dans l'eau potable soit inférieure à 0,3 mg/L (OMS, 1986). La Directive de la Communauté Européenne recommande que cette teneur dans les approvisionnements en eau soit inférieure à 0,2 mg/L. Dans plusieurs pays en Europe comme en Afrique, les sociétés de production et distribution d'eau

potable visent un niveau de fer largement en dessous de 0,3mg/L, afin de minimiser les coûts de maintenance du système de distribution.

En Afrique tropicale en particulier, l'objectif de l'alimentation de la population en eau potable est non atteint. On assiste encore à des nombreux cas des maladies qui mettent des vies humaines en danger. De nombreuses études se sont penchées sur cette problématique et plusieurs méthodes ont été proposées pour l'élimination du fer dans les eaux souterraines. Ces procédés peuvent être regroupés en deux grandes catégories à savoir les procédés de traitement biologiques et physicochimiques, dont le choix dépend principalement des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau et des conditions de traitement (Hatva, 1988 ; Mouchet, 1992 ; Michalakos et al., 1997 ; Soggard et al., 2000). De nos jours de nombreuses publications sur les méthodes de déferrisation biologique signalent celle-ci comme beaucoup plus efficace et rentables que la déferrisation physicochimique conventionnelle.

Cependant, le mécanisme biologique d'élimination du fer n'est pas entièrement compris et il existe encore des controverses quant à savoir si le mécanisme d'élimination du fer dans les filtres pourrait être uniquement biologique ou si la présence des bactéries oxydant le fer complexe devrait être complétée par les mécanismes physico-chimiques de déferrisation dans certaines conditions particulières. Ces technologies malgré leurs bons rendements, rencontrent de nombreuses difficultés liées notamment à l'instabilité de la forme divalente du fer qui rend certains processus complexes. Plusieurs autres facteurs dont le pH, l'alcalinité, la turbidité, la température de l'eau, le dosage du coagulant, la présence de certains ions étrangers..., et autres paramètres de fonctionnement du système peuvent également influencer directement ou indirectement sur la cinétique de l'oxydation qui est au centre de la déferrisation des eaux.

Cet article passe en revue les mécanismes d'élimination physicochimique du fer dans les eaux souterraines, les conditions requises, les avantages et les limites de quelques technologies présentées dans quelques études. Cet objectif s'inscrit dans une meilleure compréhension des différentes technologies intervenant dans le traitement de fer dans les eaux souterraines.

Domaine de l'étude : Origines et caractéristiques des eaux souterraines.

La contribution de ces travaux porte sur les eaux d'origine souterraine appelée généralement « les eaux de forages ». Il est précisément question de passer en revue les différentes études qui ont contribué à cette problématique d'enlèvement du fer dans les eaux souterraines. Notons avant tout que les eaux souterraines sont contenues dans les aquifères constitués des roches poreuses et/ou fissurées. Ces eaux peuvent couvrir la totalité de la couche géologique considérée : sables, grès, alluvions, soit s'accumuler dans des espaces vides, dans des fissures ou des fractures de roches compactes : cas des

roches éruptives ou métamorphiques et des terrains calcaires. Dans ces derniers, l'élargissement progressive des fissures originelles par la dissolution de l'eau chargée de CO_2 qui y circule, aboutit à des cavernes importantes, avec parfois la formation de réseaux parcourus par de vrais cours d'eau souterrains ; c'est la structure karstique (Degremont, 2004).

La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine. Une nappe peut être libre (ou phréatique si elle est suffisamment proche de la surface pour être accessible par puits).

Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de pluie (figure 1). Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue. Lorsque les eaux se situent entre deux couches de terrains imperméables, la nappe est dite captive. C'est l'un des cas les plus fréquentes et qui se trouvent plus en profondeur où règne une certaine pression. Le niveau piézométrique de cette nappe est compris généralement entre leur toit imperméable et la surface du sol. Si ce niveau est situé au-dessus de la surface du sol (d'où un jaillissement de l'eau lors d'un forage), elles sont dites **artésiennes** (Lakhili, 2015 ; Degremont, 2004).

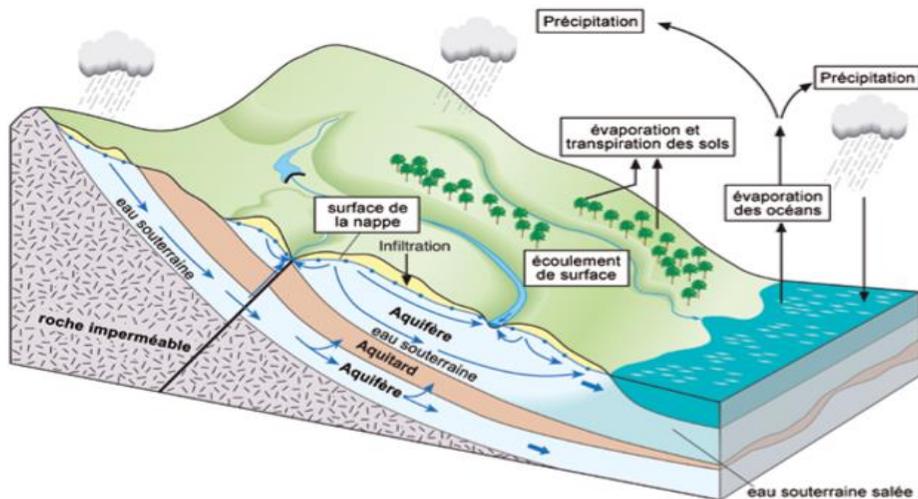


Figure 1. Cycle hydrologique : liens entre eaux de surface et souterraines. (Source journal Eaux souterraines et changement climatique- Taylor et al., 2013)

Les eaux souterraines ont, pendant longtemps, été synonymes « d'eaux propres » répondant naturellement aux normes de potabilité. Ces eaux sont généralement de bonne qualité physico-chimique et bactériologique, justifiant la réduction ou l'absence de besoin en traitement et donc des surcoûts à dépenser pour le développement des systèmes de traitement dans certains pays en voie de développement (Amira D., 2021). Néanmoins, les caractéristiques minérales de certaines roches des couches géologiques traversées par les eaux souterraines justifient leur contamination. Elles sont soit saumâtres, soit

contaminées par des éléments indésirables (métaux lourds, nitrates, phosphates, fluorures, etc.) (Amira Doggaz, 2021).

Au-delà d'une certaine teneur, certains des éléments contenus dans l'eau, tels que le fer, altèrent considérablement sa qualité. (Hamdouni, 2017 ; Mejri, 2017). Lorsqu'une nappe souterraine a été polluée, il est très difficile de récupérer sa pureté originelle : les polluants ayant contaminé la nappe sont en effet non seulement présents dans l'eau, mais également adsorbés sur les roches et minéraux du sous-sol (Degrémont, 2004). Les eaux souterraines sont généralement une source naturelle privilégiée pour l'approvisionnement en eau destinée à l'irrigation, l'industrie alimentaire et la consommation, étant donnée sa bonne qualité et répondant aux exigences des exploitants.

La présence du fer dans les eaux souterraines est associée essentiellement à la dissolution des roches et des minéraux contenant le fer, principalement les oxydes (magnétite, hématite, limonite), les sulfures (pyrite), les carbonates (sidérite) et les silicates (pyroxènes, amphiboles, biotites et olivines) en présence d'agents réducteurs comme la matière organique et le sulfure d'hydrogène (Not Christelle, 2006 ; Kamagaté B. et al., 2008 ; Amira D., 2021). Les sources artificielles sont entre autres : cuvelage des puits, canalisations, pompes, réservoirs, et autres objets faits en fonte ou en acier pouvant être en contact avec de l'eau. Les effluents industriels, les eaux d'exhaure acide, les eaux usées ainsi que les lixiviats provenant des sites d'enfouissement des déchets peuvent également contribuer à la présence du fer dans les nappes phréatiques (Souhaila Trabelsi, 2011). Les autres différentes formes de présentation du Fer dans les eaux peuvent se résumer par la figure 2 :

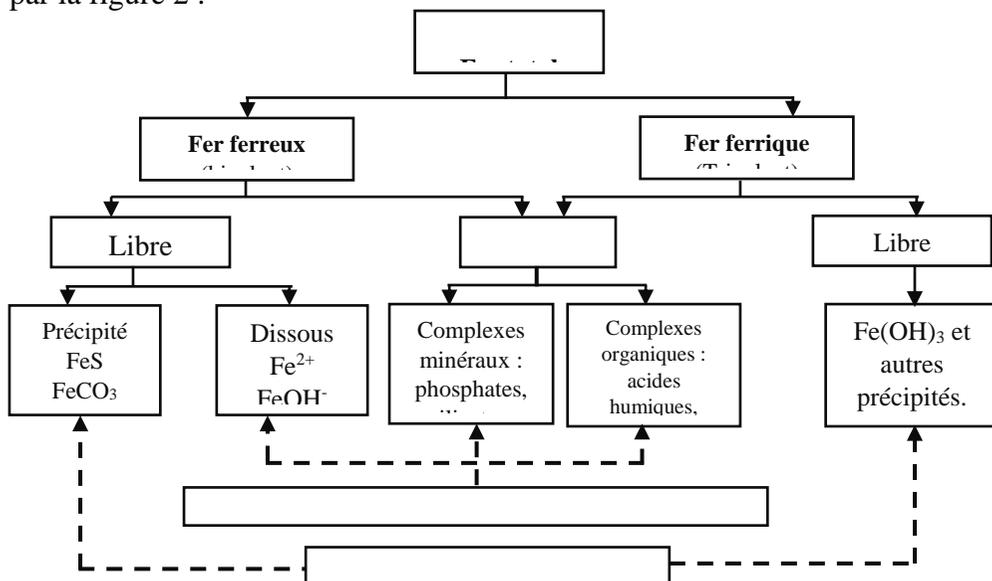


Figure 2. Formes d'existence du Fer dans l'eau (Degrémont, Tome 2, 1989)

- Le fer ferreux est la forme divalente du fer, Fe^{2+} , qui, en absence d'oxygène (tel que dans les puits profonds), reste sous sa forme dissoute et ne s'oxyde pas, ce qui garde l'aspect clair et incolore de l'eau.
- Le fer ferrique : Lorsqu'il est exposé à l'atmosphère de l'air, le fer ferreux commence à s'oxyder et des particules de couleur brune rougeâtre au noir commencent à se former oxy(hydroxyde). Ce sédiment de la forme ferrique du fer est insoluble dans l'eau.
- Le fer organique : Il peut se combiner avec différentes matières organiques naturelles et exister en tant que complexe. Cette forme organique de fer peut être rencontrée dans les puits peu profonds et dans les eaux de surface ; il est généralement de couleur jaune ou brune.

Problèmes causés par le fer dans l'eau

Problèmes de nuisances organoleptiques dans l'eau potable

La présence du fer à concentration supérieure à 0,3 mg/L nuit aux qualités organoleptiques de l'eau (Couillard, 1992 ; Cardot C, 1999 ; Stegpnjak et al, 2008). Elle lui donne un goût métallique ou amer. De plus, le contrôle des goûts et des odeurs dans l'eau potable est un problème majeur depuis de longue date (Namkung et al., 1987), et qui d'une part génèrent la plupart des plaintes des consommateurs (Bartels et al., 1986) ; et d'autres part on enregistre des grosses difficultés dans les usines de traitements comme aux Etats-Unis et au Canada où plus de 70% de ces usines ont un problème goût. Par ailleurs, sa précipitation sous forme de $Fe(OH)_3$ altère d'une part son apparence, entraînant une turbidité de couleur jaune-marron (Huck, 1990). On assiste alors à la formation de particules qui, en se développant, provoquent des tâches sur le linge et les éléments sanitaires en porcelaine (Awwa, 1998 ; Goné, 2001 ; WHO, 2004 ; Stegpnjak et al, 2008).

Les dégâts matériels

Le colmatage, qui a surtout été observé dans le cas de vieillissement des puits, est un phénomène connu depuis l'antiquité. Le fer passant dans le système de distribution peut promouvoir la croissance des ferrobactéries, des microorganismes qui apportent leur énergie de l'oxydation de $Fe(II)$ en $Fe(III)$ (Clark et al., 1993 ; Ahmad et al., 2005). Une couche de quelques centimètres peut être observée dans les circuits de distribution d'eau. Ces accumulations constituées du fer hydraté et des bactéries, conduit au colmatage des canalisations ce qui réduit la capacité hydraulique et augmente les pertes de charges et donc la demande en énergie exigée pour délivrer l'eau à une certaine vitesse d'écoulement (Sharma et al, 2001, 2005). D'autre part, la présence de fer à des teneurs supérieures à 10 ppb peut engendrer de graves problèmes de

colmatage des membranes quand il s'agit d'un traitement par osmose inverse (Amira D., 2021).

Effets sur la santé

Le fer est un élément essentiel et vital à tous les organismes vivants. Un individu normal en contient 3 à 5 g, dont les 2/3 sont liés à l'hémoglobine (Sambou et al., 2001). Avec la protoporphyrine, le fer forme l'hème, qui, conjugué à 4 peptides donne l'hémoglobine (Sarah Rio, 2016). Le fer est aussi un composant de la myoglobine, des catalases, des cytochromes et des peroxydases, qui ont tous des rôles essentiels dans l'utilisation de l'oxygène et dans les besoins énergétiques des cellules. Cela représente 10% du fer corporel. Sur le fer restant, 20 à 30% sont liés à des protéines de stockage du fer comme la ferritine et l'hémosidérine, que l'on trouve dans le foie, la moelle osseuse, le cœur et les muscles squelettiques.

Cependant une surcharge de l'organisme humain en fer peut entraîner une *hémochromatose primitive* (mauvaise régulation de l'absorption du fer par les intestins) et même une *cancérisation hépatique* (risque de cancer du foie) (Weinberg et al., 1996). L'hémochromatose est une maladie d'origine génétique qui entraîne une absorption excessive du fer alimentaire et un dépôt dans de nombreux organes. La maladie évolue insidieusement et, si elle n'est pas traitée, peut conduire à des atteintes de divers organes (cirrhose, cancer du foie, insuffisance cardiaque...). De plus, les précipités d'hydroxydes ferrique formés peuvent générer des dérivés toxiques et développer différents symptômes telles que : les infections, la néoplasie, la cardiomyopathie, l'arthropathie et divers troubles du système endocrinien et neurodégénératif chez l'homme (Weinberg et Geoffrey, 1996).

Procédés d'élimination du fer

La potabilisation des eaux souterraines contenant du fer impose un traitement spécifique pour abaisser la teneur en Fe^{2+} suivant la norme fixée par l'OMS (<0,3 mg/l). Le fer peut être éliminé soit biologiquement, soit à partir d'un traitement physico-chimique.

Procédé physico-chimique

Le procédé d'élimination du fer et du manganèse dans les eaux souterraines a fait l'objet de nombreux travaux (Tessier et al., 1996 ; Samira A. et al., 2002, Potgieter et al., 2005, Ahmad et al., 2005, Pacini et al., 2005 ; Maillot et al., 2006).

Les principes ici sont basés sur l'oxydation et l'aération. Pendant longtemps, le traitement physicochimique a été la plus courante, surtout pour les eaux souterraines (Hamdeni R., 2018). Ce type de traitement commence toujours par l'oxydation qui est une étape indispensable, permettant de faire

passer le fer de l'état ferreux (Fe^{2+}) stable à l'état ferrique (Fe^{3+}) moins stable. Pour cela, plusieurs procédés d'oxydation sont employés : l'oxydation par l'oxygène, par le chlore, par le permanganate de potassium, par le dioxyde de chlore et l'oxydation par l'ozone.

Les formes oxydées de fer peuvent directement être retenues soit en Filtration : c'est le procédé AF : Aération et Filtration, soit en décantation : c'est le procédé ADAF : Aération Décantation Absorption et Filtration. Le fer ferrique peut se trouver en effet (à des $pH > 4$), sous forme colloïdale. Il peut également former des complexes stables avec les matières organiques, la silice ou les phosphates. Dans tous ces cas, il faudra adopter des dispositions particulières pour déstabiliser les colloïdes et/ou détruire les complexes. Il est donc parfois nécessaire d'avoir recours à la coagulation - floculation pour éliminer à la fois le fer et les matières organiques. Éventuellement il faut faire appel à un oxydant puissant, autre que la simple aération (oxydation par l'oxygène de l'air) tel que le chlore, le dioxyde de chlore ou l'ozone.

Le traitement du fer par oxydation

L'aération constitue la première étape du cycle de traitement du fer. Elle est basée sur l'oxydation du fer divalent par l'oxygène de l'air. L'aération qui consiste à dissoudre l'oxygène de l'air dans l'eau s'effectue à la pression atmosphérique. Cette méthode consiste à l'oxydation de Fe^{2+} en Fe^{3+} qui précipite sous forme d'hydroxyde de fer (III) insoluble (*Amira D., 2021*).

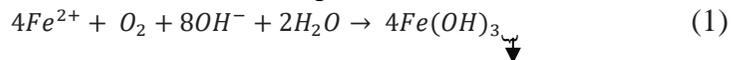
Les particules d'hydroxyde peuvent être filtrées d'une part directement à travers des filtres à sable : c'est l'Aération-Filtration (AF). D'autre part une étape de floculation/décantation peut être intercalée avant la filtration : c'est l'Aération Décantation Absorption Filtration (ADAF) (*Sharma S.K, 2005*). Parmi les techniques mentionnées, l'aération ou l'oxydation chimique suivie d'une filtration rapide sur sable est la plus utilisée (*Salvato, 1992 ; Sommerfeld, 1999 ; Twort et al., 2000 ; Azher et al, 2008*).

Boureima Cissé (1992) a réalisé une étude sur la performance des deux types d'unités de déferrisation par Aération Filtration (AF) et Aération Décantation Absorption et filtration (ADAF), sur les eaux de forages en zone rurale Balkui au Burkina Faso. Il a montré que le procédé AF fournit des rendements de 45 à 77% contre 63 à 92 % pour l'ADAF. Le CREPA a poursuivi l'étude de Boureima en mettant un accent sur l'efficacité des matériaux filtrant et montre entre autres que la granulométrie, la nature ainsi que les hauteurs des différentes couches de matériaux (sable, gravier) influent fortement sur la déferrisation : une couche de sable de 20 cm d'épaisseur avec une granulométrie de 0,8 à 2 mm dans le bassin de filtration de l'unité de déferrisation type ADAF permet d'obtenir, les taux d'abattement du fer total atteignant 98% (CREPA, 1996). On note également que les coûts estimatifs de la construction des ouvrages de l'unité de déferrisation type AF sont

inférieurs ; à ceux de l'unité de déferrisation type ADAF. Le choix de l'unité de déferrisation dépend des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau et des conditions de traitement (*Hatva, 1988, 1989 ; Mouchet, 1992, Michalaos et al, 1997*). Ainsi l'unité de type AF est utilisée sur des forages dont la teneur en fer total ne dépasse pas 5 mg/l, tandis que le type ADAF est utilisé dans les cas des teneurs très élevées (plus de 10 mg/l) (*.Sharma S.K., 2005*).

En dehors de l'oxydation de l'eau, l'aération joue deux rôles importants lors du traitement des eaux souterraines. L'aération permettant d'éliminer du sulfure d'hydrogène (H₂S), contribue à une économie de chaux par réduction de la concentration en CO₂ lorsqu'elle est ouverte (la chaux est le principal produit de réduction du CO₂), cela provoque une élévation du pH, permettant ainsi d'accélérer l'oxydation du fer (*Heddiam S., 2012*). L'aération permet également la nitrification de l'ammoniaque et prévient de la corrosion dans le réseau (*Sambou, 2001*).

A l'origine, la grande majorité des travaux concernant l'enlèvement du fer ont impliqué l'utilisation de l'oxygène de l'air naturel comme agent oxydant. Ils ont montré que le taux d'oxygénation des ions ferreux (Fe²⁺) était proportionnel à la quantité initiale d'ion ferreux et dépendait fortement de la concentration en ion hydroxyle [OH⁻] (*Stumm et Lee, 1961*). La réaction d'oxygénation dépend parfois de l'alcalinité et ceci peut favoriser la précipitation directe des ions ferreux en carbonates (FeCO₃) plutôt qu'en hydroxydes. Cette conclusion a été reprise par plusieurs auteurs, ce qui a demandé une plus grande exploration afin de déterminer le produit exact de l'oxydation du fer par l'oxygène. Plusieurs études ont aussi montré que l'efficacité de ce procédé dépend de plusieurs autres facteurs tels que le pH, la teneur en fer et en oxygène dissous, et de la présence ou non de la matière organique (*Stumm et Lee, 1961*). La réaction peut s'écrire :



La cinétique d'oxydation du Fe²⁺ par l'oxygène de l'air a été largement étudiée (*Mohd et al., 2016*). La réaction est dépendante de plusieurs paramètres tels que le pH, l'alcalinité du milieu et la nature des sels présents dans le milieu.

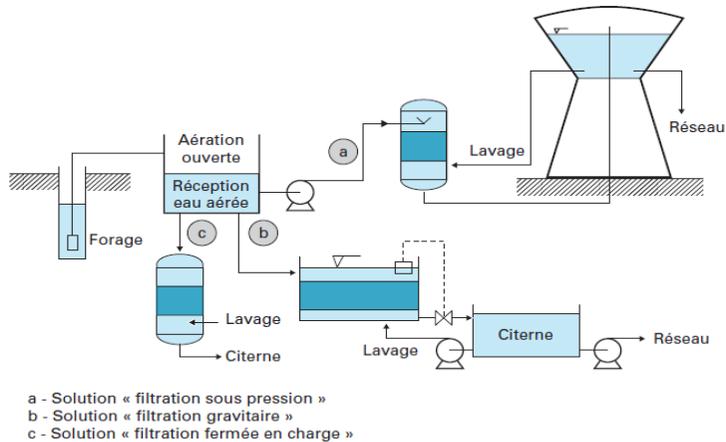


Figure 3. Exemple d'unité de déferrisation physico-chimique comportant une aération ouverte (Degrémont -Tome 2, 1989)

L'effet du pH sur l'oxydation du Fer(II).

En milieux acide (pH < 2), la vitesse d'oxydation est très faible et est indépendante du pH. La cinétique de l'oxydation du fer ferreux en milieu acide sulfurique a été étudiée et l'équation de vitesse qu'il a proposée est la suivante:

$$-\frac{d[Fe(II)]}{dt} = K[Fe(II)]^2[PO_2]. \quad (2)$$

[Fe(II)] : Concentration du fer (II) (mol/L)

PO₂ : pression partielle d'oxygène (atm)

K : constante fonction de la température et du pouvoir tampon de l'eau brute (M⁻² atm⁻¹min⁻¹)

En milieu faiblement acide (pH < 5), la réaction d'oxydation est plus rapide qu'en milieu fortement acide. La réaction est de premier ordre par rapport à l'ion ferreux, l'oxygène dissous et l'anion hydroxyde (la vitesse d'oxydation devient dépendante du pH) selon l'équation suivante :

$$-\frac{d[Fe(II)]}{dt} = K[Fe(II)][PO_2][OH^-]. \quad (3)$$

Pour des pH compris entre 6 et 8, cas de la plupart des eaux souterraines ou de surface, la vitesse d'oxydation augmente de manière significative, donc avec la teneur en OH⁻. Dans cette gamme de pH, Just (1908) puis Stumm et lee (1961) ont reporté que l'oxydation est de second ordre par rapport à l'ion hydroxyde. Selon ces derniers auteurs, cette vitesse est aussi du premier ordre par rapport au Fe(II) et à l'oxygène dissous, selon la loi :

$$-\frac{d[Fe^{2+}]}{dt} = K[Fe^{2+}].[PO_2].[OH^-]^2 \quad (4)$$

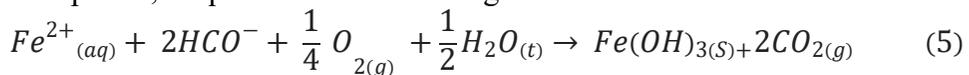
Dans l'équation (4), la valeur de "K" est de $1,50 \times 10^{13} \text{ M}^{-2} \text{ atm}^{-1} \text{ min}^{-1}$ à une température de $20,5^\circ\text{C}$ (Stumm et Lee, 1961). Comme cette cinétique est fortement dépendante du pH, on a tout avantage à élever le pH pour accélérer l'oxydation du fer. Par exemple, pour oxyder 99% d'une quantité initiale de 10 mg/L de fer, il faut plusieurs heures à un pH de 6,5 mais moins de 15 minutes à un pH de 7,5 ($T=25^\circ\text{C}$, $PO_2 = 0,2 \text{ atm}$) : (tableau 2).

Tableau 2. Temps nécessaire pour oxyder 99% du Fe²⁺ en fonction du Ph.

Potentiel d'hydrogène (pH)	Temps d'oxydation (Heures)
6,6	15-20
6,8	6
7	2
7,2 – 7,5	1/4

L'effet de l'alcalinité

La présence des ions hydrogénocarbonate affecte le processus de l'élimination du fer par oxydation car elle influence les caractéristiques du précipité formé et elle confère un effet tampon permettant d'éviter la chute du pH (Stumm et Lee, 1961). En effet, les protons libérés vont réagir avec les bicarbonates pour former du gaz carbonique qui se dégage facilement dans l'atmosphère ; l'équation de la réaction globale devient :



Les travaux de Millero et al. (1989) ont montré que la vitesse d'oxydation augmente en milieu carbonaté suite à la formation des complexes $FeHCO^{3+}$ et $FeCO_3$, espèces très réactives avec l'oxygène dissous. Le mécanisme qui régit cette oxydation rapide a été expliqué par la facilité de transfert des électrons du Fe(II) complexé à l'oxygène pour former l'espèce intermédiaire O_2^- . De même, en variant la concentration en bicarbonate de 2 mM à 10 mM dans un milieu contenant des ions Na^+ , Cl^- et Mg^{2+} , King (1998) a prouvé que les carbonates ont un effet prépondérant sur la cinétique d'oxydation de Fe(II).

L'effet de la force ionique et des ions étrangers

En milieu légèrement acide ou neutre, les ions silicate SiO_4^{4-} , phosphate PO_4^{3-} et métaphosphate accélèrent l'oxydation alors que les ions chlorure Cl^- et sulfate SO_4^{2-} la retardent (Stumm et Lee 1961). Dans des solutions d'hydrogénocarbonate de sodium 0,01 M et de force ionique 0,11 M, ajustée par l'ajout de $NaClO_4$, et pour un pH de 6,5 et une température de

25°C, Tamura et al., (1976a) ont testé l'effet des ions ClO_4^- , NO_3^- , Cl^- , Br^- , I^- à une concentration de 0.1 M, SO_4^{2-} (0.033 M), H_3SiO_4^- (0,0012 M), F^- (0,02 – 0.1 M) et H_2PO_4^- (0,001-0,4 M) sur la vitesse d'oxydation du Fe(II). Ils ont montré que, quelle que soit la nature de l'anion présent, l'oxydation reste de premier ordre par rapport à l'ion ferreux.

$$-\frac{d[\text{Fe(II)}]}{dt} = K_{exp}[\text{Fe(II)}] \quad (6)$$

k_{exp} : constante apparente de la vitesse d'oxydation de Fe(II) en temps⁻¹.

En plus des ions étrangers, l'effet de la force ionique a été également étudié par Millero et al. (1989). En milieu carbonaté (9mM de NaHCO_3), ils ont varié la force ionique de 0 à 6 M par ajout de NaCl et NaClO_4 . Il a été montré que la vitesse d'oxydation est plus lente en milieu NaCl notamment pour les forces ioniques élevées (de 4 à 6 M) ce qui a été attribué à la formation du complexe ionique FeCl^+ ayant une faible réactivité avec l'oxygène. Pour les anions ClO_4^- , NO_3^- , Cl^- , Br^- , I^- et SO_4^{2-} , leurs résultats sont en accord avec ceux de Tamura et al. (1976a). Ils ont expliqué cet effet par la force d'interaction de ces anions avec l'ion Fe^{2+} . Cette force, qui diminue suite à l'ajout de SO_4^{2-} et B(OH)_4^- , est attribuée à la formation des paires d'ions correspondant. En 1998, King adhère aux explications précédentes de Tamura sur l'effet des ions chlorure et a mentionné que la réduction de la vitesse d'oxydation est due à la formation de la paire d'ions FeCl^+ ainsi qu'à l'augmentation de la force ionique.

L'effet des cations a été aussi étudié par certains chercheurs. Un effet accélérateur a été observé pour les cations Cu^{2+} , Mn^{2+} et Co^{2+} par Stumm et Lee (1961). Pour les ions Mg^{2+} , Millero (1989) a montré qu'ils ralentissent la vitesse d'oxydation alors que King (1998) a reporté que cet ion n'a aucun effet sur l'oxydation.

Traitement par coagulation-floculation.

Le fer existe en solution dans les eaux privées d'oxygène. Suivant les cas, il peut être présent à l'état colloïdal, c'est-à-dire sous formes de complexes organiques ou minéraux (Hamdeni R., 2018). La coagulation est un phénomène dans lequel les particules chargées dans la suspension colloïdale sont neutralisées par collision avec des contre-ions suivie d'une agglomération puis d'une sédimentation. Il est généralement admis que la coagulation est principalement provoquée par la réduction de la charge de surface nette jusqu'à un point où les particules colloïdales, préalablement stabilisées par une répulsion électrostatique, peuvent être approchées de manière suffisante pour que les forces de Van Der Waals les maintiennent ensemble et permettent

l'agrégation (Cardot, 1999 ; Amira D., 2021). La réduction de la charge de surface est une conséquence de la diminution du potentiel répulsif de la double couche électrique par la présence d'un électrolyte de charge opposée (Heddam S., 2012 ; Mollah et al., 2004).

La coagulation

Parmi toutes les étapes de la chaîne de traitement des eaux, le procédé de coagulation floculation est l'une des étapes les plus importantes. Plus de 90% des stations de traitement d'eau en sont concernées. La coagulation met en œuvre des mécanismes forts complexes qui dépendent d'un nombre important de variables (Heddam S., 2012). Dans une chaîne de traitement conventionnelle, la coagulation consiste à déstabiliser les particules en suspension, tandis que la floculation consiste dans un premier temps à faire agglomérer les particules déstabilisées, et dans un second temps la formation des flocons par absorption et agrégation (Amirtharajah et al., 1990). Les produits chimiques impliqués dans le processus de coagulation sont connus comme coagulants et sont d'origine minérale à base de l'aluminium ($(Al_2(SO_4)_3, 18H_2O)$) (Lind, 1994 ; B.J. Ahmad et al., 2005) ou de sel de Fer ($FeCl_3$) (Lefebvre et al., 1993), des polymères naturels ou synthèses.

Les procédés de précipitation basés sur la coagulation/floculation ont été largement étudiés pour le traitement du fer dans l'eau. Pour ce qui est des procédés naturels en générale, plusieurs auteurs ont conclu à la suite de leurs études que les principaux facteurs influençant l'efficacité de la coagulation sont la dose du coagulant, le pH (Amirtharajah et al., 1982), la turbidité initiale et la température de l'eau. D'autres facteurs secondaires peuvent être cités comme la conductivité de l'eau, l'absorbance à 254nm (UV254) ainsi que l'oxygène dissous (Lind, 1994 ; Weishaar et al., 2003).

Il est important de connaître l'influence de l'emploi d'un coagulant sur les caractéristiques physicochimiques de l'eau traitée, notamment lorsque le taux de traitement est élevé, quand la clarification est suivie d'une déminéralisation par échange d'ions. L'efficacité des coagulants est directement liée à la valence des cations, les ions monovalents sont moins efficaces que les bi ou trivalents. La mise en solution d'un coagulant se déroule en deux étapes, le cas du sulfate d'alumine est très significatif, les réactions peuvent être représentées de la façon suivante :



(1) L'étape 1 est une phase d'hydrolyse, des intermédiaires polychargés positifs se forment. Ces composés assez fugaces présentent un atome d'aluminium dont le nombre d'oxydation est très grand.

(2) L'étape 2 permet la formation du précipité $Al(OH)_3$. Cette réaction dépend de l'agitation du milieu. Ce précipité est l'élément qui assure le

pontage et la coalescence entre les colloïdes déstabilisés ; c'est la forme floculante. Le maintien de cette dernière dépend du pH du milieu, qui permet de définir les zones de coagulation floculation.

Cardot (1999) a réalisé une étude de l'influence du pH sur la coagulation et floculation lors du traitement des eaux. Ses conclusions montrent que pour un pH compris entre 5.8 à 7.2, le précipité $\text{Al}(\text{OH})_3$ est prédominant.

Zogo et al. (2010) ont traité l'excès de fer et de manganèse dans l'eau de la région du Benin par une oxydation par le permanganate de potassium suivie d'une coagulation floculation utilisant le sulfate d'aluminium comme coagulant. Les conclusions pour ce qui est du fer montrent que pour un taux de fer comprise entre 8 et 30 mg/L, le taux de rétention est de l'ordre de 80 à 99 % pour une dose de coagulant de 40 mg/l, avec ajustement de pH à 6,5 et une pré-oxydation par le permanganate de potassium de concentration initiale de l'ordre de 2,5 mg/l. Une décantation à un pH égal à 8 suivie d'une filtration a été par la suite appliquée à la pré-oxydation de la coagulation. Ce traitement permet d'éliminer complètement le fer de l'eau. Seghairi N. et al. (2017) ont poussé l'étude avec l'utilisation du coagulant sulfate d'aluminium en tenant compte d'autres paramètres réactionnels dont le pH des solutions, la DBO5, les nitrates et l'ammonium et les phosphates. Ils ont constaté que pour une dose de 400mg/L de Sulfate d'aluminium, on a un abattement de 96.31%%, 82,44%, 90.95% et 78,74% respectivement pour les phosphates, les nitrates, l'ammonium et le DBO5. Selon ces auteurs, la coagulation avec le sulfate d'aluminium est efficace pour l'élimination du fer dans l'eau. La coagulation permet aussi d'éliminer d'autres contaminants que le fer, dont l'arsenic et la dureté de l'eau, mais également d'autres métaux lourds. Cependant, les inconvénients de cette technique sont la production de boue toxique, une dose importante de coagulant et la nécessité d'une pré-oxydation ainsi qu'un réajustement du pH après traitement.

La floculation

Après avoir été déstabilisées par le coagulant, les particules colloïdales s'agglomèrent lorsqu'elles entrent en contact, c'est la floculation. Le floc ainsi formé, peut décanter, flotter ou être filtré (Coagulation sur filtre), suivant le procédé de rétention le plus choisi (Heddam S., 2012).

Toutes les techniques de floculation appliquent l'un et/ou l'autre de ces principes. On distingue la floculation péri-cinétique due à l'agitation désordonnée des particules et la floculation des ortho-cinétique provoquée par les mouvements de l'eau. Cette floculation est fonction du gradient de vitesse conféré au milieu par agitation ; elle est responsable en grande partie du phénomène de floculation (Cardot, 1999).

Les polyanioniques agissent par pontage en association avec les cations bivalents du milieu tels que les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Dans ce cas le titre hydrotimétrique de l'eau est essentiel, on ne l'ajoute qu'en fin de floculation lorsque les microflocs sont formés. Les polycationiques agissent directement par leurs charges positives, elles neutralisent les charges primaires des colloïdes qui ont échappé au coagulant. Leur ajout se fait après une agitation rapide de l'eau à traiter.

Les floculants sont des composés agissant par pontage, il s'agit de polymères à haut poids moléculaire et présentant des groupes réactionnels de charge inverse de celle de la suspension à traiter. On distingue des floculants naturels et synthétiques. Les polymères synthétiques se répartissent en polyanions, polycations, non ioniques et amphotères. Ce sont des polymères de type polycrylamide ou polyacrylate. Toutes ces molécules se définissent par leur poids moléculaire (PM). Un poids moléculaire élevé est caractéristique de polymères à longue chaîne, les polymères chargés, ou polyélectrolytes se définissent également par leur densité de charge (DC) de nombreuses charges électriques neutralisantes procurent une forte DC (Cardot, 1999).

Pour favoriser la dispersion des réactifs dans l'eau à traiter et la formation consécutive de gros agglomérats, on introduit les coagulants et adjuvants en des endroits où règne une forte turbulence (chute, remous, agitation mécanique rapide, etc.) ; on parle de flash mixing ou de flash mélange et la durée de séjour ne doit pas y excéder deux minutes ; la notion d'énergie de dispersion est très importante (Godart, 2008).

On introduit ensuite l'eau dans un ouvrage où règne une turbulence faible, mais non négligeable. Les microflocs formés au stade de l'agitation rapide voient leur dimension croître considérablement par effet de pontage notamment. En fait, la floculation est un cas particulier de coagulation par absorption. On distingue usuellement la floculation péri-cinétique (mouvement brownien des particules) et la floculation ortho-cinétique (liée au déplacement de fluide). L'ouvrage où se produit l'opération est un floculateur. Il existe des floculateurs statiques, du type à chicanes (section fixe ou croissante) et des floculateurs dynamiques, les plus fréquents actuellement, à pales ou équipages tournants, à un ou deux compartiments verticaux ou horizontaux. Les quatre notions de base pour une bonne floculation sont (Godart, 2008) :

- i. Le brassage ne doit pas avoir d'effet destructif ;
- ii. Le temps de floculation qui doit se situer entre 10 et 30 minutes ;
- iii. Une totale absence de courts circuits hydrauliques ;
- iv. Le gradient d'écoulement :

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu}} \quad (8)$$

Avec μ : viscosité dynamique

P : Puissance dissipée par unité de volume (frottements).

Afin d'évaluer les conditions optimales de coagulation et de floculation, des essais de « Jar-Test » (JT) sont conduits à l'échelle de laboratoire (Brodart et al., 1989). Pour des filières de traitement physico-chimiques conventionnelles, des JT menés dans une large gamme de conditions d'opérations permettent de déterminer le type de coagulant, son dosage, le pH et les conditions d'agitation qui maximisent la réduction de la turbidité, et offre le pH optimum (Joo et al., 2004 ; Yu et al., 2000 ; Heddam S., 2012).

Bernazeau et al. (1990) ont réalisé des études en vue d'automatiser le procédé et on conclut qu'il existe deux procédés d'automatisation du procédé de coagulation : (I) une technique basée sur la qualité de la coagulation ; (ii) et une deuxième technique basée sur les variables descriptives de l'eau brute. Le premier modèle applicable aux eaux dont la turbidité est inférieure à 20 NTU tient compte de quatre variables caractéristiques de l'eau brute dont la turbidité, la résistivité, la teneur en matière organique et de la température. Le deuxième modèle utilisable pendant les périodes de crue intègre un cinquième descripteur : la nature de la suspension minérale. De nombreux chercheurs (Ellis et al., 1991 ; Ratnaweera et al., 1995) ont proposé des modèles linéaires, reliant la dose du coagulant aux variables descriptives de la qualité de l'eau. Le modèle est basé sur la concentration en ions calcium, ions bicarbonate, ions sulfate, la turbidité initiale, la température et le pH. Les données utilisées dans le modèle de Ratnaweera et al. (1995) sont le débit de la rivière, le temps de sédimentation, la température, la turbidité, le pH et la conductivité. Alors que le modèle proposé par Critchley et al. (1990) inclue la couleur, le débit de la rivière, le pH, la conductivité et la température. Les résultats de ces études montrent que la variation du nombre et du type de paramètre impliqué dans l'élaboration des modèles mathématiques pour l'estimation de la dose de coagulant peut être due à : (i) certains paramètres caractérisant la qualité de l'eau brute des rivières qui ne varient pas considérablement et peuvent être considérées comme des constantes dans le développement des modèles ; (ii) Certaines variables de l'eau brute exigent des doses de coagulant beaucoup plus importants que d'autres, dans ce sens les paramètres à influence mineure ne peuvent pas être inclus dans les modèles ; (iii) et enfin la qualité de l'eau demandée qui conditionne les taux de rabatement pour chaque variable. La modélisation de la dose du coagulant s'appuyait jusqu'à il y a une vingtaine d'années sur, presque exclusivement sur les modèles linéaires, cependant et malgré leur apport dans le développement des systèmes de traitement des eaux, et compte tenu de nombreux phénomènes physiques, ce type de modèles restent insuffisant pour représenter la nature complexe qui gouverne les processus mis en jeu.

Le progrès important réalisé au cours des dernières années dans le domaine de l'intelligence artificielle, a permis de réduire les difficultés et s'affranchir des limitations des modèles linéaires ; les réseaux neurones artificiels et logique floue font parties de ces techniques. Dans ce sens de nombreux modèles basés sur la technique de réseaux de neurones artificiels ont été mis au point. Les modèles développés par (Valentin A., 1999) incluent : (i) un système global basé sur les réseaux de neurones supervisé et non supervisé, utilisant les cartes topologiques de Kohonen pour la validation et la reconstruction des données, et une perception multicouche pour l'estimation de la dose de coagulant. Ce système a été intégré dans le cadre de la construction d'un capteur logiciel ; d'autres modèles ont été proposés par (Evans et al., 1998 ; Yu et al., 2000 ; Adgar et al., 1995 ; 2000 ; Nahm et al. 1996. Sperring et al., 1992 ; Maier et al., 2004 ; Mirsepasi et al., 1995 ; Böhme et al., 1999). Ils expriment la dose de coagulant à injecter en fonction des différents variables descriptives caractérisant l'eau brute à l'entrée de la station de traitement des eaux. D'autres travaux de recherches (Baxter et al., 2001a, 2001b, 2002 ; Lamrini et al. (2005b, 2007) et Hernandez (2006) ont montré l'importance des réseaux de neurones comme outils pour l'élaboration des modèles mathématiques pour des fins d'automatisation et de supervision des procédés impliqués dans les stations de traitements des eaux.

Récemment d'autres chercheurs (Chen et al., 2006 ; Heddham et al., 2008 ; Park et al. 2008 ; Heddham et al., 2002 ; Heddham et al. 2011a, 2011b, 2011c ; Wu et al., 2008, 2010) ont montrés l'importance des méthodes basées sur les techniques à base d'intelligences artificiels pour la modélisation de la dose de coagulant aux niveaux des stations de traitements des eaux.

Lors de la coagulation, il faut chercher : (i) La maximisation de la déstabilisation des particules et des colloïdes organiques pour faciliter leur agglomération et leur enlèvement subséquent, par un procédé de séparation solide-liquide ; (ii) La minimisation de la production de boue ; (iv) La minimisation de la concentration du coagulant résiduel ; (iii) La minimisation des coûts d'opération. La coagulation optimale correspond au dosage de coagulant et au pH qui assurent l'atteinte de tous les objectifs fixés (Heddham S., 2012).

Le traitement par adsorption.

L'adsorption est un phénomène physique par lequel une substance peut être adsorbée par la surface d'un composé solide de façon plus ou moins irréversible sans qu'il y ait réaction chimique entre eux. A la fin du processus, l'équilibre s'établit entre la substance adsorbée et celle restant en solution. Cet équilibre dépend de la concentration du soluté et de la surface du corps adsorbant (Hamdeni R.F., 2018). Il existe deux types d'adsorption :

- i. L'adsorption physique, réversible, qui ne modifie pas l'identité chimique des molécules adsorbées ;
- ii. L'adsorption chimique, irréversible, qui se caractérise par des liaisons chimiques entre l'adsorbat et des sites d'adsorption spécifique.

Il s'agit ainsi d'un phénomène de surface qui, dans le cas de la déferrisation, peut être réalisé sur un lit de particules. Ce procédé est bien adapté à l'élimination spécifique de fer mais nécessite de maîtriser le pH du milieu. La capacité d'adsorption dépend de la surface spécifique du matériau, de la nature de la liaison adsorbant-adsorbat, du temps de contact, du pH et de la concentration initiale de l'élément à éliminer, de la présence d'interférents (ions compétitifs) ainsi que de la taille des particules des matériaux de fixation.

Tahir et al. (2006) ont réalisé un modèle en utilisant comme matériaux adsorbant la bentonite pour l'absorption de F^{2+} contenu dans les eaux saumâtres d'une usine de fabrication de tuyaux galvanisés situé au Islamabad-Pakistan. Les résultats obtenus montrent que :

- i. Une dose d'adsorbant de 0,5 mg/L et un pH égal à 3, le taux de rétention est de 98% ;
- ii. La concentration de l'adsorbant varie de 80 à 200 mg/L ; (iii) le temps de contact est de 60 min pour une eau qui contient 100 mg/L en F^{2+} .

L'adsorption peut être appliquée au moyen de plusieurs adsorbants : charbon actif, oxydes, carbonate de calcium, hydroxyde d'aluminium. Plusieurs autres travaux se sont intéressés au mécanisme régissant l'élimination de plusieurs métaux par adsorption. Le charbon actif conduit généralement à de bons résultats en ce qui concerne l'élimination du fer ; la régénération se fait par la soude ou le gaz carbonique. Il présente toutefois des limites, car il ne s'utilise pas en milieu basique et requiert une très grande acidité, ce qui fait qu'il est peu utilisé. Cependant, la méthode peut être coûteuse puisqu'il y a une nécessité d'abaisser dans un premier temps le pH pour ensuite l'augmenter à une valeur de 7 pour les besoins de la consommation.

Elwakeel et al. (2009) ont utilisé comme matériau adsorbant le charbon actif pour l'élimination du fer (II) et magnésium à partir d'une eau synthétique riche en fer et magnésium (10 mg/L). Ils sont parvenus à la conclusion que la dose d'adsorbant, pour une eau contenant 10 mg/L en Fe^{2+} , varie de 0,01 à 0,15 g, le temps de contact est de 60 min et la température de 25 ± 1 °C. Le meilleur taux de rétention en fer, 97,3 %, correspond à une dose d'adsorbant de 0,1 g et un pH de 6,5.

Tamura et al. (1976a) ont testé l'élimination du fer en utilisant, le $Fe(OH)_3$ en milieu anoxique. Il a été montré que le taux d'élimination par adsorption est très faible en milieu acide. Le taux de $Fe(II)$ adsorbé augmente

avec la quantité d'oxyhydroxyde en solution. Cependant, le taux de déferrisation n'a pas dépassé 50%.

Nemade et al. (2008) ont traité 40 à 60 l d'eau synthétique riche en fer, en arsenic et en bactéries coliformes par adsorption dans un filtre à sable (CSF : constructed soil filter). Ils ont obtenu qu'une élimination totale de fer est obtenue après 10 h de filtration, un temps de contact de 9,92 min, un pH égal à 7 et une concentration en oxygène dissous de l'ordre de 5 mg/l. La concentration finale en fer dans l'eau traitée est de l'ordre de 0,056 mg/l après passage à travers le filtre CSF.

Sharma (2001) a testé la capacité d'adsorption de la lépidocrocite (γ -FeOOH), la goethite (α -FeOOH), la ferrihydrite ($\text{Fe}_5\text{H}_8\text{O}$, $4\text{H}_2\text{O}$), de l'hydroxyde de Fe(III) amorphe ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) et des ions Fe(II). Il a constaté que parmi ces oxyhydroxydes, la lépidocrocite révèle la plus grande capacité d'adsorption des ions Fe^{2+} suivi de l'hydroxyde de fer amorphe, la ferrihydrite puis la goethite. Il a été montré que le pourcentage d'adsorption augmente en fonction du pH. En effet, plus le pH est élevé, plus la libération des protons du groupement [$\equiv \text{Fe}-\text{OH}$] est facile en créant le groupement chargé négativement [$\equiv \text{Fe}-\text{O}^-$]. En outre, lorsque le pH se rapproche du point isoélectrique des oxyhydroxydes de fer, leur charge de surface change graduellement d'une charge positive jusqu'à atteindre une charge négative, ce qui favorise l'adsorption des Fe(II).

Nana et al. (2009) ont réalisé une étude sur l'adsorption de Fer(II) sur la base des oxydes d'aluminium et plus particulièrement la boehmite (γ -AlOOH) dans un milieu anoxique. Il a montré que les ions Fe^{2+} peuvent être éliminés par une complexation de surface donnant lieu aux complexes [$\equiv \text{AlOFe}^+$] à des sites de surface à faibles et fortes liaisons. Cette étude a également prouvé que les ions calcium, sulfate et hydrogénocarbonate, présents dans les eaux souterraines, n'ont pas d'effet sur l'adsorption de Fe (II).

Le procédé membranaire pour la déferrisation

Il existe quatre principaux procédés membranaires à gradient de pression qui sont utilisés pour produire de l'eau potable : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI). Les différentes membranes se distinguent par leur structure poreuse et donc par la taille des particules et des molécules qui peuvent être retenues ainsi que par la pression transmembranaire requise. Pour l'élimination du fer, la filtration peut être ainsi couplée à une oxydation par aération, par un ajout de chlore (Choo et al., 2005), ou une fixation polymérique.

Certains ont traité des solutions aqueuses riches en fer par oxydation-précipitation couplée à l'ultrafiltration pour avoir une eau avec des concentrations en fer dans les limites recommandée. La cinétique d'oxydation

et de précipitation du fer durant l'ultrafiltration en présence ou non d'ion sulfate et de l'éthylène diamine tétraacétique (l'EDTA) a été étudiée par Hamdeni (2017). L'objectif était de mettre en évidence la présence de substances se liant avec le fer sur sa rétention. Ils ont montré que la présence de l'ion sulfate en solution ralentit de façon significative la cinétique d'oxydation-précipitation de fer en raison de la formation complexes fer-sulfate. Dans le cas de l'EDTA des complexes fer-EDTA sont formés. Un colmatage de la membrane est observé et dû au bouchage de pores de la membrane par complexes formés. Les résultats montrent également que la concentration en fer dissous diminue de 2,8 à 0,1 mg/L après 30 min, à un pH égal à 7,3, en présence de sodium pour une vitesse d'agitation de 500 rpm et un flux d'air de 150 L/h.

Choo et al. (2005) ont utilisé l'oxydation du fer par une quantité plus importante de chlore suivie de l'ultrafiltration. Ces auteurs ont étudié l'effet des doses de chlore sur le déferrisation. Les conclusions montrent que le taux de rétention du fer dissous est proche de 100% après un temps de contact de 20 min avec une dose de chlore de 3 mg/L. La turbidité augmente alors de 0,2 à 90 NTU.

Kenari et al. (2016) ont étudié les performances de l'oxydation du fer suivie d'une ultrafiltration en utilisant une membrane céramique tubulaire et une membrane polymère de fibres creuses. L'oxydation est réalisée par l'injection en entrée d'une colonne de permanganate de potassium pour l'oxydation du manganèse et l'injection de sodium et hypochlorite pour l'oxydation du fer dissous. Ces auteurs montrent que le colmatage des membranes d'ultrafiltration est influencé par les caractéristiques de l'eau telles que le pH, la force ionique et la dureté de l'eau.

Côté et al. (1998) décrivent la mise en place d'une usine de traitement de l'eau de 2 70 m³/jour dans la ville de Rothesay au Nouveau-Brunswick (Canada). Les membranes utilisées sont des membranes immergées ayant une taille moyenne de pores 0,1 µm. L'oxydation du fer est assurée par aération et celle du manganèse par le permanganate de potassium. La pression transmembranaire est inférieure à la pression atmosphérique, la température de l'eau est à peu près constante à 10°C et la perméabilité varie de 0,04 à 0,2 m³/m².h.bar. Des rétro-lavages de 30 s toutes les 15 min permettent de récupérer jusqu'à 95% de la perméabilité initiale tout en conservant une qualité d'eau traitée élevée. Les lavages chimiques au chlore n'ont lieu que tous les trois mois et demandent peu de manipulations. Les résultats montrent la concentration en manganèse dans l'eau traitée, toutefois, aucun résultat n'est présenté sur la concentration en fer.

Ellis et al. (2000) ont utilisé l'oxygène comme oxydant suivie d'une microfiltration pour l'élimination du fer et du manganèse contenus dans des eaux artificielles et naturelles. Ces auteurs ont confirmé les résultats de Stumm

et al., (1961). En effet, l'oxydation du fer est totale après quelques minutes à un pH égal à 8 et à une température de 8°C avec les deux types d'eaux. Ils ont expliqué que le taux d'élimination relativement élevé de Mn^{2+} est dû à l'adsorption de ce dernier sur l'hydroxyde de fer formé et/ou par un effet catalytique des oxydes de fer et de manganèse entraînant une co-précipitation de Fe^{2+} et Mn^{2+} .

Volchek et al. (1993) couplent la microfiltration ou l'ultrafiltration pour l'élimination des ions métalliques des eaux souterraines à une fixation polymérique pour l'élimination de plusieurs ions métalliques (Fe, Mn, Ca). Les agents de fixation utilisés sont l'acide polyacrylique, un sel de sodium polyacrylique ou l'acide polystyrène sulfonique. Ils montrent également que la rétention des espèces considérées augmente de la manière suivante $Ca < Mn < Fe$ et avec le pH. Pour un pH supérieur à 6,5, la rétention en fer est presque totale. Les limites du procédé sont liées à son coût ; toutefois les auteurs montrent qu'il est possible de régénérer l'agent de fixation polymérique.

Concernant la déferrisation des eaux naturelles, l'ultrafiltration est le procédé de séparation le plus exploité en raison de sa rentabilité et sa simplicité. Bien que ce procédé ait montré une certaine performance, il présente toujours un problème de colmatage quand il s'agit de la déferrisation (Choo et al, 2005).

Conclusion

A la fin de cet article, nous tenons à signaler que ce travail portait sur une revue sur des processus physicochimiques de déferrisation des eaux souterraines. La revue de la bibliographie a montré que plusieurs procédés physicochimiques de traitement de fer dans les eaux souterraines sont mises en place et faisant intervenir des réactions telles que l'oxydation du Fe(II) par l'oxygène de l'air, l'adsorption du fer (II), la coagulation-floculation, le traitement membranaires et la précipitation sous forme de $Fe(OH)_3$ au voisinage de l'électrode. Ainsi, dans le but de comprendre le processus global d'élimination du fer, une analyse approfondie de chaque procédé s'en est suivie.

Il ressort de cette étude que l'oxydation-filtration est la technologie la plus utilisée. Les facteurs qui peuvent influencer cette oxydation sont entre autres, le pH qui accélère la cinétique d'oxydation s'il est élevé ; l'alcalinité par l'influence des certains ions limitent la chute du pH et l'effet de la force ionique et de certains ions étrangers. D'autres oxydants forts comme le chlore, l'ozone et le permanganate...peuvent être utilisés en dehors de l'oxygène. L'ozone reste l'oxydant le plus performant mais présente certains inconvénients et la mise en œuvre reste coûteuse.

Avec le traitement par coagulation-floculation le pH influence sur l'élimination des matières organiques en suspension dans l'eau, Un excès du coagulant abaisse le pH et par conséquent la cinétique de l'oxydation. Mais augmente également les coûts d'exploitation. Tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité insuffisante de l'eau traitée. On note également une influence de la température et de la turbidité qui sont à contrôler de très près.

Cette revue à elle seule ne suffit pas, elle donne juste des informations importantes sur les travaux déjà réalisés et qui pourront accentuer d'autres études pouvant améliorer l'efficacité du traitement du fer dans les eaux souterraines. C'est dans ce cadre que nous projetons une étude poussée sur le problème d'oxydation de fer relevé dans ce travail, et qui pourrait contribuer non seulement à améliorer les technologies de traitement de eaux, mais également à la lutte contre le problème d'accès à une eau potable dans le monde.

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.

Références:

1. Adgar A., Cox C.S. & Böhme T.J. (2000). Performance improvements at surface water treatment works using ANN-based automation schemes. Transactions Inst. Chem. Eng., vol.78, Part A, pp. 1026-1039.
2. Ahmad B.J., Chenga W.H., Lova W.M., Nora'ainia A. M.J. & Megat M.N. (2005). Study on the removal of iron and manganese in groundwater by granular activated carbon. Désalinisation, vol.182, pp.374-353.
3. Amira Doggaz, (2021). Déferrisation des eaux par procédé d'électrocoagulation: étude des phénomènes physico-chimiques et réactionnels impliqués. Thèse de Doctorat en Génie des procédés, Université de Lorraine-Université de Carthage-Tunisie.
4. Amirtharajah A. & Mills K.M. (1982). Rapid-mix design for mechanism of alum coagulation. J. Am. Water Works Ass, vol.74 (4): pp 210-216.
5. Awwa A. & Wef. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, Government Printing Office, pages multiples.

6. Azher E.N., Gourich B., Vial C., Behaj Soulami. & Ziyad M. (2008). Study of ferrous oxidation in Morocco drinking water in an airlift reactor. *Chemical Engineering and Processing*, vol.47, pp. 1877-1886
7. Bartels J.H.M., Burlingame G.A. & Suffet L.H. (1986). Flavor profile analysis: taste and odor control for the future. *Journal American Water Works Association*, vol. 78(3), pp 50-55.
8. Baxter C.W., Zhang Q., Stanley S.J., Shariff R., Tupas R.R.T. & Stark L. (2001a). Drinking water quality and treatment: the use of artificial neural networks. *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 28 pp. 26-35.
9. Baxter C.W., Stanley S.J. & Zhang Q. (1999). Development of a full-scale artificial neural network model for the removal of natural organic matter by enhanced coagulation. *J. Water Supp. Res. Technol. AQUA*, vol. 48, pp. 129-136.
10. Baxter C.W., Shariff R., Stanley S.J., Smith D.W., Zhang Q. & Saumer E.D. (2002). Model based advanced process control of coagulation. *Water Sci. Technol.*, p. 45, 9-17.
11. Baxter C.W., Tupas R.R.T., Zhang Q., Shariff R., S.J. Stanley, Coffey B.M. & Graff K.G. (2001b). Artificial intelligence systems for water treatment plant optimization. *Am. Water Works Ass. Res. Found. and Am. Water Works Ass., Denver, CO, États-Unis*, p.141.
12. Bernazeu F., Hubele C., Brodard E, Dalga N., (1990). Utilisation du streaming current detector pour l'asservissement de la clarification d'une eau de surface. *Water Supply*, Volue 9, p 39-47
13. Böhme T.J., Cox C.S. & Lowdon A. (1999). Performance assessment of a neuro self-tuning PI controller to be used at a water treatment plant: Proceedings of the American Control Conference, San Diego, CA, États-Unis, pp. 3216-3220.
14. Boucha Lamrini, Le Lann M.V., El Khadr Lakhel et Ahmed B. (2007). Gestion supervisée d'une unité de coagulation pour la potabilisation des eaux à partir d'une méthodologie d'apprentissage et d'expertise. *Revue des sciences de l'eau*, vol.20(4), pp 325-338.
15. Boureima Cissé. (1992). Etude des performances de deux unités expérimentales de déferrisation des eaux de forages au Burkina Faso. *Mémoire de fin d'études en Master*.
16. Brodard E., Bordet J., Bernazeu F., Mallevalle J. & Fiessinger F. (1989). Modélisation stochastique d'une usine de traitement de l'eau potable. 2^{ème} Rencontre internationale Eau et Technique Avancées, Montpellier.
17. Cardot C. (1999). Les traitements de l'eau : Procédés physicochimiques et biologiques. Ellipses Edition Marketing S.A., p. 247.

18. CE. (1998). Directive 98/83/CE du Conseil Qualité des eaux destinées à la consommation humaine. JOCE, pp.330 : 32-54
19. Chen C.L. & Hou P.L. (2006). Identification de modèles flous et conception d'un système de contrôle pour le dosage de produits chimiques de coagulation dans l'eau potable. *Water Supply*, vol.6 (3), pp.97-104.
20. Choo K.H., Lee L. & Choi S. J., (2005). Iron and manganese removal and membrane fouling during UF in conjunction with prechlorination for drinking water treatment. *Journal of Membrane Science*, vol. 267, pp.18-26.
21. CNRS-Nancy. (2004). Découvrir l'eau, situation mondiale
22. Clark M.M. & Heneghan K.S. (1991). Surface Water Treatment by Combined Ultrafiltration IPAC Adsorption coagulation for Removal of Natural Organics, Turbidity and Bacteria'; *Proceedings of Membrane Technologies. Water Industry*, pp. 345-358.
23. Couillard D., Lafrance P. et Lessard S. (1992). Evaluation de la qualité organoleptique de l'eau potable dans le réseau de distribution de East-Broughton (Beauce) et suggestion d'un procédé de traitement- Université du Québec.
24. Côté P., Mourato D., GUngerich, C., Russell, J. & Houghton, E. (1998). Immersed Membrane Filtration for the Production of Drinking Water: Case Studies. Presented at ISWA Conference "Membranes in Drinking mid Industrial Water Production, Amsterdam, Pays- Bas, p. 9.
25. CREPA (1996). La déferrisation des eaux de forages
26. Critchley R.F., Smith E.O. & Pettit P. (1990). Automatic coagulation control at water treatment plants in the North-west region of England. *Water Environment. Journal.*, vol. 4, pp. 535-543.
27. Cuvelier A. (2023). Repenser notre rapport à l'eau. *Multitudes*, vol.91, pp. 19-28.
28. Daré W. & Ba A. (2023). Justice environnementale dans les espaces ruraux en Afrique, Versailles, éditions Quæ, 224 p.
29. Degrémont S.A. (1989). *Momento technique de l'eau*. Degrémont (10^{ème} Edition), 1459 pages.
30. Degrémont S.A. (2004). *Momento technique de l'eau-Tome 1 et 2*. Degrémont (10^{ème} Edition), 1718 pages.
31. Ellis D., Bouchard C. & Lantagne G. (2000). Removal of iron and manganese from groundwater by oxidation and microfiltration. *Desalination*, vol. 130, pp. 255-264.
32. Elwakeel K.Z. (2009). Removal of Reactive Black 5 from aqueous solutions using magnetic chitosan resins. *J Hazard Mater*, vol. 167, pp. 383-392

33. Evans, J., Enoch, C., Johnson, M. & Williams P. (1998). Intelligent based auto-coagulation control applied to a water treatment works. Proceedings of International Conference on Control, pp. 141-145.
34. Sambou. F.M.P. ; Tamba S. & Abdou Duouf. (2001). Etude de faisabilité d'une station de déferrisation à Kolda-Sénégal. Projet de fin d'étude en ingénierie de conception-Département Génie civil de l'Université Cheik Anta Diop-Daka-Sénégal.
35. Godart H. (2008). Traitements des eaux de distribution. Traité Construction, vol.C.5 200. Technique de l'ingénieur.
36. Goné D. L. (2001). Contribution des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines à l'étude fonctionnement des systèmes hydrauliques en milieu fissuré de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat-Université d'Abobo-Adjamé. Côte d'Ivoire. (214 p.).
37. Hatva T. (1988). Treatment of groundwater with slows and filtration. Water Science Technology vol.20(3), pp.141–147.
38. Hamdeni R. (2018). Performances du système hybride précipitation / microfiltration et de la nanofiltration dans l'élimination du fer pour la potabilisation de l'eau. Thèse de Doctorat, Université de Lyon.
39. Hamdouni A, Montes-Hernandez G, Tlili M, Findling N, Renard F. Putnis C. (2017). Removal of Fe(II) from groundwater via aqueous portlandite carbonation and calcite-solution interactions, Chemical Engineering. Vol.283, pp.401–41.
40. Heddami S., Dechemi N. (2008). Modeling of optimal coagulant dose using artificial neural network, application to water treatment plant of Boudouaou-Algérie. EJSR, volume 20, pp 652-663.
41. Heddami S., Bernard A. & Decheni N. (2011a). Modelling of coagulant dosage by neuro Fuzzy Technique, application to Boudouaou. Water treatment plant (Algérie) 4ème Colloque international "Resources en eau et développement durable: CIRED".
42. Heddami S., Bernard A. & Decheni N. (2011b). ANFIS-based modelling for coagulant dosage in drinking water treatment. A comparative study. ASCE Journal of Environmental Engineering. Doi: 10.1007/s10661-0011-2091-x.
43. Heddami S., Bernard A. & Decheni N. (2011c). Applications of Radial Basics Function and generalized regression neural networks for modelling of coagulant dosage in a drinking water treatment: A comparative study. ASCE Journal of Environmental Engineering, vol. 137, pp.1209-1214.
44. Heddami S., Abdelmalek B. & Noureddine D. (2012). Modélisation de la dose de coagulant par les systèmes à base d'inférence floue (ANFIS)

- application à la station de traitement des eaux de Boudouaou (Algérie). *Revue des Sciences de l'Eau*, Vol. 25 (1), pp. 1-19.
45. Hernandez, H & Lann, M.V. (2006). Development of a neural sensor for on-line prediction of coagulant dosage in a potable water treatment plant in the way of its diagnosis. *Iberamia Sbia*, vol. 4140, pp. 249–257.
 46. Huck P.M. (1990). Measurement of biodegradable organic matter and bacterial growth potential in drinking water. *Journal American Water Works Association*, vol. 82(7): pp. 78-86.
 47. Joo S.H. & Grable J.E. (2004). An exploratory framework of the determinants of financial satisfaction. *Journal of Family and Ecomivis Issues*, vol. 25, pp.25-50.
 48. Kamagaté B., Séguis L., Goné Droh L., Favreau G. et K. Kouadio. (2008). Processus hydrogéochimiques et séparation d'hydrogrammes de crue sur un bassin versant en milieu soudano-tropical de socle au Bénin (Donga, haute vallée de l'Ouémé). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*. vol. 21(3), pp. 363–372.
 49. Kenari S.L.D. et Barbeau B. (2016). Taille et potentiel zêta du fer et du manganèse oxydés dans le traitement de l'eau : influence du pH, de la force ionique et de la dureté. *Journal de Génie de l'environnement*, vol 42 (5) : 04016010.
 50. King D.W. (1998). Role of Carbonate Speciation on the Oxidation Rate of Fe(II) in Aquatic Systems. *Environmental Science and Technology*, vol. 32 (19), p. 2997-3003.
 51. Lakhili Ferdaous., Benabdelhadi M., Bouderkha N., Lahrach H. et Lahrach A. (2015). Etude de la qualité physicochimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Beht (Maroc). *European Scientific Journal (ESJ)*, vol.11, pp.132-147.
 52. Lamrini B., Le Lann M.V., Benhammou A. & LakhaL K. (2005b). Detection of functional states by the "Lamda" classification technique: application to a coagulation process in drinking water treatment. *Elsevier C.R. Phys.*, vol.6, pp.1161-1168
 53. Lefebvre E. et B. Legube (1993). Coagulation floculation par le chlorure ferrique de quelques acides et phénols en solution aqueuse. *Water Res.*, vol. 27, pp. 433-447.
 54. Lind C. (1994a).Coagulation control and optimization: Part one. *Pub. Works*, pp. 56-57.
 55. Maier H.R., Morgan N., Chow W.K.C. (2004). Use of artificial neural networks for predicting optimal alum doses and treated water quality parameters. *Environmental Modelling Software*, Vol.19(5), pp. 485-494.

56. Maillot S., Duchesne G., Talbot A.N. et Rousseau D. Chaumont, (2006). Approvisionnement en eau potable et santé publique : projections climatiques en matière de précipitations et d'écoulements pour le sud Québec - Rapport de recherche No R-977 - Institut national de santé publique du Québec.
57. Mejri W. (2017). Contribution à l'étude de l'élimination du fer ionique de l'eau et l'interaction fer-carbonate de calcium. Thèse de doctorat, INSAT, Université de Carthage (Tunisie).
58. Michalakos G. D., Nieva, J. M., Vaynes, D. V. & Lybertos, G., (1997). Removal of iron from potable water using a trickling filter. *Water Resource*. Vol. 31(5), pp. 991–996.
59. Millero, J.F. & Izaguirre, M. (1989). Effect of ionic strength and ionic interactions on the oxidation of Fe(II). *Journal of Solution and Chemistry*, vol. 18 (6), pp. 585-599.
60. Mirsepassi A., Cathers B. & Dharmappa H. (1995). Application of artificial neural networks to the real time operation of water treatment plants. *IEEE International Conference on Neural Networks Proceedings*, vol.1, pp. 516-521.
61. Mohd R., Rozainy M.A.Z., Rhahimi J., Aizat A., Mohd N.A., and Chee W.K. (2016). Lattice-Boltzmann Study of Cascade Aerator System - *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*,
62. Mollah M.Y.A., Morkovsky, P., Gomes J.A., Kesmez M., Parga, J. & Cocke J. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 114, pp. 522-530
63. Mouchet P. (1992). From conventional to biological removal of iron and manganese in France. *Journal AWWA*, vol.84(4), pp.158–167.
64. Nahm E., LEE S., Woo K., Lee B. & Shin S. (1996). Development of an optimum control software package for coagulant dosing process in water purification system. *Proceedings of the Society of Instrument and Control Engineers Annual Conference, Tottori, Japon*, vol. 35, pp. 1157-1161.
65. Namkung E. & Rittmann B.E., (1987). Removal of taste- and odor-causing compounds by biofilms grown on humic substances. *Journal American Water Works Association*, vol. 79(7), pp. 107-112.
66. Nana R., Tamini Z. & Sawadogo M. (2009). Effets d'un stress hydrique intervient pendant le stade végétatif et la phase de floraison chez le gombo. *Int. J ; Vhem. Sci.*, vol. 3(5), pp.1161-1170.
67. Nemade P.D., Kadam A.M. & Shankar H.S. (2008). Remediation of arsenic and iron from water using constructed soil filter. A novel approach. *Asia Pacific J. Chemical Eng.*, vol.3, pp. 497-502.

68. Not Christelle. (2006). Caractérisation de l'oxydation du fer ferreux en présence de deux bactéries ferro-oxydantes neutrophiles, du champ hydrothermal de Loihi, Hawaï. Mémoire de Maîtrise en biologie. Université du Québec-Montréal,
69. OMS. (1986). Contrôle de la qualité de l'eau de boisson destinée à l'approvisionnement des petites collectivités. Vol. 3, Genève, 134 p. 15.
70. Pacini V.A., Ingalinela A.M. & Sanguinetti G. (2005). Removal of iron and manganese using biological roughing up flow filtration technology. *Water Res.* 39(18): 4463-75.
71. Park S., Bae H., & Kim C. (2008). Decision model for coagulant dosage using genetic programming and multivariate statistical analysis for coagulation/flocculation at water treatment process. *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 25 (6) pp. 1372-1376.
72. Potgieter J.H., Mcridler R., Sihlali Z., Schwarzer R. & Basson N.. (2005). Removal of Iron and Manganese from Water with a High Organic Carbon Loading. Part I: The Effect of Various Coagulants. *Water Air, and Soil Pollution*, vol.162, pp.495-9
73. Ratnaweera H. et Blom H. (1995). Optimisation of coagulant dosing control using real-time models selective to instrument errors. *Water Suppl.*, volume 13, p. 285-289.
74. Renaudin Viviane (2003). Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. Paris : ENS, Eduscol (Culture Sciences Chimie).
75. Salvato J.A. (1992). *Environmental Engineering and Sanitation*, 4th edn. John Wiley and Sons, New York.
76. Samira Azzaoui, Mohammed El Hanbali et Marc Leblanc, (2002). Cuivre, plomb, fer et manganèse dans le bassin versant du Sebou ; Sources d'apport et impact sur la qualité des eaux de surface. *Water Qual. Res. J-Canada*, vol. 37(4), pp. 773-784.
77. Sarah Rio. (2016). Etude des métabolismes du fer et de l'hème au cours de l'érythropoïèse normale et pathologique (anémie de Blackfan-Diamond). Thèse de Doctorat en biologie cellulaire et moléculaire de l'Université de Sorbone Paris Cité.
78. Seghairi N., Mimeche L., Bouzid A. et Ayachi Y. (2017). Traitement des eaux usées par coagulation-flocculation en utilisant le sulfate d'aluminium comme coagulant. *Journal of Water and Environment Sciences*, vol.1, pp. 230-234.
79. Sharma S.K. (2001). Adsorptive iron removal from groundwater. Thèse de doctorat, Wageningen University, The Netherlands.
80. Sharma S.K., Petrusovski B. & Schippers J.C. (2005). Biological iron removal from groundwater. *Water Supply*, vol. 54, pp. 239-247.

81. Soggard E.G., Medenwaldt R. & Abraham-Peskir J.V. (2000) Conditions and rates of biotic and abiotic iron precipitation in selected Danish freshwater plants and microscopic analysis of precipitate morphology. *Water Resource*. Vol.34(10), pp.2675–2682.
82. Sommerfeld E.O. (1999). *Iron and Manganese Removal Handbook*. American Water Works Association, Denver, CO.
83. Souhaila Trabelsi. (2011). *Etudes de traitement des lixiviats des déchets urbains par les Procédés d'Oxydation Avancée photochimiques et électrochimiques. Application aux lixiviats de la décharge tunisienne "Jebel Chakir"*. Thèse de Doctorat, Université Paris-Est et Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie (Université Carthage-Tunisie).
84. Sperring D.A., Chow C.W., Mulcahy D.E., Dvey D.E. & Hsakar M.R. (1992). Neural network applied to sensory signal processing determination of copper in water. *Journal of intelligent Materials Systems and Structures*, vol.3, pp. 418-431.
85. Stegpnjak L., Kegpa U., Stan'czyk-Mazanek E., (2008). The research on the possibility of ultrasound field application in iron removal of water, *Desalination*, vol. 223, pp. 180–186.
86. Stumm W. & Lee G. F., (1961). Oxygenation of ferrous iron. *Indust. Engng. Chem.*, vol.53(2), pp.143–146.
87. Tahir S.S. and Rauf N. (2006). Removal of Cationic Dye from Aqueous Solutions by Adsorption onto Bentonite Clay. *Chemosphere*, vol.63, pp.1842-1848.
88. Tamura H., Goto K. & Nagayama M. (1976a). Effect of ferric hydroxide on the oxygenation of ferrous ions in neutral solutions. *Corrosion Science*, vol.16, pp. 197-207.
89. Tessier A., Fortin D., Belzile N., Devitre R.R & Leppard G.G. (1996). Metal Sorption to Diagenetic Iron and Manganese Oxyhydroxides and Associated Organic Matter: Narrowing the Gap between Field and Laboratory Measurements. *Geochimica et Cosmochimica Acta*; vol. 60, pp. 3874-404.
90. Twort, A. C., Ratnayaka, D. D. & Brandt, M. J. (2000). *Water Supply*, 5th edn. Arnold, London
91. Valentin, A. 1999. Application de la méthode d'analyse morphométrique en réseau à la différenciation des espèces *Sebastes fasciatus* et *Sebastes mentella* dans le golfe du Saint-Laurent. *Mémoire de Maîtrise*, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, 137 p.
92. Volchek K., Krenstsel E., Zhilin Y., Shtereva G. & Dytnerky Y. (1993). Polymer binding/ultrafiltration as a method for a method for concentration and separation of metals. *Journal of Membrane Science*, vol. 79 (2), pp. 253-272

93. WHO. (2004). Guidelines for drinking-water quality. Vol.1, 336 pages.
94. Weinberg et Geoffrey. (1996). Iron overload as a mechanism for the lowered survival in AIDS patients receiving dapsone-iron protoxalate for secondary prophylaxis of *Pneumocystis carinii* pneumonia. *The Journal of infectious diseases*, vol. 174(1): pp. 241-2.
95. Weishaar J.L., G.R. Aiken, B.A., Bergamaschi, M.S., Fram, R., Fujii & K. Mopper. (2003). Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon. *Environ. Science Technology*, Vol. 37, pp. 4702-4708.
96. Wu G.D. & Lo S.L. (2008). Predicting real-time coagulation dosage in water treatment by artificial neural networks and artificial networks based fuzzy inference system. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 21(8), pp 1189-1195.
97. Wu G.D. & Lo S.L. (2010). Effects of data normalization and inherent factor on decision of optimal coagulation dosage in water treatment. *Artificial Neural Network Expert Systems with Applications*, vol. 37, pp 4974-4983.
98. Yu R., Kang S., Law S.L. et Chen M. (2000). Application of artificial neural network to control the coagulant dosing in water treatment plant. *water Sci. Technol.*, vol.42, pp. 403-408
99. Zogo D. (2010). Etude de l'élimination du fer et du manganèse lors de la potabilisation de l'eau d'une retenue en cours d'eutrophisation : Cas de la retenue d'eau de l'Okpara à Parakou au Bénin. Université d'Abomey-Calavi, Cotonou. *Journal of Water Resource and Protection*, vol.6 No.14, pp. 2093-2101.

Hématuries Macroscopiques dans le Service d'Urologie- Andrologie du CHU de KARA, Togo : Aspects Épidémiologiques, Cliniques, Étiologiques, et Thérapeutiques

Mbuya Musapudi Eric

CHU Kara, Kara, Togo
CNHU-HKM Cotonou, Benin
CUL, UNILU, RDC

Sikpa Komi Hola

CHU Kara, Kara, Togo

Agbedey Messan Semefa

CHP Kpalime, Kpalime, Togo

Botcho Gnimdou

CHR Sokodé, Sokodé, Togo

Nonoa Bawa

Sade Sabi Rachid

CHU Kara, Kara, Togo

Sewa Edoe Viyome

CHP d'Aného, Aného, Togo

Tengue Kodjo

CHU Sylvanus Olympio, Lomé, Togo

Kpatcha Tchilabalo Matchonna

CHU Kara, Kara, Togo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p105](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p105)

Submitted: 06 January 2024

Accepted: 12 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Mbuya M.E., Sikpa K.H., Agbedey M.S., Botcho G., Nonoa B., Sade S.R., Sewa E.V., Tengue K. & Kpatcha T.M. (2024). *Hématuries Macroscopiques dans le Service d'Urologie-Andrologie du CHU de KARA, Togo : Aspects Épidémiologiques, Cliniques, Étiologiques, et Thérapeutiques*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 105.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p105>

Résumé

Introduction : L'hématurie macroscopique est un motif fréquent de consultation en urgence dans un service d'urologie. L'objectif de cette étude était d'évaluer les aspects épidémiologiques, cliniques, étiologiques et

thérapeutiques des hématuries macroscopiques, dans le service d'Urologie-Andrologie du CHU de KARA.

Méthodologie : Il s'est agi d'une étude descriptive transversale, avec une récolte rétrospective des données. Elle avait porté sur 45 patients avec hématurie macroscopique, hospitalisés dans ledit service au cours de la période allant de janvier 2020 à septembre 2023 soit 45 mois.

Résultats : La fréquence hospitalière était de 10,5%. Les patients étaient majoritairement de sexe masculin (95,6%) avec un âge moyen de $62,5 \pm 16,2$ ans. L'hématurie était totale chez 43 cas soit (95,6%). L'hypertrophie bénigne de la prostate était l'étiologie principale retrouvée dans 40% des cas, suivie du cancer de la prostate dans 24,4% des cas, et de la tumeur vésicale dans 15,5% des cas. Le Sondage uretrovesical suivi de l'irrigation ont été réalisés chez 88,9% des patients ; Quinze (15) patients ont été opérés dont 33,3% d'adénomectomie prostatique d'hémostase par voie haute. Aucun décès n'a été enregistré.

Conclusion : L'hématurie est une urgence urologique à spectre diagnostique très large allant de pathologies bénignes comme l'infection (cystite hémorragique) ou le calcul à des tumeurs malignes. Elle implique une prise en charge précoce et rigoureuse.

Mots-clés: Hématurie macroscopique, prostate, étiologie, traitement

Macroscopic Hematuria in the Urology-Andrology Department of the University Hospital Center (CHU) of KARA, Togo : Epidemiological, Clinical, Etiological, and Therapeutic Aspects

Mbuya Musapudi Eric

CHU Kara, Kara, Togo
CNHU-HKM Cotonou, Benin
CUL, UNILU, RDC

Sikpa Komi Hola

CHU Kara, Kara, Togo
Agbedey Messan Semefa
CHP Kpalime, Kpalime, Togo

Botcho Gnimdou

CHR Sokodé, Sokodé, Togo

Nonoa Bawa

Sade Sabi Rachid

CHU Kara, Kara, Togo

Sewa Edoe Viyome

CHP d'Aného, Aného, Togo

Tengue Kodjo

CHU Sylvanus Olympio, Lomé, Togo

Kpatcha Tchilabalo Matchonna

CHU Kara, Kara, Togo

Abstract

Introduction : Macroscopic hematuria is a frequent reason for emergency consultation in a urology department. The objective of this study was to evaluate the epidemiological, clinical, etiological and therapeutic aspects of macroscopic hematuria, in the Urology-Andrology department of KARA University Hospital.

Methodology: This was a descriptive, cross-sectional study, with retrospective data collection. It focused on 45 patients with macroscopic hematuria, hospitalized in the said department during the period from January 2020 to September 2023, either 45 months.

Results : Hospital frequency was 10.5%. The patients were predominantly male (95.6%) with a mean age of 62.5 ± 16.2 years. Hematuria was total in 43 cases (95.6%). Benign prostatic hypertrophy was the main etiology found in 40% of cases, followed by prostate cancer observed in 24.4% of cases, and

bladder tumor in 15.5% of cases. The uretrovesical catheterization followed by irrigation was carried out in 88.9% of patients; Fifteen (15) were operated on, including 33.3% for prostatic adenomectomy for upper hemostasis. No deaths have been recorded.

Conclusion : Hematuria is a urological emergency with a very broad diagnostic spectrum ranging from benign pathologies such as infection (hemorrhagic cystitis) or stones to malignant tumors. It involves early and rigorous treatment.

Keywords: Macroscopic hematuria, etiology, treatment

Introduction

L'hématurie est définie par la présence anormale de sang dans les urines visible ou non à l'œil nu. Elle devient macroscopique lorsque le nombre d'érythrocytes dépasse 500.000 hématies /ml (Hemett et al, 2010 ; Derek et al, 2008).

C'est un motif fréquent de consultation en urologie. Son spectre diagnostique est très large, allant de pathologies bénignes comme l'infection (cystite hémorragique) ou le calcul à des tumeurs malignes de l'appareil urinaire, en passant par certaines néphropathies (Verschuren et al, 2008 ; Benamrann et al, 2013).

Samake au Mali (2006), rapporte une fréquence de 4,6% de cas d'hématurie macroscopique, de l'ensemble des patients hospitalisés en urologie avec la tumeur de vessie comme première cause de cette hématurie dans 61,3% des cas. Paré au Benin (2012), rapporte une série de 69 patients, dont les principales étiologies étaient le cancer de la prostate dans 36,2% des cas, et l'hypertrophie bénigne de la prostate dans 31,9% des cas.

Le traitement est d'abord conservateur basé sur l'irrigation vésicale et l'administration des molécules. Les cas sévères et hémodynamiquement instables peuvent être soumis à un traitement chirurgical (Abt et al, 2013 ; Ben-David et al, 2021).

Au Togo, une étude menée par Tengue (2014) au CHU Sylvanus Olympio de Lomé a montré qu'une transfusion sanguine avait été réalisée dans 64,8% des cas et il y avait 4 cas de décès. Au CHU Kara, aucune étude portant sur ce sujet n'a été publiée.

L'objectif de cette étude est d'évaluer les aspects étiologiques et thérapeutiques d'hématuries macroscopiques dans le service d'Urologie-Andrologie du CHU de KARA.

Patients et méthodes

Il s'est agi d'une étude descriptive transversale avec une récolte rétrospective de données. Elle a été menée dans le service d'urologie du Centre Hospitalier Universitaire de Kara.

L'échantillonnage était exhaustif de convenance, intégrant 45 patients avec hématurie macroscopique, hospitalisés dans ledit service au cours de la période allant de janvier 2020 à septembre 2023, soit 45 mois.

Le diagnostic de l'hématurie macroscopique était basé essentiellement sur l'aspect clinique de l'urine (présence du sang avec ou sans caillots), les antécédents (colique néphrétique, traumatisme, bilharziose), facteurs de risque de carcinome urothélial (tabac, exposition professionnel), anomalie au toucher pelvien

Toute hématurie d'origine néphrologique (non caillottante, sans symptômes urologiques) et les cas d'hématurie notés lors d'une chirurgie portant sur la vessie ont été exclus de notre étude.

Les variables que nous avons analysées sont en rapport avec les données épidémiologiques et sociodémographiques (la fréquence, l'âge et le sexe), les données cliniques (les antécédents, le motif de consultation, le mode d'admission, les symptômes associés et les signes physiques) les données paracliniques, le diagnostic, les données thérapeutiques et évolutives.

Les données collectées sur les registres et dossiers des patients ont été mentionnées sur un questionnaire préétabli. Les renseignements ainsi récoltés ont été saisis sur Excel 2010, traités et analysés avec le logiciel Epi info 7.1.1.14.

Résultats

Au cours de notre période d'étude, nous avons colligé 45 patients avec hématurie macroscopique, sur 429 hospitalisés en urologie, soit une fréquence de 10,5%.

L'âge moyen était de $62,5 \pm 16,2$ ans avec des extrêmes de 14 ans et 95 ans. Le tableau I reprend les différentes classes d'âge ainsi que leur fréquence. En rapport avec le sexe, la quasi-totalité des patients était de sexe masculin (95,6%) ; sex ratio de 22,5 en faveur des hommes. La majorité des patients étaient cultivateurs dans 42,2% des cas (Tableau II).

Tableau I. Répartition des patients selon les classes d'âge

CLASSE D'AGE (Année)	NOMBRE DE CAS	%
<16	1	2,2
[16-30[0	0,0
[30-45[6	13,3
[45-60[11	24,5
[60-75[18	40,0
≥75	9	20,0
TOTAL	45	100,0

L'hématurie totale était le motif de consultation le plus fréquent, avec 43 cas soit 95,6% de nos patients. Elle était associée à la dysurie et la pollakiurie respectivement chez 51,1% et 37,8% de patients (Tableau III). La présence des caillots de sang dans les urines a été rapportée et/ou objectivée chez 33 patients soit 73,3% des cas.

Tableau II. Répartition des patients selon leur profession

PROFESSION	NOMBRE DE CAS	%
AGENT DE SECURITE	2	4,5
CHAUFEUR	2	4,5
COMMERCANT	4	8,9
CULTIVATEUR	19	42,2
ELEVE	1	2,2
FONCTIONNAIRE	5	11,1
MENAGERE	1	2,2
OUVRIER	5	11,1
NON SPECIFIE		
TOTAL	6	13,3
	45	100,0

Tableau III. Répartition des patients selon symptômes associés à l'hématurie

SYMPTOMES ASSOCIES	NOMBRE DE CAS (n=45)	%
DYSURIE	23	51,1
POLLAKIURIE	17	37,8
BRULURE MICTIONNELLE	5	11,1
DOULEUR ABDOMINALE	3	6,7

Dans la majorité de cas, l'hématurie était apparue spontanément chez 88,9% de patients. Dans 8,9% de cas, elle était survenue au décours d'un sondage uretrovesical non traumatique pour rétention aigue d'urine ; cette hématurie était liée à une hémorragie a vacuo due à la vidange trop rapide de la vessie.

La durée d'évolution moyenne de l'hématurie avant consultation était de 16,7 Jours avec des extrêmes de 0,1 jour et 60 jours.

Concernant le mode de recrutement, 22 patients (48,9%) ont été référés d'autres hôpitaux, et 18 patients soit 40 % avaient consulté en urgence en provenance de leur domicile.

Un épisode antérieur d'hématurie a été signalé chez 7 patients soit 15,6 % parmi lesquels, 5 cas ont déjà été soignés de la bilharziose urinaire. Quatre (4) patients soit 8,9% avaient un antécédent d'adénomectomie prostatique par voie haute.

L'examen clinique notait, une pâleur conjonctivale chez 17 patients soit 37,8 % de cas, une instabilité hémodynamique chez 11 patients (24,4%) ; un patient (2,2%) avait un contact lombaire, et 9 patients (20%) étaient en rétention urinaire avec un globe vésical.

Le bilan biologique réalisé chez les patients, avait permis de noter une anémie (taux Hb <11 g/dl) chez 15 patients soit 33,3% de cas, taux de prothrombine (TP) bas (inférieur 70%) chez 3 patients (6,6%) et une élévation de la créatininémie chez 12 patients soit 26,7% de cas. L'examen cytobactériologique des urines était positif chez 11,1% de patients isolant E. coli et Staphylocoques aureus respectivement chez 3 et 2 patients.

La majorité des patients avaient réalisé l'échographie abdominopelvienne soit 39 cas (86,7%).

Deux patients soit 4,4% avaient réalisé l'uroscanner. Une la cystoscopie a été réalisée chez 11,1% de patients.

Selon les étiologies, l'hypertrophie bénigne de la prostate venait en premier lieu avec 40%, suivi du cancer de la prostate (diagnostic histopathologique) observé dans 24,4% des cas, de la tumeur de vessie avec 15,5% de cas. Le Tableau IV reprend les différentes étiologies de l'hématurie.

Tableau IV. Répartition des patients selon les étiologies de l'hématurie

ETIOLOGIE	NOMBRE DE CAS	%
BILHARZIOSE UROGENITALE	1	2,2
CANCER DE LA PROSTATE	11	24,4
HEMATURIE A VACUO	1	2,2
HYPERTROPHIE BENIGNE DE LA PROSTATE (HBP)	18	40,0
INFECTION URINAIRE	2	4,5
MALADIE LITHIASIQUE	2	4,5
TRAUMATISME VESICAL	2	4,5
TUMEUR DE LA VESSIE	7	15,5
TUMEUR DU REIN	1	2,2
TOTAL	45	100

Tous les patients avaient bénéficié d'une prise en charge initialement non chirurgicale dans le cadre urgent. Quinze (15) patients avaient nécessité une prise en charge chirurgicale. Les tableaux V et VI présentent les différents moyens thérapeutiques. Aucun décès n'a été enregistré et le séjour hospitalier moyen était de 9 jours.

Tableau IV. Répartition des patients selon les moyens non chirurgicaux de la prise en charge

MOYENS NON CHIRURGICAUX	NOMBRE DE CAS (n=45)	%
HEMOSTATIQUE	30	66,7
LAVAGE VESICAL	4	8,9
SONDAGE URETROVESICAL+	40	88,9
IRRIGATION		
TRANSFUSION	15	33,3

Tableau V. Répartition des patients selon la prise en charge chirurgicale

MOYENS CHIRURGICAUX	NOMBRE DE CAS (n=15)	%
ADENOMECTIONIE PROSTATIQUE	5	33,3
D'HEMOSTASE PAR VOIE HAUTE		
CYSTORRAHIE	2	13,3
CYSTOLITHOTOMIE	1	6,7
RTUP	4	26,7
RTUV	3	20,0

Discussion

La fréquence des hématuries macroscopiques est variable selon les études. Dans notre série, elle était de 10,5% des cas. Elle se rapproche de celle trouvée par Paré [9] au Bénin qui était de 10,8% des cas. Dans sa méta-analyse de 25 articles en Iran, Mohammad rapporte une fréquence de 16,4% (Mohammad-Javad et al, 2022). La revue de la littérature montre que les hématuries macroscopiques constituent 10 à 20% d'hospitalisation en urologie (Saye et al, 2012 ; Mariani et al, 1989). Elle est supérieure à celle retrouvée dans les séries des Saye et Mohamadou au Mali qui était respectivement des 3,8 et 5,5 % des cas, fréquence basse probablement liée à une courte période d'étude de ces deux séries (Artur et al, 2012 ; Maiga et al, 2009).

L'âge moyen de malades était de 62,5±16,2 ans. Ceci se rapproche de l'étude de Tengue (2014) au Togo qui rapporte un âge moyen de 59,55 ans. Sékou (2015) au Mali retrouve une fréquence élevée dans la classe d'âge entre 61 et 75 ans. Ceci peut se justifier par la prédominance des tumeurs prostatiques retrouvées comme cause, qui est par ailleurs l'apanage de l'homme vieillissant. Cette même raison pourrait expliquer également la prédominance masculine retrouvée dans notre série : 95,6% des cas.

L'hématurie totale était le motif de consultation le plus fréquent avec 95,6% des patients. La présence des caillots de sang dans les urines a été rapportée et/ou objectivée chez 73,3% des patients et, à la base d'une rétention vésicale complète d'urines chez 20% des patients. Tengue (2014) dans sa série, retrouve 96,3% des cas d'hématurie caillotante.

L'hématurie était associée à d'autres symptômes tels que la dysurie et la pollakiurie respectivement chez 51,1% et 37,8% des patients. Ces symptômes qui accompagnent la majorité des pathologies urinaire et prostatique (lithiasique, infectieuse et tumorale) et qui sont à la base de l'hématurie, ont été également mentionnés dans plusieurs séries (Coulibaly, 2015 ; Joshua et al, 2017).

Le délai moyen de l'hématurie était de 16,7 jours avec des extrêmes de 0,1 jour et 60 jours. Ce délai est supérieur à celui rapporté par Paré au Bénin qui était de sept (07) jours (Paré, 2012). Ces résultats pourraient être le témoin de la négligence des patients qui ont tendance à banaliser l'épisode inaugurale parfois isolée de l'hématurie ; ou alors les conditions socio-économiques précaires chez cette population, majoritairement constituée des cultivateurs soit 42,2% des cas. Un épisode antérieur d'hématurie a été retrouvé chez 15,6 % des patients parmi lesquels, 5 cas ont déjà été soignés de la bilharziose urinaire.

L'examen clinique notait, une pâleur conjonctivale dans 37,8 % de cas, une instabilité hémodynamique chez 11 patients (24,4%). Dans leurs études menées au Mali, Mohamadou (2009) et Saye (2012), avaient trouvé la pâleur respectivement chez 31,5% et 55,2%. Le retard de consultation parfois après le transit dans les centre médicaux périphériques pourrait expliquer cet état. Ce qui corrobore avec le résultat trouvé où la majorité des patients nous ont été référés soit 48,9% des cas.

Le bilan biologique réalisé chez les patients avait permis de noter une anémie (taux Hb <11 g/dl) chez 15 patients soit 33,3% de cas, une élévation de la créatininémie dans 26,7% de cas. Le même constat a été fait dans les études des Mohamadou (2009) et Sekou (2015) menées au Mali. Le retard mis dans la prise de décision de consulter par certains malades pourrait expliquer cette perturbation.

L'examen cyto bactériologique des urines était positif chez 11,1% de patients isolant respectivement E. coli et Staphylocoques aureus respectivement chez 3 et 2 patients.

Les examens d'imagerie et endoscopique ont été demandés selon le contexte clinique.

L'échographie abdominopelvienne a été réalisée par plus de la moitié des patients soit 86,7% des cas. Ceci corrobore avec le résultat de Samake (2007) au Mali qui avait trouvé un taux de réalisation de l'échographie de 83,8 % [8]. L'échographie est, de par son innocuité et son accessibilité, un examen de 1ère intention. Cependant, sa sensibilité est limitée pour les lésions de petites tailles et sa négativité ne dispense pas d'une imagerie plus sensible.

L'uroscanner, qui est un examen de référence pour l'étude du parenchyme rénal et des voies excrétrices urinaires supérieures (Tengue, 2014), n'a été réalisé que chez 4,4% des cas. Dans sa série, Paré (2012) au

Benin rapporte 2, 9% de réalisation de l'uroscanner. Son coût reste élevé et inaccessible à toutes les couches de la population.

La cystoscopie est un examen important du bilan d'hématurie qui permet la détection de lésions tumorales en relief mais également planes moins facilement visualisées en imagerie (Joshua et al, 2017), n'a été réalisée que chez 11,1% de patients. Paré (2012) au Benin, rapporte un taux faible de réalisation soit 2,9% des cas, alors qu'il était de 29,3% dans l'étude de Saye (2012) au Mali. Cette exploration peut être limitée lorsque l'hématurie est abondante.

Les étiologies de l'hématurie sont diversement trouvées par les auteurs (Benamrann, 2013). Dans notre étude, hypertrophie bénigne de la prostate venait en premier lieu avec 40% suivi de cancer de la prostate observé dans 24,4% de cas puis la tumeur de vessie avec 15,5% de cas. Ce résultat se rapproche de celui de Paré au Benin qui rapporte respectivement le cancer prostatique (36,2%), l'hypertrophie bénigne de la prostatique (31,9%) et tumeur de vessie (18,8%). Contrairement à Pratik (2023) en Inde qui avait trouvé le traumatisme rénale (38,5%), les tumeurs rénales (30,8%) et les tumeurs de vessie 15,4%) comme principales étiologies de l'hématurie. L'étude de Ho (1998) en Irlande du Nord rapporte la tumeur de vessie (14%) comme principale cause de l'hématurie. Les étiologies des hématuries macroscopiques varient d'un milieu à l'autre, les pathologies dépendant des facteurs de risque auxquelles chaque population est exposée.

Le traitement d'urgence avait consisté en un sondage urétral transurétral avec irrigation dans 88,9%), administration des antihémorragiques (Exacyl et Dicynone) chez 66,7% des cas et 33,3% ont été transfusés. Ces gestes corroborent avec la plupart d'études exploitées (Paré et al, 2010 ; Zellweger, 2010).

Quinze (15) patients ont été opérés dont une adénomectomie prostatique d'hémostase réalisée chez 33,3% des cas, une résection transurétrale de la prostate chez 26,7% des cas et une résection transurétrale de la vessie chez 20% des cas.

L'évolution des patients a été bonne, aucun décès n'a été enregistré. Tangue (2014) au Togo rapporte 4 cas de décès alors que Paré au Benin en rapporte 3 dans son étude. Notre étude a porté sur une petite série par rapport à ces études, ce qui pourrait expliquer la différence observée.

Conclusion

L'hématurie est une urgence urologique à spectre diagnostique très large allant de pathologies bénignes comme l'infection ou le calcul à des tumeurs malignes. L'évaluation clinique minutieuse permet d'orienter la paraclinique en vue d'un diagnostic précis. La prise en charge doit être précoce

et rigoureuse, elle vise l'arrêt du saignement, la stabilité hémodynamique du malade et la levée de l'étiologie.

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.

Références:

1. Abt, D., Bywater, M., Engeler, DS., Schmid, HP. (2013). *Therapeutic options for intractable hematuria in advanced bladder cancer*. Intern J Urol. 2013 ; 20 : 651–60
2. Artur, A., Łukasz, Z., Sławomir, P., Andrzej, B. (2012). *Macroscopic hematuria—a leading urological problem in patients on anticoagulant therapy : is the common diagnostic standard still advisable ?* ISRN Urology 2012 ; 710734 : 5
Doi :10.5402/2012/710734
3. Benamrann, A., Gorski, A., Ben Hamida, J., Iselin, CE. (2013). *Prise en charge de l'hématurie par le praticien généraliste : une démarche diagnostique qui coule de source ?* Rev Med Suisse 2013 ; 9 : 2294-8
4. Ben-David, R., Morgan, S., Savin, Z., Dekalo, S., Sofer, M., Beri, A. et al. 2021. *Flexible Cystoscopy in the Setting of Macroscopic Hematuria : Do the Findings Justify Its Use ?* Urologia Internationalis 2021 ; 1–7. Doi :10.1159/000517374
5. Coulibaly S. 2015. *Hématuries macroscopiques : aspects étiologiques et thérapeutiques dans le Service d'Urologie du CHU Gabriel Touré*. Thèses d'exercice de médecine générale. Bamako, 2015. <https://www.bibliosante.ml/handle/123456789/865>
6. Derek, H. et Chi-Ying, Li. 2008. *Management of macroscopic haematuria in the emergency department*. Postgraduate Medical Journal 2008 ; 84 (996) : 539–544
7. Hemett, O., Descombes, E., Eigenmann, J., Betticher, D., Hayoz, D. 2010. *Hématurie : quel algorithme pour une stratégie diagnostique efficace ?* Rev Med Suisse 2010 ; 6 : 2173-9
8. Ho, ET., Johnston, S., Keane P. (1998). *The haematuria Clinic - referral patterns in Northern Ireland*. The Ulster Medical Journal 1998 ; 67(1) : 25-28
9. Joshua, A., Bilal, C., Hassan. (2017). *Cost-effectiveness of Common Diagnostic Approaches for Evaluation of Asymptomatic Microscopic*

- Hematuria*. JAMA Intern Med. 2017 ;177(6) :800-807. Doi :10.1001/jamainternmed.2017.0739
10. Maiga M. (2009). *Aspects étiologiques et thérapeutiques dans le service d'Hématuries macroscopiques : Aspects étiologiques et thérapeutiques dans le service d'urologie au C.H.U du Point-G*. Thèse Médecine, Bamako, 2009 <https://www.bibliosante.ml/handle/123456789/10382>
 11. Mariani, A., Mariani, M., Macchioni, C., Stams, U., Hariharan, A., Moriera, A. (1989). *The significance of adult hematuria : 1000 hematuria evaluations including a risk-benefit and cost-effectiveness analysis*. Journal of Urology 1989 ; 141(2) : 350-355
 12. Mohammad-Javad, K., Fariborz, M., Forough, H., Farahnaz, J., Saman, M. (2022). *Epidemiologic profile of microscopic hematuria in Iran : A systematic review and meta-analysis*. Iran J Public Health 2022 ; 51(10) : 2194-2206
 13. Paré, A., Avakoudjo, J., Hounnasso, P., Cissé, D., Zango, B et al. (2012). *Hématurie macroscopique : aspects épidémiologiques, diagnostiques et thérapeutiques à la clinique universitaire*. Rev.CAMES-Série A 2012 ; 13(Suppl 2) :57-60
 14. Pratik, M., Nitin, K., Sonika, R. (2023). *Causes of Hematuria Evaluation by Computed Tomography*. Journal of cardiovascular research 2023 ; 14 (2) :1906-1911
 15. Prior, J., Guignard, J. (1998). *L'hématurie chez l'enfant*. Arch Pédiatr 1998 ; 5 : 799-807
 16. Samaké A. (2007). *Les étiologies de l'hématurie macroscopique dans le service d'urologie de l'hôpital du Point G*. Thèse Médecine, Bamako, 2007. <https://www.bibliosante.ml/bitstream>
 17. Saye M. (2012). *La prise en charge de l'hématurie dans le service d'urologie du Gabriel Touré*. Thèses d'exercice de médecine générale, Bamako, 2012. <https://www.bibliosante.ml/handle/123456789/1417>
 18. Tengue, K., Kpatcha, TM., Leloua, E., Botcho, G., Sikpa, K. et al. (2014). *Prise en charge de l'hématurie au chu Sylvanus Olympio de Lomé*. Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé 2014 ; 16 (2) :411-416
 19. Verschuren, F., Thys, F., Kong Kam, I. (2008). *Une étiologie inhabituelle d'hématurie macroscopique en salle d'urgence : la nécrose papillaire rénale chez le patient drépanocytaire hétérozygote*. Journal Européen des Urgences 2008 ; 21 : 70-73
 20. Zellweger T. (2010). *Que faire en cas d'hématurie ?* Forum Med suisse 2010, 10(51-52) : 921-923.

Polyarthrite Rhumatoïde au Niger : États des Lieux

Ismael Ayouba Tinni, Résident en Rhumatologie

Service de Rhumatologie de l'Hôpital National de Niamey

Service de Rhumatologie du Centre Hospitalier Universitaire de Bogodogo

Yannick Laurent Tchenadoyo Bayala, Résident en Rhumatologie

Service de Rhumatologie du Centre Hospitalier Universitaire de Bogodogo

Abdoul-Aziz, Praticien hospitalier

Service de Rhumatologie du Centre Hospitalier Universitaire de Bogodogo

Garba Mahaman Salissou, Praticien hospitalier

Service de Rhumatologie du Centre Hospitalier Régional de Maradi,

Université de Maradi, Niger

Andia Abdoul Kader, Maître Assistant

Faculté des Sciences de la Santé de l'Université Abdou Moumouni de

Niamey, Hôpital Général de référence de Niamey, Niger

Garba Abdoul Aziz, Maître Assistant

Faculté des Sciences de la Santé de l'Université de Zinder,

Hôpital National de Zinder, Niger

Moussa Fanata, Praticien hospitalier

Service de Rhumatologie de l'Hôpital National de Niamey

Brah Souleymane, Maître de conférence agrege

Faculté des Sciences de la Santé de l'Université Abdou Moumouni de

Niamey, Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey, Niger

Adehossi Eric, Professeur titulaire

Faculté des Sciences de la Santé de l'Université Abdou Moumouni de

Niamey, Hôpital Général de référence de Niamey, Niger

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p117](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p117)

Submitted: 27 December 2023

Accepted: 05 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Ayouba Tinni I., Bayala Y.L.T., Abdoul-Aziz, Salissou G.M., Kader A.A., Garba A.A., Fanata M., Souleymane B. & Eric A. (2024). *Polyarthrite Rhumatoïde au Niger : États des Lieux*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 117.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p117>

Résumé

Objectif : faire une revue des données de la littérature sur les aspects épidémiologiques, cliniques, paracliniques et thérapeutiques de la polyarthrite rhumatoïde au Niger. Méthodes : Cette revue des données de la littérature sur la polyarthrite rhumatoïde au Niger a été réalisée en utilisant les bases de données MEDLINE (via PUBMED) et de Google Scholar. Les critères d'inclusion comprenaient des études publiées chez des adultes de plus de 18 ans ayant reçu un diagnostic de polyarthrite rhumatoïde. L'extraction des données a été réalisée grâce à un formulaire préétabli. Résultats : La recherche dans la littérature a identifié 5 articles. Finalement, quatre articles ont été inclus pour la revue. La fréquence de la polyarthrite rhumatoïde a été rapportée dans trois études, celle-ci variait de 1,24% à 3,7%. Le genre féminin représentait 79 (79,79%) des patients. L'âge moyen globale était de 43,41 ans. Le délai moyen avant le diagnostic était de 53,2 mois. La polyarthrite rhumatoïde a été diagnostiquée en utilisant les critères ACR 1987 et les critères ACR/EULAR 2010. Tous les patients avaient consulté pour une polyarthrite. Le coup de vent cubital était retrouvé chez 27 (27,27%) patients. Les nodules rhumatoïdes ont été retrouvés chez 12 (12,12%) patients. Les facteurs rhumatoïdes étaient positifs chez 56 (56,56%) patients. Les anticorps anti peptides cycliques citrullinés étaient positifs chez 7 (7,07%) patients. Le méthotrexate était le traitement de fond chez 67 (67,67%) patients et l'hydroxychloroquine chez 43 (43,43%) patients. Conclusion : Le diagnostic de la polyarthrite est tardif au Niger. La création d'un registre national des patients ayant une polyarthrite rhumatoïde permettra un meilleur suivi des patients.

Mots-clés: Polyarthrite rhumatoïde, Fréquence, Facteur rhumatoïdes, anticorps anti peptides cycliques citrullinés, Niger

Rheumatoid Arthritis in Niger: Current Situation

Ismael Ayouba Tinni, Résident en Rhumatologie

Service de Rhumatologie de l'Hôpital National de Niamey
Service de Rhumatologie du Centre Hospitalier Universitaire de Bogodogo

Yannick Laurent Tchenadoyo Bayala, Résident en Rhumatologie

Service de Rhumatologie du Centre Hospitalier Universitaire de Bogodogo

Abdoul-Aziz, Praticien hospitalier

Service de Rhumatologie du Centre Hospitalier Universitaire de Bogodogo

Garba Mahaman Salissou, Praticien hospitalier

Service de Rhumatologie du Centre Hospitalier Régional de Maradi,
Université de Maradi, Niger

Andia Abdoul Kader, Maître Assistant

Faculté des Sciences de la Santé de l'Université Abdou Moumouni de
Niamey, Hôpital Général de référence de Niamey, Niger

Garba Abdoul Aziz, Maître Assistant

Faculté des Sciences de la Santé de l'Université de Zinder,
Hôpital National de Zinder, Niger

Moussa Fanata, Praticien hospitalier

Service de Rhumatologie de l'Hôpital National de Niamey

Brah Souleymane, Maître de conférence agrege

Faculté des Sciences de la Santé de l'Université Abdou Moumouni de
Niamey, Hôpital National Amirou Boubacar Diallo de Niamey, Niger

Adehossi Eric, Professeur titulaire

Faculté des Sciences de la Santé de l'Université Abdou Moumouni de
Niamey, Hôpital Général de référence de Niamey, Niger

Abstract

Objective: To review the epidemiologic, clinical, paraclinical and therapeutic aspects of rheumatoid arthritis in Niger. Methods: This review of literature on rheumatoid arthritis in Niger was conducted using MEDLINE (via PUBMED) and Google Scholar databases. Inclusion criteria included studies published in adults over 18 years of age with a diagnosis of rheumatoid arthritis. Data extraction was done using a pre-designed form. Results: The literature search identified 5 articles. Four articles were finally included in the review. The frequency of rheumatoid arthritis was reported in three studies and ranged from 1.24% to 3.7%. Females accounted for 79 (79.79%) of the patients. The mean age was 43.41 years. The mean time to diagnosis was 53.2 months. Rheumatoid arthritis was diagnosed according to ACR 1987 and ACR/EULAR 2010 criteria. All patients had a history of polyarthritis. Ulnar gale was found in 27 (27.27%) patients. Rheumatoid nodules were found in

12 (12.12%) patients. Rheumatoid factors were positive in 56 (56.56%) patients. Anti-cyclic citrullinated peptide antibodies were positive in 7 (7.07%) patients. Methotrexate was the background treatment in 67 (67.67%) patients and hydroxychloroquine in 43 (43.43%) patients. Conclusion: Polyarthritis is diagnosed late in Niger. The creation of a national registry of rheumatoid arthritis patients will allow better follow-up of patients.

Keywords: Rheumatoid arthritis, Frequency, Rheumatoid factors, antibodies against cyclic citrullinated peptides, Niger

Introduction

La polyarthrite rhumatoïde (PR) est le plus fréquent des rhumatismes inflammatoires chroniques (Pillon & Michiels, 2013). C'est une maladie auto-immune non spécifique d'organe caractérisée par une réponse inflammatoire exagérée au niveau de la membrane synoviale avec un potentiel de destruction ostéo-articulaire et pouvant être associée à d'autres maladies auto-immunes (Pillon & Michiels, 2013; Shapira et al., 2010). C'est une affection multifactorielle : environnementale, hormonale et immunologique surtout (30 %) qui peut expliquer la disparité épidémiologique dans un pays et intra ethnique au sein d'un même pays (Shapira et al., 2010). La prévalence de la polyarthrite rhumatoïde dans les populations adultes des différentes régions du monde semble relativement uniforme, à l'exception notable de l'Australie et de la Jamaïque, où la prévalence est élevée (Shapira et al., 2010), et de l'Afrique subsaharienne, où cette maladie est rare (Hijmans et al., 1964; Mijiyawa, 1995; Shapira et al., 2010). Au cours des trois dernières décennies en Afrique subsaharienne, il y a eu de plus en plus d'études sur la polyarthrite rhumatoïde, probablement dû à l'augmentation du nombre de spécialistes notamment en rhumatologie. Ces études récentes estiment sa prévalence entre 0,1 à 0,9 %, voisine de celle des pays européens (Roux, 2002). À Brazzaville, la fréquence hospitalière est de 1 % de l'ensemble des malades (Bileckot & Malonga, 1998). Au Burkina Faso, la fréquence de la polyarthrite rhumatoïde est de 1,84 % des consultations rhumatologiques (Tiendrébéogo et al., 2023). Au Niger, les premiers cas de polyarthrite rhumatoïde ont été publiés en 2010 à Niamey (Adehossi et al., 2010) et depuis il y a eu quatre publications dont deux à Niamey, un à Maradi et un à Zinder (Andia et al., 2016; Andia et al., 2017; Salissou et al., 2019; Garba et al., 2020). La dernière étude date de près de 3 ans et ne contient que 17 cas de polyarthrite rhumatoïde. L'objectif de cette revue était de faire une revue des données de la littérature sur les aspects épidémiologiques, cliniques, paracliniques et thérapeutiques de la polyarthrite rhumatoïde au Niger.

Méthodes

Schéma de l'étude:

Cette revue des données de la littérature sur la polyarthrite rhumatoïde au Niger a été réalisée en utilisant les bases de données MEDLINE (via PUBMED) et de Google Scholar. Cette recherche a été complétée par une recherche manuelle dans les références bibliographiques de tous les articles en texte intégral potentiellement admissibles. Les publications ont été identifiées en utilisant les mots-clés ci-dessous :

“(Rheumatoid arthritis) AND (Niger (Niamey OR Tillabery OR Dosso OR Tahoua OR Maradi OR Agadez OR Zinder OR Diffa))”*.

Critères d'inclusion et d'exclusion:

Les études prises en compte pour cette revue ont été publiées dans des revues à comité de lecture et limitées aux études observationnelles utilisant des données sur un mode rétrospectif, transversal et/ou longitudinal.

Les critères d'inclusion comprenaient des études publiées chez des adultes de plus de 18 ans et impliquant des participants ayant reçu un diagnostic de polyarthrite rhumatoïde. Les études incluses présentaient des résultats originaux relatifs aux aspects : épidémiologique (fréquence et/ou prévalence), diagnostique (clinique et/ou paraclinique) et thérapeutique (traitement symptomatique et/ou de fond). Ces études ont inclus des patients chez qui la polyarthrite rhumatoïde a été diagnostiquée récemment. Un seul article a été exclu, car utilisant les patients d'une même cohorte. Les résumés des congrès ont été exclus.

Informations collectées :

Les données extraites concernaient l'année de publication, le nom de l'auteur, le design de l'étude, la région où l'étude a été menée et les caractéristiques des patients : la taille de l'échantillon, le genre, l'âge moyen, la durée d'évolution de la maladie, les méthodes diagnostic et thérapeutiques. L'extraction des données a été réalisée grâce à un formulaire pré établi.

Résultats

Sélection des études

La recherche dans la littérature a identifié 5 articles. Un article a été exclu après lecture complète, car utilisant une sous population de la première publication (Andia et al., 2017).

Caractéristiques des études sélectionnées

Finalement, quatre articles ont été inclus pour la revue. Ces études étaient rétrospective (Adehossi et al., 2010), rétrospective et transversale (Andia et al., 2016), prospective (Salissou et al., 2019) et longitudinale (Garba

et al., 2020) dans chaque cas. En fonction des études la durée variait de 6 mois à 12 mois et la taille des échantillons de 8 à 42 patients soit un total de 99 patients. Le tableau 1 représente les caractéristiques des différentes études au cours de la polyarthrite rhumatoïde au Niger.

Sur le plan épidémiologique

La fréquence de la polyarthrite rhumatoïde a été rapportée dans trois études, celle-ci variait de 1,24 % à 3,7 %. Le genre féminin représentait 79 (79,79 %) patients. L'âge moyen des patients variait entre 38 ans et 50, 82 ans, soit un âge moyen global de 43,41 ans. Le délai moyen avant le diagnostic a été rapporté dans 3 études et variait de 36 à 72 mois, soit un délai moyen de diagnostic de 53,2 mois. Les études inclusées ont été réalisées respectivement à Niamey pour les deux premières, puis à Maradi et à Zinder. La figure 1 montre la répartition géographique des 3 régions où les articles ont été publiés au Niger.

Sur le plan diagnostique

La polyarthrite rhumatoïde a été diagnostiquée en utilisant les critères ACR 1987 (Arnett et al., 1988) dont quatre critères sur sept permettent le diagnostic de PR et les critères ACR/EULAR 2010 (Aletaha et al., 2010) dont 6 points sont nécessaires pour retenir le diagnostic de PR en l'absence d'un diagnostic d'une autre maladie. Tous les patients avaient consulté pour une polyarthrite et elle était bilatérale et symétrique dans trois études. Le coup de vent cubital était retrouvé chez 27 (27,27 %) patients. Les nodules rhumatoïdes ont été retrouvés chez 12 (12,12 %) patients. Les facteurs rhumatoïdes étaient positifs chez 56 (56,56 %) patients. Les anticorps anti peptides cycliques citrullinés (ACPA) étaient positifs chez 7 (7,07 %) patients. Le délai moyen global avant le diagnostic était de 53,2 mois. Les différents aspects sémiologiques, cliniques et paracliniques des patients ayant une polyarthrite rhumatoïde sont résumés dans le tableau 1.

Sur le plan thérapeutique

La corticothérapie a été utilisée chez 90 (90,90%) patients et huit (8,08%) patients avaient bénéficié d'une ponction infiltration. Le méthotrexate (MTX) était le traitement de fond chez 67 (67,67%) patients et l'hydroxychloroquine (HCQ) chez 43 (43,43%) patients. Les différents aspects thérapeutiques sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1. Synthèse des aspects sémiologiques clinique et paracliniques des patients ayant une polyarthrite rhumatoïde

Variables	Etude			
	Adehossi E. et al, 2010	Andia A. et al, 2016	Garba MS. Et al, 2019	Garba AA. Et al, 2020
Design d'étude	Rétrospective	Rétrospective et transversale	Prospective	Longitudinale
Région	Niamey	Niamey	Maradi	Zinder
Durée de l'étude (Mois)	12	9	12	6
Taille Echantillon	8	42	32	17
Fréquence	NP	1,24%	3,7%	2,17%
Genre Féminin	6	35	24	14
Age Moyenne/Médiane (Année)	38	45,9	38,9	50,82
Motif de consultation	Polyarthrite	Polyarthrite	Polyarthrite	Polyarthrite
Polyarthrite Bilatérale	8	NP	32	17
Polyarthrite Symétrique	6	NP	32	17
Déformation*	Dos de Chameau (4) Coup de vent cubital (3) Pouce en Z (2) Doigts en Maillet (1)	Coup de vent cubital (6) Doigts en boutonnière (4) Pouce en Z (3) Mains en « dos de chameau (2)	Coup de vent cubital (8) Doigts en boutonnière (8) Pouce en Z (6) Mains en dos de chameau (8) Col de cygne (1) Doigts en maillet (1)	Coup de vent cubital (10) Doigts en boutonnière (4) Pouce en Z (3) Pouce en adduction (7) Mains en dos de chameau (6) Col de cygne (4) Doigts en maillet (6)
Signe extra articulaire	Nodule rhumatoïde (2)	Nodule rhumatoïde (2)	Nodule rhumatoïde (1) Syndrome de Felty (1) Pneumopathie interstitielle diffuse (2)	Nodule rhumatoïde (7) Syndrome sec oculo-buccal (9)

			Syndrome sec oculo-buccal (7)	
Bilan Biologique	VS accélérée (8) CRP(NP) FR positif (8) ACPA (NP)	FR positif (25) ACPA positif (2)	VS accélérée (31) CRP positive (10) FR positif (9) ACPA positif (3) NP	VS accélérée (17) CRP positive (17) FR positif (14) ACPA positif (2)
Radiographie des mains et pieds	Déminéralisation épiphysaire en bande (5) Carpite fusionnante (3)	Déminéralisation épiphysaire en bande (2) Erosion (13)		Déminéralisation épiphysaire en bande (12) Pincements articulaires (12 cas) Erosion (4) Destructions articulaires (4 cas)
Critères diagnostic	ACR 1987	ACR 1987	ACR/EULAR de 2010	ACR/EULAR de 2010
Délai diagnostic (Mois)	NP	51,6	72	36
Traitement	Antalgiques (8) AINS (8) Corticothérapie à 1mg/Kg/J (3) HCQ à 400mg/J (3) MTX à 7,5mg/semaine (1)	Corticothérapie à 20mg/J (42) HCQ à 200mg/J (17) MTX /semaine (25)	Corticothérapie (31) HCQ (21) MTX (30) Salazopyrine (2) Azathioprine (2) Infiltration articulaire (6)	Antalgique (15) AINS (11) Corticothérapie (14) HCQ (2) MTX (11) Ponction/Infiltration (2)

() : nombre de patient

NP : Non précisé

MTX : Méthotrexate

HCQ : Hydroxychloroquine

AINS : Anti inflammatoire non stéroïdiens

* : Un patient peut avoir plusieurs déformations

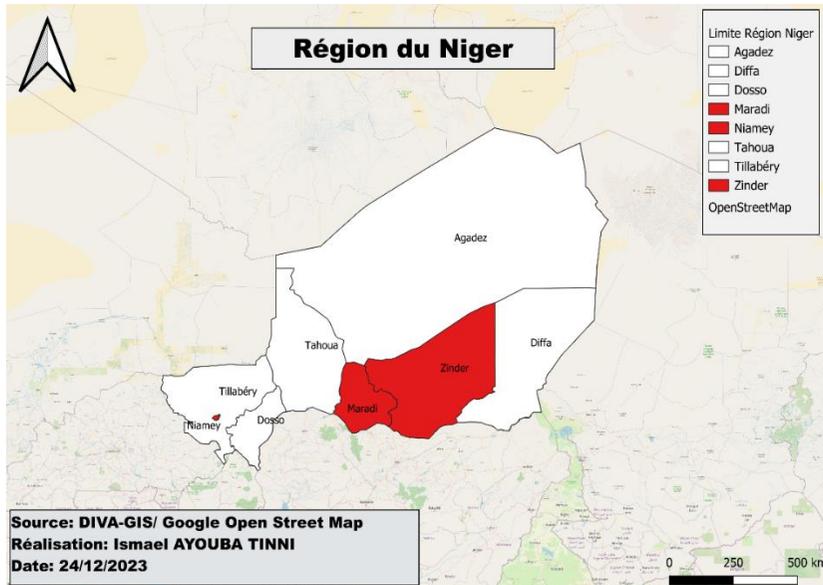


Figure 1. Délimitation des différents régions du Niger

Discussion

La fréquence hospitalière de la polyarthrite rhumatoïde au Niger varie en fonction des régions. Elle était de 1,24 % à Niamey, de 3,7 % à Maradi et de 2,17 % à Zinder. Cette variation de la fréquence peut être liée au caractère hétérogène de la polyarthrite rhumatoïde, outre la croissance démographique et la création récente des services de rhumatologie au centre hospitalier régional de Maradi et du service de médecine interne à l'hôpital national de Zinder, qui peuvent expliquer la fréquence hospitalière élevée dans ces deux régions. En plus, ce sont les seuls services de référence dans ces régions pour la prise en charge de la polyarthrite rhumatoïde en particulier et des maladies auto-immunes en générale. De plus, nous n'avons pas de donnée récente concernant la polyarthrite rhumatoïde sur la région de Niamey. En outre, dans l'étude de Niamey, c'est les critères ACR 1987 qui ont été utilisé comme critères de classification alors que dans les études de Maradi et Zinder, c'est les critères ACR/EULAR 2010 qui ont été utilisé. Ce dernier est plus performant que les critères de l'ACR 1987 pour la prédiction d'un diagnostic de polyarthrite rhumatoïde dix ans plus tard (Cornec et al., 2012). En effet, les critères de l'ACR/EULAR 2010 ont une sensibilité équivalente à celle des critères de l'ACR 1987, mais se révèlent considérablement plus spécifiques. La majeure partie de ce bénéfice semble attribuable à l'utilisation de l'algorithme initial et, plus particulièrement, à l'exclusion des patients présentant un autre diagnostic (Cornec et al., 2012). Mais, ces fréquences sont comparables à celles des pays de l'Afrique subsaharienne et en particulier de l'Afrique de l'Ouest. Sur une série de 23550 patients au Burkina Faso la

fréquence hospitalière de la polyarthrite rhumatoïde était de 1,84 % (434) des patients sur une période de 14 ans (Tiendrébéogo et al., 2023). Au Bénin, sur une période de 14 ans, la fréquence de la polyarthrite rhumatoïde était de 0,8 % (53) des patients sur 6450 patients (Zomalheto et al., 2015). Au Sénégal, la polyarthrite rhumatoïde représentait 5 % (750) des patients reçus dans le service de rhumatologie du centre hospitalier universitaire Aristide le Dantec sur une période de 10 ans (Diallo et al., 2023). Au Togo, sur une série de 25992 patients ayant consultés sur une période de 25 ans, 0,3 % (92) avaient une polyarthrite rhumatoïde (Kakpovi et al., 2017). La fréquence hospitalière était de 1,53 % (10) des patients sur une série de 650 patients au Congo Brazzaville en 8 mois (Ledier et al., 2023).

La polyarthrite au Niger est caractérisée par une prédominance féminine (79,79 %) avec un âge moyen global de 43,41 ans. Ces données sont superposables aux données de la littérature (Goldblatt & O'Neill, 2013; Shapira et al., 2010).

Le délai long avant le diagnostic (53,2 mois) peut expliquer la fréquence élevée des déformations. Ce résultat corrobore les données de la littérature (Kakpovi et al., 2017; Ouédraogo et al., 2011; Roux, 2002). Ce long retard de consultation peut également s'expliquer par le faible développement de la rhumatologie en milieu africain et au Niger en particulier. En effet, au Niger, il y a 10 rhumatologues pour plus de 25 millions d'habitants et parmi eux, deux sont à Maradi, un à Zinder, sept à Niamey et aucun rhumatologue dans les autres régions du pays. Il faut noter aussi la méconnaissance de la pathologie par les médecins généralistes et surtout par le recours aux praticiens traditionnels (Kakpovi et al., 2017). Le coup de vent cubital était la principale déformation tout comme au Togo (Kakpovi et al., 2017), en Côte d'Ivoire (Diomandé et al., 2022) et au Sénégal (Niasse et al., 2016), mais la boutonnière était la principale déformation au Congo (Bileckot & Malonga, 1998; Ledier et al., 2023).

La polyarthrite rhumatoïde est relativement bénigne au Niger. Cette relative bénignité était attestée par la rareté des nodules rhumatoïdes qui étaient retrouvés chez 12 (12,12 %) malades sur 99 patients et par la quasi absence des manifestations systémiques. La même impression de bénignité a été dégagée par les travaux menés au Burkina Faso (Ouédraogo et al., 2011), au Togo (Kakpovi et al., 2017), au Sénégal (Diallo et al., 2023) et au Congo (Ledier et al., 2023).

Les facteurs rhumatoïdes étaient positifs chez 56 (56,56 %) patients et les anticorps anti peptides cycliques citrullinés (ACPA) étaient positifs chez 7 (7,07 %) patients. Ces taux sont inférieurs aux données de la littérature (Diallo et al., 2023; Ledier et al., 2023; Ouédraogo et al., 2011; Roux, 2002). Cette différence peut s'expliquer par la faible accessibilité du bilan immunologique. En effet, le dosage des anticorps anti peptides cycliques citrullinés (ACPA)

n'est pas disponible sur place au Niger, cependant les prélèvements sont acheminés en France (Salissou et al., 2019).

La prise en charge de la polyarthrite rhumatoïde au Niger est caractérisée par l'absence de la biothérapie, comme dans la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne. En effet, le méthotrexate (MTX) et l'hydroxychloroquine (HCQ) étaient les traitements de fond les plus prescrits, respectivement chez 67 (67,67 %) patients et 43 (43,43 %) patients. Ces taux faibles peuvent s'expliquer par les conditions socioéconomiques des patients, la disponibilité locales des médicaments et l'accessibilité réduite aux soins et aux moyens d'exploration.

Conclusion

Il ressort de cette revue que la polyarthrite rhumatoïde au Niger est une réalité et a les mêmes aspects sémiologiques que dans les autres pays de l'Afrique subsaharienne et de l'occident. Elle est relativement bénigne, cependant le diagnostic est le plus souvent tardif. Il est important de disponibiliser le bilan immunologique ainsi que les traitements de fond afin d'assurer un diagnostic précoce conditionnant l'efficacité thérapeutique et le pronostic fonctionnel. La création d'un registre national des patients atteints une polyarthrite rhumatoïde permettra d'assurer un meilleur suivi des patients.

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.

Références :

1. Akehossi, E., Landais, C., Souana, B. S., Guida, S., Gbaguidi, F., Toure, A. I., et al. (2010). Premiers cas documentés de polyarthrite rhumatoïde au Niger. *Cahiers de Santé*, 20(1), 41-45. <https://doi.org/10.1684/san.2009.0173>
2. Aletaha, D., Neogi, T., Silman, A. J., Funovits, J., Felson, D. T., Bingham, C. O., et al. (2010). 2010 Rheumatoid arthritis classification criteria: An American College of Rheumatology/European League Against Rheumatism collaborative initiative. *Arthritis and Rheumatism*, 62(9), 2569-2581. <https://doi.org/10.1002/art.27584>
3. Andia, A., Alassane, S., Brah, S., Daou, M., Hamadou, A., Akehossi, E., et al. (2016). La Polyarthrite Rhumatoïde à l'Hôpital National de

- Niamey. A propos de 42 cas. *Revue Africaine de Médecine Interne*, 3(2), Article 2.
4. Andia, A. K., Souleymane, B., Alassane, S., Zakari, S., & Adehossi, E. (2017). Evaluation de l'activité biologique et de la qualité de vie de la Polyarthrite Rhumatoïde. *Revue Africaine de Médecine Interne*, 4(1-2), Article 1-2.
 5. Arnett, F. C., Edworthy, S. M., Bloch, D. A., McShane, D. J., Fries, J. F., Cooper, N. S., et al. (1988). The American Rheumatism Association 1987 revised criteria for the classification of rheumatoid arthritis. *Arthritis and Rheumatism*, 31(3), 315-324. <https://doi.org/10.1002/art.1780310302>
 6. Bileckot, R., & Malonga, A. C. (1998). Rheumatoid arthritis in Congo-Brazzaville. A study of thirty-six cases. *Revue Du Rhumatisme (English Ed.)*, 65(5), 308-312.
 7. Cornec, D., Varache, S., Morvan, J., Devauchelle-Pensec, V., Berthelot, J.-M., Le Henaff-Bourhis, C., et al. (2012). Comparaison des critères de l'ACR 1987 et l'ACR/EULAR 2010 pour la prédiction du diagnostic à dix ans de polyarthrite rhumatoïde. *Revue du Rhumatisme*, 79(6), 530-534. <https://doi.org/10.1016/j.rhum.2012.04.010>
 8. Diallo, S., Niassé, M., Diédhiou, I., Ndao, A. C., Diouck, F. S., Guèye, Y. A. N., et al. (2023). La polyarthrite rhumatoïde (PR) au Sénégal : Épidémiologie, gravité et prise en charge, à propos de 750 observations. *Revue du Rhumatisme*, 90, A151. <https://doi.org/10.1016/j.rhum.2023.10.229>
 9. Diomandé, M., Kpami You Nina, C., Goua, J.-J., Kengny, G., Coulibaly, Y., Bamba, A., et al. (2022). Joint deformities in rheumatoid arthritis in Abidjan : Prevalence, typology and predictive factors. *HEALTH SCIENCES AND DISEASE*, 23(10), 20-24. <https://www.hsd-fmsb.org/index.php/hsd/article/view/3908>
 10. Garba, A. A., Andia, A. K., Taofik, M., Laouali, M. C., Adam, I. A. K., & Adehossi, E. (2020). Profil épidémiologique, clinique, paraclinique, thérapeutique et évolutif des premiers cas de polyarthrite rhumatoïde (PR) à l'hôpital national de Zinder (HNZ). *Revue Africaine de Médecine Interne*, 7(2-1),7-12.
 11. Goldblatt, F., & O'Neill, S. G. (2013). Clinical aspects of autoimmune rheumatic diseases. *Lancet (London, England)*, 382(9894), 797-808. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61499-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61499-3)
 12. Hijmans, W., Valkenburg, H. A., Muller, A. S., & Gratama, S. (1964). Rheumatoid Arthritis in Liberia with an Assessment of Serological Findings. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 23(1), 45-49.

13. Kakpovi, K., Koffi-Tessio, V. E. S., Houzou, P., Fianyo, E., Kolou, K., Kuéviakoyé, M. I., Padaro, E., Tagbor, K., Oniankitan, O., & Mijiyawa, M. (2017). Profil de la polyarthrite rhumatoïde en consultation rhumatologique à Lomé (Togo). *European Scientific Journal, ESJ*, 13(15), 125-132. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n15p125>
14. Ledier, A. A. R., Edgard, L. N. N., Chabel, N.-K. D., Ondzala, A. E., Eddie, O. B. F., Précieux, S. A., Honoré, N., & Richard, B. (2023). Polyarthrite Rhumatoïde: Etude de 10 Observations vues en Consultation de Rhumatologie au Centre Hospitalier Universitaire de Brazzaville. *European Scientific Journal, ESJ*, 22, 405-405.
15. Mijiyawa, M. (1995). Epidemiology and semiology of rheumatoid arthritis in Third World countries. *Revue Du Rhumatisme (English Ed.)*, 62(2), 121-126.
16. Niassé, M., Ndongo, S., Ndao, A. C., Diallo, R., Diaw, C. A. B., Diouf, C., & Diallo, S. (2016). Polyarthrite rhumatoïde : Étude de 486 observations au Sénégal. *Revue du Rhumatisme*, 83, A286. [https://doi.org/10.1016/S1169-8330\(16\)30665-2](https://doi.org/10.1016/S1169-8330(16)30665-2)
17. Ouédraogo, D.-D., Singbo, J., Diallo, O., Sawadogo, S. A., Tiéno, H., & Drabo, Y. J. (2011). Rheumatoid arthritis in Burkina Faso : Clinical and serological profiles. *Clinical Rheumatology*, 30(12), 1617-1621. <https://doi.org/10.1007/s10067-011-1831-1>
18. Pillon, F., & Michiels, Y. (2013). Épidémiologie et physiopathologie de la polyarthrite rhumatoïde. *Actualités Pharmaceutiques*, 52(531, Supplément), 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.actpha.2013.09.018>
19. Roux, H. (2002). Polyarthrite rhumatoïde en Afrique subsaharienne. *Revue du Rhumatisme*, 69(8), 797-800. [https://doi.org/10.1016/S1169-8330\(02\)00387-3](https://doi.org/10.1016/S1169-8330(02)00387-3)
20. Salissou, G. M., Kaba, C., Adamou, G. I., Alassane, S., & Fanata, M. (2019). Polyarthrite Rhumatoïde en Consultation Rhumatologique à Maradi, Niger. *European Scientific Journal, ESJ*, 15(12), 139-149. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n12p139>
21. Shapira, Y., Agmon-Levin, N., & Shoenfeld, Y. (2010). Geoepidemiology of autoimmune rheumatic diseases. *Nature Reviews. Rheumatology*, 6(8), 468-476. <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2010.86>
22. Tiendrébéogo, J. W. S., Kaboré, F., Sougué, C., Sankara, V., Zongo, E., Savadogo, B., et al. (2023). Epidemiology of rheumatic diseases : A cohort of 23,550 patients in rheumatology clinics in Burkina Faso. *Clinical Rheumatology*, 42(2), 371-376. <https://doi.org/10.1007/s10067-022-06470-y>

23. Zomaheto, Z., Biaou, O., Yekpe-Ahouansou, P., Gounongbe, M., & Avimadje, M. (2015). Aspects radiologiques de la polyarthrite rhumatoïde au Bénin. *Journal Africain de l'Imagerie Médicale*, 39-46.

Connaissances, Attitudes et Pratiques de la Dépigmentation Cosmétique Volontaire des Jeunes Filles en Milieu Scolaire et Universitaire du Département des Collines au Bénin

Evrard Bayédjè Koutchoro

Damien Georgia Barikissou

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Ignace Coovi Nonwanou Tokpanoude

Elvire Sègnon Eurydice Djossou

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Association des médecins communautaire du Bénin

Sarafa O. Idohou

Unité d'Enseignement et de Recherche en Santé Communautaire et
Epidémiologie, Faculté des Sciences de la santé,

Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Christiane Koudoukpo

Faculté de Médecine (FM) de l'Université de Parakou ; Service de
dermatologie, Centre Hospitalier Universitaire et Départemental du Borgou
et Alibori, Parakou, Bénin

Badirou Aguemon

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p131](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p131)

Submitted: 16 February 2024

Accepted: 20 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Koutchoro E.B., Barikissou D.G., Tokpanoude I.C.N., Djossou E.S.E., Idohou S.O., Koudoukpo C. & Aguemon B. (2024). *Connaissances, Attitudes et Pratiques de la Dépigmentation Cosmétique Volontaire des Jeunes Filles en Milieu Scolaire et Universitaire du Département des Collines au Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 131.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p131>

Résumé

Introduction : La pratique de la dépigmentation cosmétique volontaire est de plus en plus adoptée par les jeunes filles. Ce phénomène de " mode "

révèle un certain aspect socio-anthropologique qui assimile la couleur noire de la peau à une vision négative et inférieure de l'être humain.

Objectif: l'objectif est de comprendre ce qui motive les jeunes filles scolarisées à s'adonner à une telle pratique plus spécifiquement d'évaluer leurs connaissances, attitudes et pratiques face à la dépigmentation.

Méthode : Il s'agit d'une étude transversale réalisée entre Avril et Mai 2023 qui a concerné 1039 étudiantes des écoles et universités du département des Collines sélectionnées par sondage aléatoire simple à plusieurs degrés.

Résultats : La moitié des filles enquêtées savaient que la dépigmentation est l'utilisation de produits chimiques dans le but d'éclaircir la peau. Pour la plupart (82,9%) d'entre elles, la couleur de la peau était une représentation de critère de beauté. Une femme à peau claire avait plus de valeur qu'une femme à peau noire selon 43,0% des enquêtées. 78,2% avaient adopté la pratique de la dépigmentation volontaire et le rythme d'application était biquotidien chez 70,6% d'entre elles. La principale motivation des filles était d'uniformiser le teint.

Conclusion : La dépigmentation est un phénomène bien connu des élèves et étudiantes du département des collines. La plupart des enquêtées pratique la dépigmentation et le critère de beauté est utilisé pour justifier le phénomène.

Mots-clés: Connaissances-Attitudes-Pratiques, dépigmentation volontaire, usage de dépigmentant, jeunes filles, Bénin

Knowledge, Attitudes, and Practices of Voluntary Cosmetic Depigmentation among School and University Girls in the Collines Department of Benin

Evrard Bayédjè Koutchoro

Damien Georgia Barikissou

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Ignace Coovi Nonwanou Tokpanoude

Elvire Sègnon Eurydice Djossou

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Association des médecins communautaire du Bénin

Sarafa O. Idohou

Unité d'Enseignement et de Recherche en Santé Communautaire et
Epidémiologie, Faculté des Sciences de la santé,
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Christiane Koudoukpo

Faculté de Médecine (FM) de l'Université de Parakou ; Service de
dermatologie, Centre Hospitalier Universitaire et Départemental du Borgou
et Alibori, Parakou, Bénin

Badirou Aguemon

Unité de santé publique, Faculté des Sciences de la santé,
Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Abstract

Introduction: the practice of voluntary cosmetic depigmentation is increasingly adopted by young girls. This "fashion" phenomenon reveals a certain socio-anthropological aspect that assimilates the black color of the skin to a negative and inferior vision of the human being.

Objective: was to understand what motivates young girls at school to engage in such a practice more specifically evaluate their knowledge, attitudes, and practices regarding depigmentation.

Method: This is a cross-sectional study carried out between April and May 2023 which involved 1039 female students from schools and universities in the Collines department selected by simple multistage random sampling.

Results: Half the girls surveyed knew that depigmentation is the use of chemicals to lighten the skin. For the majority (82.9%) of them, skin color was a representation of beauty criteria. A light-skinned woman was more valuable than a dark-skinned woman, according to 43.0% of respondents. 78.2% have

adopted the practice of voluntary depigmentation, and 70.6% of them apply their products twice a day. The girls' main motivation was to even out their skin color.

Conclusion: Depigmentation is well known among pupils and students in the hill district. Most of those surveyed practice depigmentation and the criterion of beauty is used to justify the phenomenon.

Keywords: Knowledge-Attitudes-Practices, voluntary depigmentation, depigmenting use, young girls, Benin

Introduction

La dépigmentation est un phénomène "de mode" qui révèle un aspect socio-anthropologique certain, qui assimile la couleur noire de la peau à une vision négative et inférieure de l'être humain (Migan N., 2013). Cette pratique, en dépit des risques sanitaires qu'elle entraîne, se fait de plus en plus adoptée des jeunes filles et femmes et même de certains hommes en Afrique subsaharienne. Ainsi, plusieurs études rapportent la pratique dans l'océan indien (Mayotte) avec une prévalence de 33% (Levang J, *et al.*, 2009) ; au Moyen-Orient (Arabie Saoudite) avec une prévalence de 38,9 % (Alghamdi A., 2010). Elle semble rare, voire exceptionnelle aux Antilles françaises (Petit A. *et al.*, 2006).

La pratique de la dépigmentation cosmétique volontaire est devenue un réel problème de santé publique à cause des graves complications à la fois dermatologiques et systémiques. Bien qu'elle soit pratiquée aussi bien par les hommes que les femmes. Elle est selon plusieurs études l'apanage des femmes (Asumah MN, *et al.*, 2022).

Ce phénomène de mode a atteint aussi bien la couche socioprofessionnelle et étudiante (Atadokpédé H, *et al.*, 2015). Les principales motivations sont entre autres: le suivi de la mode, le désir d'être belle, l'imitation de personnes de l'entourage, l'automédication, besoin de séduire, l'envie de plaire, l'envie d'uniformiser le teint, des événements sociaux comme le mariage, l'ascension et la réussite sociales, l'influence des magazines, le cinéma, les publicités agressives qui vantent un stéréotype de beauté (Kouotou E A., 2019); (Mahé A., 2004). Mais peu importe les raisons qui motivent les femmes africaines à adopter cette pratique, celle-ci a de graves répercussions sur leur santé aussi bien dermatologique que systémique. Au Bénin, la prévalence de la dépigmentation cosmétique volontaire était de 50,3% selon une étude menée dans les trois grands marchés de Parakou (Migan N., 2013), alors qu'elle était de 79,22% à Comé (Glèlè-Ahanhanzo Y *et al.*, 2019). De même, des moyennes d'âges semblables sont rapportées avec pour la plupart un minima de 15 ans dans plusieurs études (Glèlè-Ahanhanzo Y *et al.*, 2019); (Koudoukpo C *et al.*, 2012). Dans notre système éducatif, les

filles de la quinzaine se trouvent dans les lycées et collèges. Certes, quelques rares adolescentes de la quinzaine se retrouvent dans les écoles mais ces cas sont plus observés en milieu rural. Pour apprécier le phénomène en milieu scolaire, nous nous proposons d'étudier les connaissances, les attitudes et les pratiques de la dépigmentation dans les départements des Collines en 2023.

Cadre et méthodes de l'étude

Cadre d'étude

La présente étude s'est déroulée dans le département des Collines situé au centre du Bénin.

1.2 Type et période d'étude

Il s'agissait d'une étude transversale descriptive qui s'est déroulée d'Avril à Mai 2023.

1.3 Population d'étude

La population d'étude était constituée des élèves et étudiantes des collèges et universités publics et privés du département des Collines. Nous avons inclus toutes filles inscrites dans un collège et université publics et privés se trouvant dans le département des Collines ayant consenties de participer à l'étude. Nous avons exclu les filles ayant retiré leur consentement au cours de l'enquête.

1.4 Echantillonnage

L'échantillonnage a été probabiliste pour le choix des élèves et non probabiliste pour le choix des étudiantes des deux universités se trouvant dans le département. Pour le choix des élèves, l'échantillonnage était stratifié à deux niveaux. Le premier niveau a été un sondage aléatoire simple de trois communes des six que compte le département des Collines. Au deuxième niveau, nous avons réalisé un sondage aléatoire simple de quatre arrondissements par communes sélectionnées, soit au total 12 arrondissements retenus. A l'intérieur des arrondissements, deux strates ont été constitués : la strate des établissements privés et la strate des établissements publics. Un établissement a été sélectionné dans chaque strate par sondage aléatoire simple. Dans chaque établissement scolaire, la liste des filles ayant entre 13 ans et plus des classes de 2^{nde}, 1^{ère} et T^{le} a été établie puis les cibles tirées au sort. La technique d'échantillonnage non probabiliste par commodité a été utilisée pour le choix des étudiantes dans les deux universités.

1.5 Taille de l'échantillonnage

La taille minimale de l'échantillon de notre étude a été calculée à l'aide de la formule de Schwartz. La prévalence estimée de la dépigmentation qui a été considérée est 0,37 (Atadokpédé F et al, 2015) avec une précision de 5%.

$$\text{Formule: } n = [\epsilon \alpha^2 p q / i^2]$$

P = prévalence estimée de la dépigmentation (p=0,37);

q = 1 – p = **0,63**;

risque d'erreur accepté ($\epsilon \alpha^2 = 1,96^2$) ;

i= précision souhaitée pour nos résultats, i=0,03 ;

Ainsi, la taille minimale de notre échantillon pour l'étude est $n=994,97 \approx 995$ élèves et étudiantes. En augmentant de 5% l'effectif minimal calculé pour couvrir les cas de non-réponse, la taille de l'échantillon sera $N = n + (5 \% \times n) = 1\ 044$ arrondi à 1 045. Après traitement des données, nous avons exclus 6 formulaires pour défaut de complétude soit une taille de 1039 filles enquêtées.

1.6 Technique et outils de collecte

Il s'agissait d'un entretien structuré guidé par un questionnaire qui a permis de recueillir les informations relatives à la pratique de la dépigmentation. La collecte des données a été réalisée avec le questionnaire numérisé puis déployé sur la plateforme kobotoolbox.

1.7 Variables de l'étude

Les variables étaient les caractéristiques sociodémographiques, les facteurs environnementaux, les facteurs individuels, les attitudes et les connaissances des dangers vis-à-vis de la dépigmentation.

1.8 Analyse des données

Les données ont été analysées avec le logiciel SPSS version 25. Les variables quantitatives ont été exprimées en moyenne avec leur écart type et les variables qualitatives en proportion.

2 Résultats

2.1 Caractéristiques de la population d'étude

L'âge moyen des jeunes filles scolarisées enquêtées était de 19,21 ans \pm 2,87 ans avec des extrêmes de 13 et 31 ans. 24,85% des enquêtées appartenaient au groupe ethnique Idacha. La tranche d'âge la plus représentée était celle des filles ayant entre 19 à 23 ans (47,9%). Dans l'ensemble, 80,8% de la population enquêtée étaient des chrétiennes et 96,6% n'étaient pas

mariée. Une faible proportion (36,8%) avait une activité génératrice de revenus et 58,5% vivaient en milieu urbain (tableau1).

Tableau 1. Caractéristiques sociodémographiques des jeunes filles scolarisées du département des Collines enquêtées de Avril à Mai 2023

Modalités	Effectifs (n=1039)	Pourcentage
Âge		
[13-18]	457	44,0
[19-23]	498	47,9
24 et plus	84	8,1
Ethnie		
Idacha	202	24,85
Yoruba et apparentés	196	24,11
Fon	166	20,42
Mahi	149	18,33
Adja	67	8,24
Autres*	33	4,06
Nationalité		
Béninoise	1028	98,9
Autres**	11	1,1
Religion		
Chrétienne	840	80,8
Musulmane	118	11,4
Endogène	81	7,8
Situation matrimoniale		
Non mariée	1000	96,6
Mariée	39	3,4
Niveau d'étude		
Secondaire	882	84,9
Universitaire	157	15,1
Activité génératrice de revenu		
Non	657	63,2
Oui	382	36,8
Zone de résidence		
Urbaine	608	58,5
Périurbaine	280	26,9
Rurale	151	14,5

Autres*: Gitamari, Yome , Ani, Minan/ Autres**= Togolaise, Nigériane

2.2. Caractéristiques sociodémographiques des dépigmentées

La moyenne d'âge était de $19,1 \pm 2,7$ ans avec des extrêmes. La tranche d'âge de 19-23 ans était la plus représentée (48,8%). La quasi-totalité (98,8%) était de nationalité béninoise et 78,1% pratiquaient le christianisme comme religion. Majoritairement (96,2%) étaient des célibataires et 88,2% ont un niveau d'étude secondaire. Respectivement 38,0 % et 77,9% d'entre ces filles avaient une activité génératrice de revenus et des parents ayant un revenu mensuel moyen inférieur à 52000 F CFA (Tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques sociodémographiques des filles dépigmentées du département des Collines

Modalités	Effectifs (n=1039)	Pourcentage
Âge (année)		
≤18	360	44,3
[19-23]	397	48,8
≥24	56	6,9
Ethnie		
Idacha	202	24,9
Yoruba et apparentés	196	24,1
Fon	166	20,4
Mahi	149	18,3
Adja	67	8,2
Autres*	33	4,1
Nationalité		
Béninoise	803	98,8
Autres	10	1,2
Religion		
Chrétienne	635	78,1
Musulmane	106	13,0
Endogène	72	8,9
Situation matrimoniale		
Non mariée	782	96,2
Mariée	31	3,8
Niveau d'étude		
Secondaire	717	88,2
Universitaire	96	11,8
Activité génératrice de revenus		
Non	504	62,0
Oui	309	38,0
Revenu mensuel moyen des parents		
<52 000	633	77,9
≥100000	115	14,1
[52 000 – 100000]	65	8,0

2.3 Connaissances des enquêtées sur la dépigmentation

Plus de la moitié des filles (51,8%) enquêtées savaient que la dépigmentation est l'utilisation de produits chimiques dans le but d'éclaircir la peau. Pour 82,9% d'entre elles, la couleur de la peau est une représentation de critère de beauté et 14,5% la rapportaient à un critère de classe sociale c'est-à-dire un critère de distinction de la hiérarchie sociale basée sur le caractère économique. Pour 67,1% des filles enquêtées, leur corps était un lieu sacré, c'est-à-dire perçu comme un objet à protéger, et 31,1% la rapportaient à leur identité. 57,0% attribuaient la visibilité du corps à un objet qui sert à communiquer et pour 9,7% le corps permettait de séduire. Exactement 56,3% des filles enquêtées avaient affirmé que la dépigmentation était mauvaise pour

la santé. 88,9% n'avaient aucune connaissance des composantes des produits qu'elles utilisaient (Tableau 3)

Tableau 3. Connaissance des jeunes filles enquêtées dans le département des collines sur la dépigmentation, avril à mai 2023

Modalités	Effectifs (n=1039)	Pourcentage
Dépigmentation		
Se rendre claire avec produits chimiques	538	51,8
Se rendre belle	469	45,1
Prendre soin de son corps	32	3,1
Représentation de la couleur de la peau		
Critère de beauté	861	82,9
Critère de classe sociale	151	14,5
Marqueur de fécondité	17	1,6
Critère de mariage	7	0,7
Marqueur d'ethnicité	3	0,3
Représentation du corps		
Lieu sacré	697	67,1
Mon identité	323	31,1
Ma culture	19	1,8
Visibilité du corps		
Communiquer	592	57,0
Exprimer	346	33,3
Séduire	101	9,7
Avis sur la dépigmentation		
Mauvaise pour la santé	589	56,7
Bonne pratique	297	28,6
La mode	104	10,0
Permet de trouver/garder un mari	49	4,7
Connaissance des composantes des produits		
Non	924	88,9
Oui	115	11,1

2.4 Attitudes des enquêtés face à la dépigmentation

43,0% des jeunes filles estiment qu'une femme de peau claire avait plus de valeur qu'une femme de peau noire et 84,2% affirmaient qu'elles peuvent apporter des modifications à leur peau. Les principales motivations pouvant les pousser à apporter de modification à leur peau sont entre autres : être plus belle (58,8%) ; uniformiser le teint (23,0%) ; plaire aux hommes (15,5%) ; à l'occasion d'événements sociologiques comme le mariage ou baptêmes (1,7%) et la rivalité (0,8%). De même, 96,9% des filles avaient affirmé recevoir des encouragements d'un tiers (amie, mère, sœur, voisine, et influence de média) et 78,8% pensaient qu'une femme de teint clair était plus belle. 15,6% de la proportion qui utilisait les produits cosmétiques dépigmentants avaient l'intention de continuer cette pratique (Tableau 4).

Tableau 4. Motivation des jeunes filles scolarisées dans le département des Collines, d'Avril à Mai 2023 sur la dépigmentation.

Modalités	Effectifs (n=1039)	Pourcentage
Valeur femme peau claire versus femme peau noire		
Non	592	57,0
Oui	447	43,0
Avis sur apport de modification à la peau		
Oui	875	84,2
Non	164	15,8
Motivation apport de modification à la peau		
Être plus belle	840	58,8
Uniformiser le teint	329	23,0
Plaire aux hommes	222	15,5
Occasion évènement sociaux	24	1,7
Rivalité	11	0,8
Autres	3	0,2
Encouragement par un tiers		
Entourage (amie, mère, sœur, voisine, médias)	1007	96,9
Aucun	32	3,1
Importance de l'apparence extérieure de la femme claire		
Elle est plus belle	818	78,8
Elle est préférée par les hommes	190	18,3
Sa dote coute plus chère	25	2,4
Elle est plus féconde	6	0,6
Intention de continuer		
Non	877	84,4
Oui	162	15,6

2.5 Pratiques des filles enquêtées sur la dépigmentation

Sur les 1039 filles enquêtées, 813 soit 78,2% adoptaient la pratique de la dépigmentation volontaire. Le rythme d'application était biquotidien chez 70,6% d'entre elles et la principale motivation était d'uniformiser le teint chez 42,1%. Par ailleurs 84,8% des filles s'approvisionnaient en produits cosmétiques composés d'agents dépigmentant au marché (Tableau 5)

Tableau 5. Pratiques des jeunes filles enquêtées dans le département des collines par rapport la dépigmentation, avril à mai 2023

Modalités	Effectifs (n=813)	Pourcentage
Rythme d'application		
Bi-quotidiennement	574	70,6
Tri-quotidiennement	150	18,5
Occasionnellement	89	10,9
Motivation dépigmentée		
Uniformiser le teint	342	42,1
Être plus attirante	276	33,9
Être plus belle	153	18,8
La mode	42	5,2
Lieu d'approvisionnement		
Marché	690	84,8
Vendeuse ambulante	107	13,2

Parmi les 224 qui utilisaient des savons avec un agent dépigmentant, 36 (16,1%) utilisaient des savons à base de dérivé mercuriel et 188 (83,9%) à base d'hydroquinone (Tableau 6).

Tableau 6. Savons utilisés pour la dépigmentation en fonction de leur principe actif par les jeunes filles scolarisées dans le département des Collines, de Avril à Mai 2023

Modalités	Effectif (n=224)	Pourcentage
Produits à base d'hydroquinone	188	83,9
Dérivé mercuriel	36	16,1

Des 786 filles qui utilisaient une lotion corporelle contenant de produits chimiques dépigmentant, 668 soit 85,0 % utilisaient des lotions corporelles à base d'hydroquinone contre 118 soit 15,0% qui utilisaient des lotions à base de corticoïdes (Tableau 7).

Tableau 7. Lotions corporelles utilisées en fonction de leur principe actif pour la dépigmentation par les jeunes filles scolarisées dans le département des Collines, de Avril à Mai 2023

Modalités	Effectif (n=786)	Pourcentage
Produits à base d'hydroquinone	668	85,0
Produits à base de corticoïde	118	15,0

3 Discussion

3.1 Connaissances des enquêtés sur la dépigmentation

Les connaissances des enquêtées sur la dépigmentation ont été appréciées dans cette étude. Pour 82,9% des filles, la couleur de la peau est une représentation de critère de beauté et 14,5% la rapportaient à un critère de classe sociale. Nos résultats sont similaires à ceux rapportés par Tesfamariam et al en Érythrée dans une étude transversale sur la conscience, la perception et l'utilisation des agents éclaircissants pour la peau chez les femmes d'Asmara. En effet, 84,4% des femmes de leur échantillon ont affirmé que l'utilisation de produit dépigmentant peut rendre une personne claire (84,4%) et belle (67,8%) (Tefamariam S *et al.* 2023). Kourouma et al ont également rapporté de tels résultats dans leur étude menée à Abidjan en Côte d'Ivoire (Kourouma S, *et al.*, 2016). En effet, les représentations sociologiques héritées par l'Afrique depuis l'esclavage ainsi que le mythe de supériorité de la couleur blanche sur la peau noire amèneraient ces filles adeptes de la dépigmentation à cette affirmation. Petit faisait déjà cas de telle emprise de la peau foncée (Petit A., 2012).

Nos résultats ont révélé que seulement 11,1% des enquêtées connaissaient la composition des produits cosmétiques qu'elles achetaient pour se dépigmenter. Cela peut se justifier par le fait qu'elles ne prennent pas connaissance de la notice des produits avant l'achat. Aussi l'engouement et la

volonté ardente de devenir plus claire pourraient les amener à ne pas s'intéresser aux composantes des produits avant utilisation. Le nombre de personnes connaissant le principe actif du produit dépigmentant utilisé double carrément celui rapporté dans une étude en Éthiopie par Yayehrad *et al.* (Yayehrad AT, *et al.*, 2023). Cet écart peut s'expliquer par la différence des populations ayant servi à l'enquête. En effet leur étude a été menée en population générale avec présence de participante sans niveau d'étude contrairement à la nôtre menée en milieu scolaire.

Plus de la moitié des filles enquêtées savaient que la dépigmentation que l'utilisation des produits chimiques dans le but d'éclaircir la peau. Nos résultats corroborent avec ceux rapportés par Kourouma *et al* (Kourouma *et al.*, 2016). De même, plus de la moitié des enquêtées savaient que la dépigmentation était mauvaise pour la santé et en connaissaient au moins une conséquence. De tels résultats ont été également rapportés par d'autres auteurs (Glèlè-Ahanhanzo Y, *et al.*, 2019); (Raynaud E, *et al.*, 2000).

3.2 Attitudes des enquêtées face à la dépigmentation

Dans cette étude, un peu plus de la moitié (57%) des répondants ne considéraient pas que la femme à la peau claire était supérieure à son homologue à la couleur de peau foncée. De telle remarque a été également faite par Egbi OG et al qui ont rapporté une proportion de 80,0% sur la question la supériorité de la femme à la couleur de peau claire versus celle à la couleur de peau foncée dans une étude menée au Nigéria (Egbi OG *et al.*, 2021)

Mais au même moment 84,2% des répondants dans cette étude affirmaient qu'elles pouvaient apporter des modifications à leur couleur de peau pour différente raison. Au nombre de ces raisons, il y avait : être plus belle (58,8%) et uniformisé le teint (23,0%). Ces raisons ont été également trouvés par Tesfamariam et al en Érythrée (Tesfamariam S, *et al.*, 2016) et Al-Sheyab et al en Jordanie (Al-Sheyab R F, *et al.*, 2023). Ces résultats soulignent un problème profondément enraciné dans les sociétés africaines en ce qui concerne les normes de beauté et la perception de la valeur associée à la couleur de peau. L'idée que la peau claire est plus valorisée que la peau noire continue de perpétuer des stéréotypes et des préjugés qui affectent l'estime de soi et la perception de soi des individus. Cette préférence pour la peau claire peut être attribuée aux rêves vendus et perpétués à travers les médias et la publicité. Cette emprunte des médias est d'ailleurs mise en évidence dans cette étude. 96,9% des répondants affirmaient recevoir des encouragements de la part de leurs proches et également les médias étaient considérés comme un booster. (Kourouma S, *et al.*, 2016) ; (Mahé A, *et al.*, 2003) ont déjà fait de telles remarques de l'influence des médias et la publicités sur l'adoption de la pratique de la dépigmentation.

Il est intéressant de constater que seulement 84,4% des jeunes filles envisagent d'abandonner la pratique de la dépigmentation dans l'avenir en raison des conséquences sanitaires potentielles qu'elle peut entraîner. Cela suggère une prise de conscience croissante des risques pour la santé encourus suite à l'utilisation continue de produits éclaircissants.

3.3 Pratiques des enquêtées liées à la dépigmentation

Dans l'ensemble 84,8% de celles qui pratiquaient la dépigmentation s'approvisionnaient au marché de leur localité. Pour la plupart, ces produits cosmétiques vendus au marché de la contrebande sont facilement accessibles et à moindre coût avec possibilité d'achat sans ordonnance médicale. Ils ne font pas l'objet de contrôle de l'autorité de régulation pharmaceutique, ce qui fait d'eux, des produits de qualité douteuse. Cette source d'approvisionnement a été également identifiée comme principale dans d'autres études dans la région d'Afrique subsaharienne (Morand JJ, *et al.*, 2007) ; (Traoré A, *et al.*, 2005).

Lorsqu'on examine le rythme d'application des produits éclaircissants mentionné par les répondants, il est frappant de constater que la majorité d'entre elles (70,6%) indiquent une application biquotidienne. Ce chiffre souligne la régularité avec laquelle ces produits sont utilisés, ce qui peut avoir des implications importantes sur la santé de la peau et celle globale. Djegbo au Bénin (Djegbo CN., 2013) et Kourouma et al en Côte d'Ivoire ont trouvé de pareils résultats dans leur étude (Kourouma S, *et al.*, 2016).

Conclusion

La dépigmentation est connue de la plupart des élèves et étudiantes du département des Collines. La plupart des enquêtées la pratique et le critère de beauté est celui utilisé pour justifier le phénomène. Pour une partie des enquêtées, une femme de peau claire avait plus de valeur qu'une femme de peau noire. Les jeunes filles dans le souci de se rendre plus belles et attirantes sont en grande partie tentées d'adopter des combinaisons cosmétiques méconnues. Cet phénomène conduit inéluctablement vers l'utilisation de produits cosmétiques éclaircissants (dépigmentation). Pour lutter contre le phénomène ainsi observé, des interventions doivent être orientées prioritairement vers la communication pour un changement de comportement, la mobilisation sociale et l'application des mesures de contrôle de la commercialisation des produits cosmétiques.

Conflits d'intérêts : Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts pour cet article.

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

Déclaration de financement : Nous n'avons obtenu aucun financement pour cette recherche.

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, des directions départementales des enseignements et des directeurs des établissements. 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.

Références:

1. Alghamdi A. (2010). The use of topical bleaching agents among women : A cross-sectional study of knowledge, attitude and practices. *J Eur Acad Dermatol Venereol.*24:, 1214-9.
2. Al-Sheyab R F, Negresh N A, Marji R, et al. (2023) The Health Literacy of Retinol Cream Usage Among Female Students in the Faculty of Artificial Intelligence at Al-Balqa Applied University. *Cureus.* 15(6): e40223.
3. Asumah MN, Abdulai A, Dzantor EK et al. (2022). Prévalence du blanchiment de la peau et de ses facteurs associés chez les jeunes adultes au Ghana. *Santé publique et toxicologie.* 2022;2(1):6.
4. Atadokpédé F, Adégbidi H, Koudoukpo C, Téleclessou J, Aholoukpé C, Degboé B et al. (2015). Epidemiological and Clinical Aspects of Skin Bleaching in Secondary School in Bohicon, Benin. *Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Application.*5, 1-6.
5. Djegbo CN. (2013). Motivations, conséquences dermatologiques et systémiques de la dépigmentation volontaire chez les femmes dans les trois grandes marches de Parakou. [*Thèse de Médecine*]. *Université de Parakou, Bénin.*
6. Egbi OG, Kasia B (2021). Prevalence, determinants and perception of use of skin lightening products among female medical undergraduates in Nigeria. *Skin Health Dis.* 1(3):e46.
7. Glèlè-Ahanhanzo Y, Kpozehouen A, Maronko B, Azadjèmè C, Mongbo V, Sossa CJ. (2019). "Avoir la peau claireEt pourquoi pas ? " : Dépigmentation volontaire chez les femmes dans une région du sud-ouest du Bénin. *Pan Afr. med. J.* 33:72.

8. Koudoukpo C , Adegbidi H , Atadokpede F , Yedomon G H , Akpadjan F , Degboe-Souhin B , et al. (2012). Profil épidémiologique de la pratique cosmétique dépigmentante à Parakou (Benin). *Rev.CAMES-Série A*. 13(Supp 2):42-45.
9. Kouotou E A. (2019). Histoire de la Dépigmentation Volontaire. *Health Sci. Dis*. 20(6).
10. Kourouma S, Gbery P I, Kaloga M, Ecra E J, Sangaré A, Kouassi I Y, et al., & al . (2016). Dépigmentation cutanée cosmétique des femmes noires : Résultats d'une enquête CAP à Abidjan (Côte d'Ivoire). *The Pan African Medical Journal*. 2016;24:159.
11. Levang J, Eygonnet F, Humbert P. (2009). La dépigmentation volontaire à Mayotte ou le « Pandalao ». 136(10):681-6. *Ann Dermatol Venereol*. 136(10): 681-6.
12. Mahé A, Ly F, Aymard G, Dangou JM. (2003). Skin diseases associated with the cosmetic use of bleaching products in women from Dakar, Senegal. *Br J Dermatol*. 2003; 148(3):493- 500.
13. Mahé A, Ly F, Gounongbé A. (2004). L'utilisation cosmétique de produits dépigmentants à Dakar (Sénégal) : Facteurs socio-économiques et motivations individuelles. *Sci. Soc. Santé*. 2004.; 5-33.
14. Migan N. (2013). Étude des agents dépigmentants et de leur utilisation détournée dans la dépigmentation volontaire. [*Thèse de Pharmacie*]. Université Joseph Fourier, Saint-Martin-d'Hères, France.
15. Morand JJ, Ly F, Lightburn E, Mahé A. (2007). Complications de la dépigmentation cosmétique en Afrique. *Med Trop*. 2007 ;67(6):627-634.
16. Petit A. (2012). La dépigmentation volontaire : Tours et détours de la honte. *Champ psy*. 2(62):153-164.
17. Petit A, Cohen-Ludmann, Clevenbergh P, Bergmann JF, Dubertret L. (2006). Skin lightening and its complications among African people living in Paris. *J Am Acad Dermatol*. 55:873-878.
18. Raynaud E, Cellier C, Perret JL. (2000). Dépigmentation cutanée à visée cosmétique. Enquête de prévalence et effets indésirables dans une population féminine sénégalaise. *Ann Dermatol Venereol*. 128: 720-4.
19. Tesfamariam S, Bahta M, Weldemariam DG, Tesfamariam EH, Yemane H, Bahta I et al. (2023). Awareness, Perception, and Utilization of Skin Lightening Agents Among Females of Asmara, Eritrea : A Cross-Sectional Study. *Clin Cosmet Investig Dermatol*. 8;16:1191-1202.
20. Traoré A, Kadeba JC, Niamba P. (2005). Use of cutaneous depigmenting products by women in two towns in Burkina Faso :

Epidemiologic data, motivations, products and side effects. *Int J Dermatol.*44 Suppl 1 : 30-2.

21. Yayehrad AT, Lule A, Tebabal AT, Esmael M, Risqey N, Temesgen S et al. (2023). Concern on Skin Lightening Product Safety : Level of Awareness and Associated Factors Among Female Users in Bahir Dar City, Ethiopia. *Clin Cosmet Investig Dermatol.*16:1753-1761.

Dynamique de l'Exploitation des Produits Forestiers non Ligneux Commercialisés dans le Département de Goudomp, Sénégal

Seydou Ndiaye

PhD en Agroforesterie et Productions Végétales

Pape Ibrahima Djighaly

Post-Doc, PhD, Microbiologie /Agrophysiologie

Saboury Ndiaye

Enseignant Chercheur, PhD, Maître Assistant, Agroéconomiste

Université Assane Seck de Ziguinchor

Fodé Amata Dramé

Technicien de Laboratoire en Géomatique

Institut des Sciences de l'Environnement, UCAD

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p147](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p147)

Submitted: 16 January 2024

Accepted: 20 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Ndiaye S., Djighaly P.I., Ndiaye S. & Dramé F.A. (2024). *Dynamique de l'Exploitation des Produits Forestiers non Ligneux Commercialisés dans le Département de Goudomp, Sénégal*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 147. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p147>

Résumé

Dans le contexte de rareté des ressources forestières, évaluer le degré d'exploitation des produits forestiers non ligneux est crucial pour comprendre les pressions exercées sur les produits forestiers non ligneux et in fine de mettre en place des stratégies visant une exploitation rationnelle et durable des produits forestiers non ligneux. Cette étude a pour objectifs d'analyser la dynamique d'exploitation des produits forestiers non ligneux. Un suivi de l'exploitation des produits forestiers non ligneux a été réalisé chez 260 exploitants répartis en 30 groupements. Un questionnaire a été utilisé pour la collecte des données complémentaires et ont été administrés auprès de 150 producteurs au niveau de quatre communes. Les résultats montrent qu'entre 2012 et 2018, le volume d'exploitation du pain de singe est passé de 20,087 tonnes à 88,457 tonnes, de 1,19 T à 45,231 tonnes pour le Saba. Celui du miel est passé de 4 354 litres en 2012 à 6 694 litres, de 10 280 litres à 35 563 litres

pour l'huile de palme. Quant au Néré, son exploitation est passée de 79, 996 tonnes en 2012 à 263, 141 tonnes. La commercialisation des produits exploités a permis de générer plus de 208 859 000 millions de FCFA par an. Il ressort des enquêtes de perception que l'ensemble des produits forestiers subissent une forte pression et que leur disponibilité est de plus en plus faible. Dès lors, des stratégies résilientes sont à adopter allant de l'exploitation contrôlée à la conservation de ces ressources.

Mots-clés: Produits forestiers non ligneux ; Quantification ; Forêt ; Goudomp ; Sénégal

Dynamics of Non-Timber Forest Product Exploitation in Goudomp Department, Senegal

Seydou Ndiaye

PhD en Agroforesterie et Productions Végétales

Pape Ibrahima Djighaly

Post-Doc, PhD, Microbiologie /Agrophysiologie

Saboury Ndiaye

Enseignant Chercheur, PhD, Maître Assistant, Agroéconomiste

Université Assane Seck de Ziguinchor

Fodé Amata Dramé

Technicien de Laboratoire en Géomatique

Institut des Sciences de l'Environnement, UCAD

Abstract

In the context of scarce forest resources, assessing the degree of exploitation of non-timber forest products is crucial to understanding the pressures exerted on non-timber forest products and, ultimately, to implementing strategies aimed at rational and sustainable exploitation of non-timber forest products. The aim of this study is to analyze the dynamics of non-timber forest product exploitation. Non-timber forest product harvesting was monitored among 260 farmers in 30 groups. A questionnaire are used to collect additional data, and were administered to 150 producers in four communes. The results show that between 2012 and 2018, the volume of monkey bread harvested rose from 20.087 tonnes to 88.457 tonnes, and from 1.19 T to 45.231 tonnes for Saba. Honey production rose from 4,354 liters in 2012 to 6,694 liters, and palm oil from 10,280 liters to 35,563 liters. Néré production rose from 79.996 tonnes in 2012 to 263.141 tonnes. The marketing of harvested products generated more than 208,859,000 million FCFA per

year. Perception surveys show that all forest products are under heavy pressure, and that their availability is becoming increasingly limited. Resilient strategies must therefore be adopted, ranging from controlled harvesting to conservation of these resources.

Keywords: Non-timber forest products; Quantification; Forest; Goudomp; Senegal

Introduction

Dans plusieurs pays sahéliens, les produits forestiers non ligneux (PFNL) ont beaucoup contribué à la satisfaction des besoins quotidiens (aliments, résines, gomme, pharmacopée, feuilles etc.) des populations rurales (Rochette, 1989 ; Diouf, 1995 ; Hill et *al.*, 2007). Les PFNL sont pour la plupart exploités pour des usages alimentaires et médicinaux (Loubelo, 2012). Cependant, leur commerce relève du secteur informel, en raison du caractère non organisationnel de cette activité. C'est pourquoi la quantification des produits vendus n'est pas toujours une tâche facile (Ba et *al.*, 2006). D'après l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO, 1992), la valorisation des PNFL dans les pays en voie de développement a principalement été favorisée suite à la conjoncture économique notée dans ces pays . les PFNL sont en général, exploités quotidiennement de manière intensive par les populations riveraines et génèrent des revenus substantiels (Ba et *al.*, 2006). Cette exploitation intensive est, selon Djomo (2001), fonction de la demande domestique et/ou commerciale du produit et de la productivité de la ressource par rapport à son exploitation (Ba et *al.*, 2006 ; Mamo et *al.*, 2007; Narain et *al.*, 2008 ; Ouédraogo *et al.*, 2013).

Au Sénégal, où les superficies forestières sont évaluées à 8,068 millions d'hectares en 2020, les PFNL provenant des forêts et d'autres systèmes arborés continuent d'être une composante importante de la nutrition et de la santé des ménages, ainsi qu'une source de revenus (FAO, 2020). Dans le sud du Sénégal communément appelée la région naturelle de la Casamance qui concentre l'essentiel et les plus denses écosystèmes forestiers du Sénégal, les PFNL sont bien connus des communautés locales. Dans ces localités, Les PFNL directement commercialisables obtenus dans cette région naturelle soutiennent les moyens de subsistance de millions de personnes qui y vivent . Ils fournissent des aliments complémentaires tels que des racines, des tubercules, des légumes, des fruits et des céréales pour la famille. C'est le cas de l'intégration de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans les systèmes de production agricole de cette zone qui a induit un développement de manière exponentielle de cette espèce à cause de la rentabilité économique de ses noix (Ndiaye et *al.*, 2017a). Ainsi, face à l'augmentation de la population, la demande en PFNL s'est accrue , ce qui a poussé les populations à défricher de

vastes espaces et parfois même des forêts communautaires, protégées pour subvenir à leur besoins alimentaires (Loubelo, 2012). Cette situation a entraîné la raréfaction de certains PFNL dans cette zone. Des études sur les PFNL ont été prise en compte après les indépendances à travers plusieurs disciplines comme la botanique, l'ethnobotanique, la physiologie, la systématique et la phytosociologie avec des résultats souvent disparates (MakitaMadzou, 1985 ; Mialoundama, 1985 ; Adjanahoun et al, 1988). A ce jour, peu d'études intègrent l'évaluation de la dynamique d'exploitations et la commercialisation des PFNL par rapport à la demande des marchés (Ba et al., 2006).. Actuellement, les études se focalisent plus sur l'évaluation des services écosystémiques des forêts qui mettent plus l'accent sur les différents usages laissant en rade la quantification et les flux commerciaux au niveau local. C'est dans ce cadre que cette étude a été initiée. Elle a pour objectif d'analyser la dynamique d'exploitation des PFNL et les pressions exercées sur les forêts du département de Goudomp.

Matériel et méthodes

Présentation de la zone d'étude

Le département de Goudomp s'étend sur une superficie de 1 756 km² soit 23,9% de la superficie totale de la région de Sédhiou (Diatta, 2019). Il est traversé d'Est en Ouest par la route nationale N°6 communément appelée la route du Sud reliant Ziguinchor à Kolda (Ndiaye, 2014). C'est une zone à forte potentialité agricole où dominent l'agriculture familiale, l'arboriculture et la riziculture. La pêche y est aussi très développée. C'est également une zone cosmopolite où cohabitent différentes ethnies dont les balantes, mandingues, poulars, wolofs sérères, mankagnes, manjack, diolas etc (Ndiaye et al., 2017b). La végétation y est constituée de *Elaeis guineensis* (Jacq), de *Khaya senegalensis* (Desr), de *Ceiba pentandra*, *Pterocarpus erinaceus* (Poir) et de combrétacées. La structure de la végétation fait apparaître dans la strate arborée la présence des essences utilisées comme bois d'œuvre *Pterocarpus erinaceus* (Poir), *Khaya senegalensis* (Desr), *Azelia africana* (Sm) (Sambou, 2004). C'est également une zone où trois forêts classées sont rencontrées. Il s'agit des forêts classées de Balmadou, de Bafata et de Mangaroungou (Figure 1).

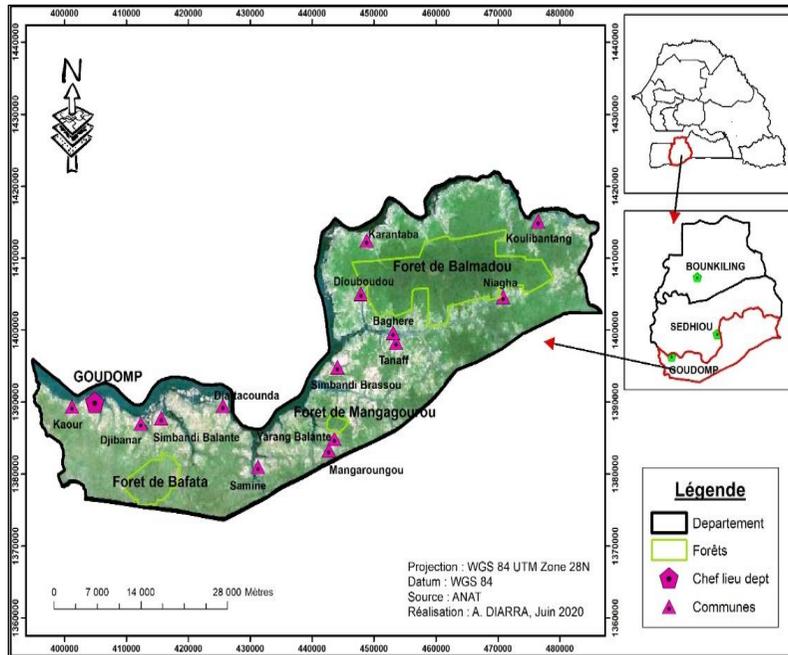


Figure 1. Situation géographique du département de Goudomp en 2020

Méthode de Quantification des principaux PFNL commercialisés

La quantification des principaux produits forestiers non ligneux (Huile de palme, miel, Racines diverses, écorces, pain de singe, feuilles de palmier, Néré) a été réalisée sur une population cible constituée d'exploitants forestiers. A ce titre, les activités de commercialisation de 260 exploitants forestiers dont 30 groupements de producteurs répartis dans les 15 communes du département ont été suivies durant toute la période de collecte de données. Pour les petits exploitants, le suivi des quantifications a été assuré par les agents du secteur forestiers de Goudomp, qui assurent le contrôle de ces activités au niveau de chaque commune. Les groupements de producteurs quant à eux, ont vu leur production quantifiée après paiement des taxes au niveau du secteur forestier de Goudomp.

Une enquête diagnostique a été menée en 2020. Ainsi, un questionnaire a été utilisé pour la collecte des données complémentaires et ont été administrés auprès de 150 exploitants au niveau des communes de Yarang, Simbandi Balante, de Diattacounda et Goudomp. Ces exploitants ont été enquêtés soit dans leur domicile ou au niveau des marchés hebdomadaires de Goudomp, de Diattacounda, de Simbandi Balante et de Yarang Balante choisis au hasard. La répartition des quotas des personnes à enquêter est faite suivant le poids démographique de chaque marché hebdomadaire (Tableau 1). L'objectif de cette enquête est d'analyser leur perception sur la diminution des ressources forestières dans le département.

Tableau 1. Répartition des personnes enquêtées dans les différents marchés hebdomadaires

Localités ciblées	Nombre de personnes enquêtées
Yarang Balante	50
Simbandi Balante	40
Goudomp	30
Diattacounda	30

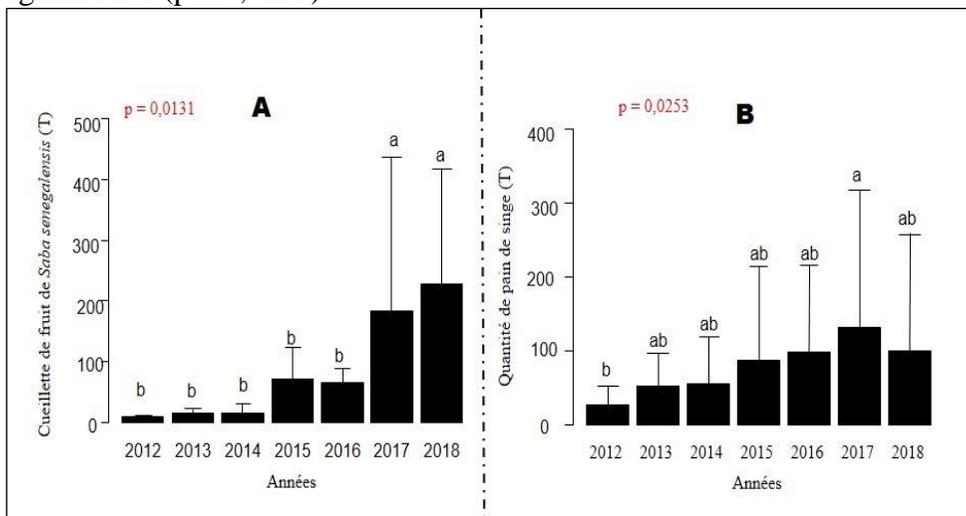
Traitement des données

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel R.3.4.2. Le test de Shapiro a été appliqué à l'ensemble des variables étudiées afin de vérifier les conditions de normalité des données. L'analyse de la variance (ANOVA) a été utilisée pour mettre évidence les interactions entre les différentes variables. Le test de Newman Keuls au seuil $\alpha = 0,05$ a permis de comparer les moyennes et de mettre en évidence les différences entre les facteurs étudiés.

Résultats

Suivi de la dynamique d'exploitation du pain de singe et du fruit de *Saba senegalensis* (A. DC.) Pichon

L'analyse de la Figure 2 traduit une cueillette soutenue et régulière de fruit de *Saba senegalensis* (A) entre 2012 et 2018. Le tonnage passe de 1,19 tonnes en 2012 à 45,231 tonnes en 2018. L'analyse de la variance montre une différence significative ($p = 0,0131$). Quant à la cueillette de pain de singe (B), les récoltes sont passées de 20,087 T en 2012 à 88,457 tonnes en 2017 avant de connaître une baisse en 2018 (80,097 tonnes) avec une différence significative ($p = 0,0253$).

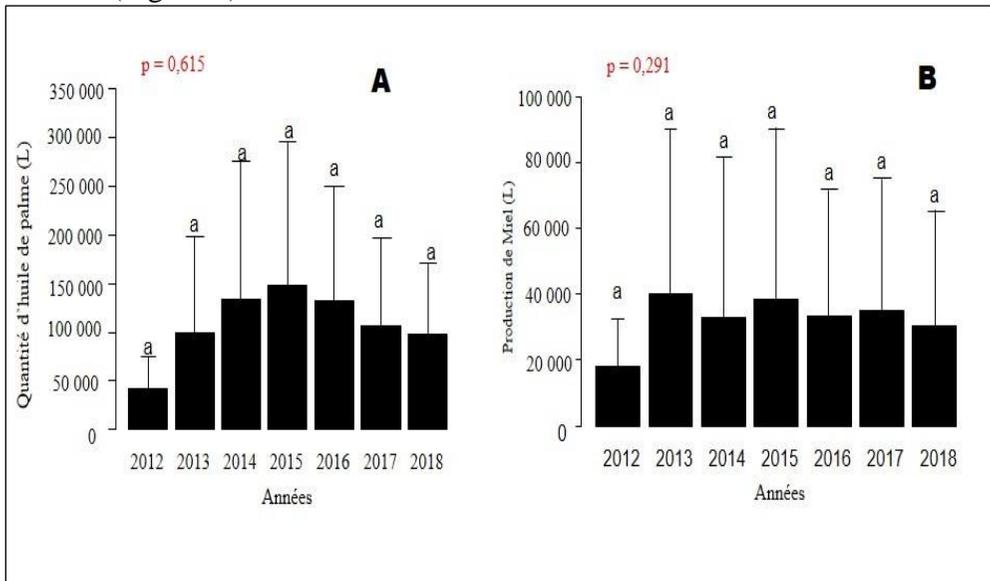


Les lettres **a**, **b**, **ab**, indiquent les différences significatives selon l'ANOVA et le test de Newman Keuls au seuil de 5% et les barres correspondent aux écarts type

Figure 2. Quantification de l'exploitation du pain de singe (B) et du fruit de *Saba senegalensis* (A) entre 2012 et 2018

Suivi de la dynamique de production de miel et d'huile de palme

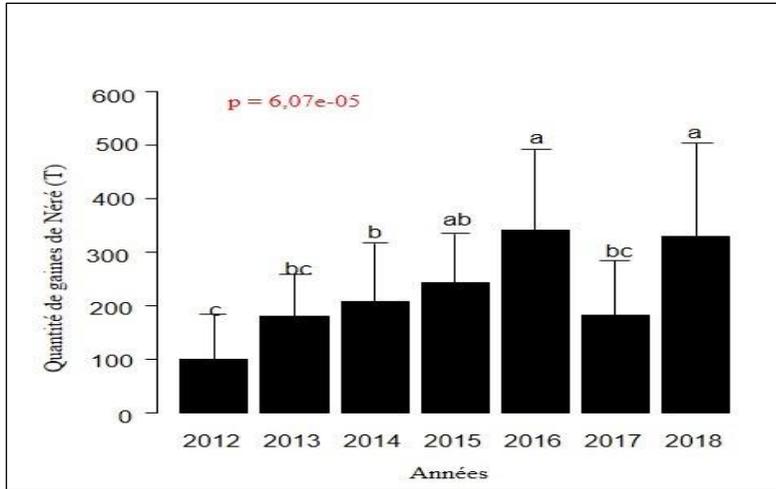
L'huile de palme et le miel sont deux produits très prisés par les populations du monde rural. La quantité d'huile de palme exploitée (**A**) a connu une production croissante entre 2012 et 2015 (de 10 280 litres à 35 563 litres) avant de connaître une baisse de production régulière en 2015 et 2018 (de 35 563 litres à 23 539 litres). Toutefois aucune différence significative n'a été notée dans cette dynamique de production ($p = 0,615$ ou $p\text{-value} > 0.05$). Quant à la production de miel (**B**), on observe une augmentation du rythme de production. Elle passe de 4 354 litres en 2012 à 6 694 litres en 2018. Aucune différence significative n'a également été notée par rapport à la quantité récoltée (Figure 3).



Les mêmes lettres **a**, indiquent que la différence n'est pas significative selon l'ANOVA et le test de Newman Keuls au seuil de 5% et les barres correspondent aux écarts type
Figure 3. Quantification de la production de miel (B) et d'huile de palme (A) entre 2012 et 2018

Suivi de l'exploitation du Néré (fruit de *Parkia biglobosa*)

Les fruits du Néré ont fait l'objet d'une exploitation abusive par les populations. Ainsi la production passe de 79, 996 tonnes en 2012 à 263, 141 tonnes en 2018 soit 3 fois plus par rapport à 2012. L'analyse de la variance montre une différence significative ($p = 6,07e^{-05}$ ou $p\text{-value} < 0.05$) de la production entre 2012 et 2018 (Figure 4).



Les lettres **a, b, c et ab**, indiquent les différences significatives selon l'ANOVA et le test de Newman Keuls au seuil de 5% et les barres correspondent aux écarts type

Figure 4. Quantification de l'exploitation du Néré entre 2012 et 2018

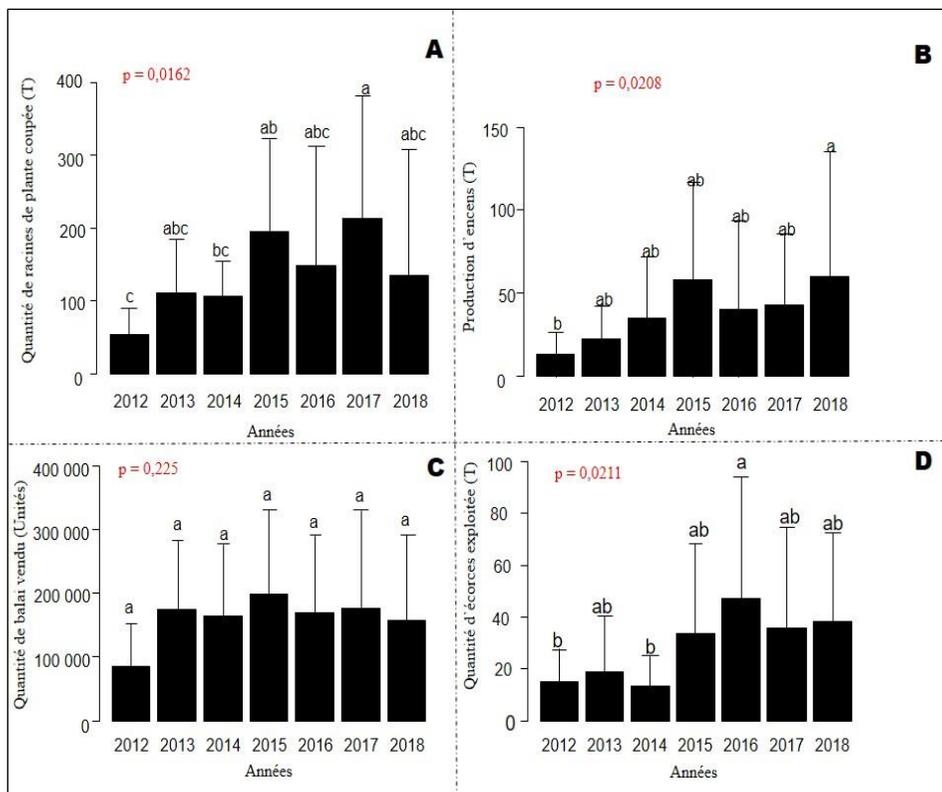
Quantification de l'exploitation des racines, écorces et feuilles de quelques arbres

La coupe des racines, feuilles et écorces des arbres ont connu une dynamique croissante (Figure 4). Quant à la coupe des racines, elle est passée de 13,5 tonnes en 2012 à 275,7 tonnes en 2018, soit 20 fois de plus en 6 ans (A) avec une différence significative entre 2012 et 2017 ($p = 0,0162$).

La fabrication d'encens (B) a également connu une production soutenue. Elle est passée de 4,2 tonnes en 2012 à 60,056 tonnes en 2018. L'analyse de la variance montre une différence significative de la fabrication d'encens entre 2012 et 2018 ($p = 0,0208$).

La fabrication de balais à base de feuilles de palmier à huile a connu une dynamique croissante. Entre 2012 et 2018, elle est passée de 85,2 T à 112,94 tonnes (C). L'analyse de la variance ne montre aucune différence significative dans cette dynamique de fabrication ($p = 0,225$).

L'activité de coupe d'écorces d'arbre a connu une progression régulière entre 2012 et 2018 (D). Elle est passée de 14,785 tonnes à 38,525 tonnes. L'analyse de la variance montre une différence significative de cette coupe entre 2012 et 2016 ($p = 0,0221$).



Les lettres **a, b, c, ab, bc, abc** indiquent les différences significatives selon l'ANOVA et le test de Newman Keuls au seuil de 5% et les barres correspondent aux écarts type

Figure 4. Exploitation des racines, écorces et feuilles de quelques arbres

Situation générale de l'exploitation des principaux PFNL dans les 15 communes du département de Goudomp

La demande et la pression du marché sur les PFNL deviennent de plus en plus fortes. Toutes les espèces à l'exception de *Daniellia oliveri*, de *Combretum glutinosum* et de *Guiera senegalensis* J.F. ont tous connu une hausse du rythme de leur exploitation. Le constat général montre une disponibilité faible pour la plupart des espèces ciblées (Tableau 2). Ce qui montre l'état alarmant de la ressource (PFNL) au niveau du département.

Tableau 2. Perception des populations sur l'état des PFNL dans le département par rapport à la situation du marché

Espèces	Préférence de consommation du PFNL	Demande du marché	Pression sur la ressource	Impact économique	Disponibilité de la ressource
<i>Andansonia digitata</i> L	Feuilles	***	***	***	*
<i>Parkia biglobosa</i>	Fruits	***	***	***	**

(Jacq.) R.Br.					
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Fruits, feuilles et vin palmiste	***	***	***	**
<i>Daniellia oliveri</i> (Rolfe) Hutch.	écorces	*	*	**	*
<i>Borassus akeassii</i> Bayton, Ouédrago	Feuilles et fruits	***	***	***	*
<i>Combretum glutinosum</i> Perr	feuilles	*	*	*	**
<i>Saba senegalensis</i> (A. DC.) Pichon	Fruits	***	***	***	*
<i>Landolphia heudelotii</i> A. DC	Fruits	***	***	**	*
<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	Ecorces et Racines	*	***	*	*
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del	Fruits	*	***	*	*
<i>Bombax costatum</i> Pellegr. & Vuillet	Fleurs	*	***	*	*
<i>Cola cordifolia</i> (Cav.) R. Br.	Fruits	***	***	***	*
<i>Guiera senegalensis</i> J.F. Gmel.	Feuilles	*	*	*	*
<i>Tamarindus indica</i> L.	Feuilles et Fruits	***	***	***	*
« *** » : Très fort ; « ** » : Fort ; « * » : Faible					

Evaluation économique du commerce de quelques PFNL sur le revenu des ménages collecteurs

Cette évaluation a porté sur huit (8) principaux PFNL les plus exploités par les populations. Il ressort de cette analyse que les PFNL à fort impact économique dont le revenu brut est compris entre 10 et 150 millions FCFA sont le soubala « Nététou », suivi de l'huile de palme, du miel. Le reste des PFNL génère un revenu inférieur à 5 millions FCFA aux exploitants.

Globalement, l'apport des PFNL se chiffre à 177,3 millions FCFA par an. Ce qui est une manne financière non négligeable compte tenu du niveau de pauvreté dans cette zone. (Tableau 3).

Tableau 3. Importance économique des principaux PFLN dans le département

Espèces	Produit Forestier Non Ligneux	Volume de Production (Kg)	Autoconsommation	Prix de vente au Kg	Revenu brute (FCFA)
<i>Andansonia digitata</i> L	Pain de singe	57 985	2 %	600	34 791 000
Abeilles	Miel	7 522	5 %	1500	11 283 000
<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R.Br.	Soumbala « Nététo »	178 401	2 %	750	133 800 750
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Huile de palme	20 015	10 %	1000	20 015 000
<i>Detarium senegalense</i>	« Ditakh »	1 001	40 %	600	600 000
<i>Dialium guineense</i>	Tamarinier noir « solom »	3 800	10 %	300	1 140 000
<i>Saba senegalensis</i> (A. DC.) Pichon	Madd''	18 400	10 %	300	5 520 000
<i>Landolphia heudelotii</i> A. DC	''Toll''	5 100	10 %	300	1 530 000
Total	208 859 000 FCFA				

« » = Nom vernaculaire du produit

Discussion

L'analyse de quantification des principaux produits (PFNL) commercialisés montre une forte dynamique d'exploitation. Pour toutes les principales espèces exploitées, les volumes de production ont été multipliés par trois voir par 20 pour une période de 6 ans. La déforestation, les feux de brousse et l'augmentation de la population serait les premiers facteurs qui ont entraîné la rareté de certains PFNL. A cela il faut ajouter l'expansion des plantations d'anacardier au détriment des massifs forestiers dans cette zone (Ndiaye et al., 2017a). Malgré la diminution du potentiel des PFNL, la demande du marché reste très forte à cause de l'impact socioéconomique de certains produits tels que l'huile de palme (Yombouno, 2014 ; Camara et al., 2017), du miel (Kanouté, 2012) etc. Plus de 177 millions de Fcfa sont tirés de l'exploitation des PFNL au niveau du département. Cette situation s'explique par le fait que, dans la plupart des pays pauvres, les populations riveraines des forêts tirent entre 60 et 80 % de leurs revenus des ressources naturelles (Ndoye et al., 1999). En effet, Car l'exploitation de ces ressources forestières non ligneux leur permettent de se soigner (Arbonnier, 2008), de se nourrir

(Angerand, 2007 ; Gomis, 2015). Ces résultats confirment les travaux de Awono et *al.*, (2009) qui ont conclu que la valeur annuelle des neuf principaux PFNL en République Démocratique du Congo et au Cameroun en 2007/2008 s'est révélée supérieure à 38,5 millions de dollars. Dans le cadre de cette étude,

Les actions anthropiques (feux de brousse, coupe abusive de bois, alimentation humaine, pharmacopée etc.) constituent une menace sérieuse quant à l'avenir les produits forestiers non ligneux. Certains produits comme « Toulcouna » de l'espèce *Carapa porcera* (Gueye et *al.*, 2010) sont très rare voir disparu dans le commerce du PFNL dans cette zone. A cause de l'indisponibilité de certains PFNL, les prix de vente ont connu une flambée. En effet, le pain de singe s'achetait à 121 FCFA (Ba et *al.*, 2006) en 2000 contre 600 FCFA en 2020, le litre du miel était vendu à 713 FCFA contre 1500 FCFA en 2010, le soubala à 134 FCFA en 2000 et 750 FCFA en 2020 etc. Malgré cette situation alarmante du niveau de dégradation des ressources forestières, aucune action de restauration ou de conservation n'est initiée de la part des populations et des autorités locales. Cette doléance doit être inscrite au cœur des politiques publiques pour une meilleure gestion des ressources naturelles dans cette zone.

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer la dynamique d'exploitation des principaux produits non ligneux commercialisés dans le département de Goudomp. Elle a montré que parmi les principaux produits commercialisés, le néré « nététo » génère un revenu brut le plus élevé suivi de l'huile de palme et du miel. La surexploitation est une menace sérieuse pour la viabilité des espèces comme le *Parkia biglobosa* et *Elaeis guinensis*. Les autres produits ont connu une augmentation du prix de vente qui a été multiplié par 5 entre 2000 et 2020 à cause de la rareté ou de l'indisponibilité de la ressource malgré la forte demande du marché. A vu des résultats, l'exploitation et la commercialisation des produits forestiers non ligneux ne combinent toujours pas la demande du marché. Du fait de leur importante valeur économique, il ressort des enquêtes de perception que l'ensemble des produits forestiers subissent une forte pression et que leur disponibilité est de plus en plus faible. Dès lors, des stratégies résilientes sont à adopter allant de l'exploitation contrôlée à la conservation pour une gestion durable de cette ressource.

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

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

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

Déclaration pour les participants humains : Cette étude a été approuvée par le laboratoire d'Agroforesterie et d'Ecologie de l'Université Assane Seck de Ziguinchor (Sénégal) et les principes de la déclaration d'Helsinki ont été respectés.

References:

1. Angerand, S. (2007). FIPCAM Hold up dans les forêts Camerounaise : Les Amis de la terre 13 p.
2. Arbonnier, M. (2000). Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. Montpellier : CIRAD, MNHN, 541 p
3. Ba, C.O., Bishop, J., Deme, M., Diadhiou, H.D., Dieng, A.B., Diop, O., Garzon, P.A., Gueye, B., Kebe, M., Ly, O.K., Ndiaye, V., Ndione, C.M., Sene, A., Thiam, D., Wade, I.A. (2006). Evaluation préliminaire des produits forestiers non ligneux, de la chasse et de la pêche continentale. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni, 79 p
4. Camara, B., Sagna, B., Ngom, D., Niokane, M., Gomis, D.Z. (2017). Importance socioéconomique de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palmier à huile) en Basse-Casamance (SENEGAL). *European Scientific Journal* April 2017 édition Vol.13, No.12, 214-230
5. Diatta, B.S. (2019). Caractérisation écologique des parcs agroforestiers à *Anacardium occidentale* L. dans le Département de Goudomp (Région de Sédhiou / Sénégal), Mémoire de Master, Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal. 53 p
6. Diouf, B. (1995). Responsabilité des Populations dans la Gestion des Ressources Forestiers dans le Nord Sénégal. Document RDFN numéro 18d, Hiver 1994 B Printemps 1995, 20-23
7. Djomo, L. (2001). Etude sur la nécessité d'introduire les produits forestiers non ligneux (PFNL) dans l'élaboration des normes et méthodes d'inventaires et directives d'aménagement. TCP/CMR/006 : rapport de consultation, 78p
8. FAO/OMS. (1992). Amélioration de la sécurité alimentaire des ménages. Document thématique, Conférence Internationale sur la Nutrition. FAO/OMS PRECOM/ICN/92/INF, 6p
9. Gomis, Z.D. (2015). Les parcs agroforestiers à *Elaeis guineensis* Jacq. (Palmier à huile) : Caractéristiques biophysiques et importance socio-économique à Ouonck (Basse Casamance). Mémoire de Master. Université Assane de Ziguinchor. 79 p

10. Gueye, M., Kenfack, D., Forget, P.M. (2010). Importance socio-culturelle, potentialités économiques et thérapeutiques du Carapa (Meliaceae) au Sénégal. Xander van der Burgt; Jos van der Maesen; Jean-Michel Onana. Systematics and conservation of African plants / *Systématique et Conservation des Plantes Africaines, Royal Botanic Gardens, Kew*, pp.357-366
11. Hill, T., Ouedraogo, Y., Conditamde L. (2007). L'entreprise villageoise d'exploitation des arbres au Burkina Faso : appuyer le développement des petites entreprises dont l'activité est fondée sur les produits forestiers non ligneux, in "La foresterie à petite échelle", Unasylva No. 228 Vol. 58, 2007/3, FAO, Rome, 2007, <http://www.fao.org/docrep/010/a1346f/a1346f00.htm>
12. Kanouté, P.T. (2012). La démarche de qualité liée à l'origine du Casamance, Sénégal. FAO/REDA. 30 p
13. Loube, Lo. (2012). Impact des produits forestiers non ligneux (PFNL) sur l'économie des ménages et la sécurité alimentaire : cas de la République du Congo. Thèse de Doctorat en Economies et finances. Université Rennes 2, 261p.
14. Mamo, G., Sjaastad, E., Vedeld P., (2007). Economic dependence on forest resources: A case from Dendi District, Ethiopia, *Forest Policy and Economics* 9 (2007) 916-927,
15. Narain, U., Gupta, S., van't Veld, K. (2008). Poverty and resource dependence in rural India, *Ecological Economics*, Vol. 66, Issue 1, 2008, Pages 161-176
16. Ndiaye, S. (2014). Caractérisation des plantations à base de *Anacardium occidentale* L dans la communauté rurale de Djibanar. Mémoire de Master, Université Assane Seck de Ziguinchor (Sénégal), p. 58
17. Ndiaye, S., Charahabil, M.M, Ndiaye, O., Diatta, M. (2017a). Déterminisme de la flore ligneuse associée dans la production des parcs à *Anacardium occidentale* L. dans la communauté rurale de Djibanar (Casamance/Sénégal) *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(2): 585-596
18. Ndiaye, S., Charahabil, M.M., Diatta, M. (2017b). Caractérisation des Plantations à Base d'anacardier dans les communes de Kaour, Goudomp et Djibanar. *European Scientific Journal* April 2017. Edition Vol.13, No.12, 242-257
URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n12p242>
19. Ndoye, O., Ruiz-Pérez, M. (1999). Commerce transfrontalier et intégration régionale en Afrique centrale: cas des produits forestiers non ligneux. *Bulletin Arbres, Forêts et Communautés Rurales*, 17: 4-12.

20. Ouédraogo, M., Ouédraogo, D., Thiombiano, T., Hien, M., Lykke, A.M. (2013). Dépendance économique aux produits forestiers non ligneux : cas des ménages riverains des forêts de Boulon et de Koflandé, au Sud-Ouest du Burkina Faso, *Journal of Agriculture and Environment for International Development - JAEID* - 2013, 107 (1) 45 – 72
21. Rochette, R.M. (1989). Le Sahel en lutte *contre la désertification : leçons d'expériences*. CILSS/PAC GTZ, 592 p.
22. Sambou, B. (2004). Evaluation de l'état, de la dynamique et des tendances évolutives de la flore et de la végétation ligneuses dans les domaines soudanien et sub-guinéen au Sénégal. Thèse de doctorat d'Etat. Dakar : Institut des Sciences de l'Environnement, Université Cheikh Anta Diop, 210 p.
23. Yombouno, A. (2014). Historique de l'exploitation du palmier à huile en Afrique. 36 p
24. FAO. 2020. Évaluation des ressources forestières mondiales. Rapport principal. 145 p

Diversité et Distribution du Peuplement Ichtyofaune dans l'Estuaire de Betsiboka, Nord-Ouest de Madagascar

Tsirilaza Benjamin

Doctorant, Ecole Doctorale en Biodiversité et Environnement Tropicaux,
Université de Toliara, Toliara, Madagascar

Andriamirado Rabarison Guy Arthur

Docteur, Centre National de la Recherche sur l'Environnement (CNRE)

Rasoloariniaina Jean Robertin

Docteur, Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe-Vakinankaratra,
Madagascar

Jean-Michel Yves Mong

Docteur, Docteur, Centre National de la Recherche sur l'Environnement
(CNRE)

Félicitée Rejo-Fienena

Professeur Titulaire, Ecole Doctorale en Biodiversité et Environnement
Tropicaux, Université de Toliara, Toliara, Madagascar

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p162](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p162)

Submitted: 23 February 2024

Accepted: 11 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Tsirilaza B., Andriamirado R.G.A., Rasoloariniaina J.R., Jean-Michel Y.M. & Félicitée R.F. (2024). *Diversité et Distribution du Peuplement Ichtyofaune dans l'Estuaire de Betsiboka, Nord-Ouest de Madagascar*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 162.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p162>

Résumé

L'estuaire de Betsiboka, situé sur la côte nord-ouest de Madagascar, est le plus grand écosystème estuarien du pays. L'article explore la diversité des poissons dans cet estuaire, mettant en lumière la distribution ichtyologique au sein de cet écosystème. La méthodologie adoptée comprend deux approches d'échantillonnage des poissons, à savoir le suivi des prises de la petite pêche et la pêche expérimentale. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel R, et les indices écologiques tels que l'Indice de Shannon-Weaver, l'Indice d'Équitabilité de Piélou, l'Indice de Similarité de Jaccard, ainsi que la classification hiérarchique, ont été évalués à l'aide du package "Vegan". Les résultats montrent une richesse spécifique élevée, avec 63 espèces distinctes.

Les analyses des indices écologiques montrent des variations spatiales de la diversité spécifique et des similitudes entre les villages. La classification hiérarchique confirme la formation de deux groupes distincts. Cette étude contribue significativement à l'enrichissement des connaissances sur la diversité et la répartition des poissons dans l'estuaire de Betsiboka, offrant ainsi une base solide pour la gestion durable de la pêche et de cet écosystème vital.

Mots-clés: Estuaire Betsiboka, Poissons, Indice écologique, Gestion durable, Madagascar

Ichthyofauna Diversity and Distribution in the Betsiboka Estuary, Northwest Madagascar

Tsirilaza Benjamin

Doctorant, Ecole Doctorale en Biodiversité et Environnement Tropicaux,
Université de Toliara, Toliara, Madagascar

Andriamirado Rabarison Guy Arthur

Docteur, Centre National de la Recherche sur l'Environnement (CNRE)

Rasoloariniaina Jean Robertin

Docteur, Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe-Vakinankaratra,
Madagascar

Jean-Michel Yves Mong

Docteur, Docteur, Centre National de la Recherche sur l'Environnement
(CNRE)

Félicitée Rejo-Fienena

Professeur Titulaire, Ecole Doctorale en Biodiversité et Environnement
Tropicaux, Université de Toliara, Toliara, Madagascar

Abstract

The Betsiboka Estuary, located on the northwest coast of Madagascar, is the largest estuarine ecosystem in the country. This article explores the diversity of fish in this estuary, focusing on species distribution within this ecosystem. The methodology employed includes two fish sampling approaches: small-scale fishing catch monitoring and experimental fishing. Data were processed using the R software, and ecological Index such as the Shannon Index, Pielou's Evenness Index, Jaccard Similarity Index, along with hierarchical clustering, were assessed using the "Vegan" package. The results emphasize a diversity of species, with 63 distinct species identified. Analyses of ecological indices showcase spatial variations in specific diversity and

similarities between villages. Hierarchical clustering affirms the formation of two distinct groups. This research significantly contributes to advancing understanding regarding the diversity and distribution of fish in the Betsiboka Estuary, establishing a solid groundwork for the sustainable management of fisheries and this crucial ecosystem.

Keywords: Betsiboka Estuary, Fish, Ecological Index, Sustainable management, Madagascar

Introduction

Les estuaires, définis comme les zones où les cours d'eau se jettent dans la mer, se caractérisent par des processus de mélange entre les eaux douces des cours d'eau et les eaux salées de la mer, créant ainsi des environnements saumâtres uniques (Wikipedia). Plusieurs études ont souligné l'importance cruciale des milieux estuariens en tant qu'écosystèmes parmi les plus productifs de la planète, abritant une biodiversité ichthyologique exceptionnellement riche. Ces zones jouent un rôle essentiel en tant que lieux de reproduction et de croissance pour de nombreuses espèces de poissons (Baran, 1995 ; GIP Loire-Estuaire, 2009).

L'estuaire de Betsiboka, situé sur la côte nord-ouest de Madagascar, marque l'embouchure du plus grand fleuve de Madagascar et est l'un des littoraux connaissant l'évolution la plus rapide au monde. Pendant la saison des pluies, il est souvent caractérisé par une teinte rouge vif, attribuable à une érosion significative en amont (Nasa, 2004). Betsiboka se déverse dans le canal du Mozambique à Majunga et prend la forme d'un estuaire sous l'influence des marées. Parmi les écosystèmes d'importance vitale dans cette région, les mangroves jouent un rôle essentiel en tant qu'habitats de reproduction, de nurserie, d'alimentation et de protection pour de nombreuses espèces de poissons (Dirberg, 2015 ; PNUE, 2007). Dans la partie aval de l'estuaire, il se divise en trois bras principaux et de multiples canaux à travers les îlots de mangroves couvrant une superficie estimée à 46 000 hectares (La maison de Madagascar, 2023). Ces circonstances suscitent l'intérêt d'entreprendre une étude sur la diversité des poissons dans cet estuaire. Les populations de poissons dans cet estuaire demeurent largement inexplorées. Les recherches consacrées aux poissons dans les environnements estuariens attirent un intérêt considérable parmi les scientifiques en raison de la spécificité intrinsèque des systèmes estuariens en termes de biodiversité, de leur importance tant sur le plan social qu'économique, ainsi que des menaces qui pèsent sur ces écosystèmes en raison de l'expansion des activités humaines (Whitfield, 1999 ; Chabanne, 2007). L'étude de la diversité des poissons au sein d'un estuaire offre une meilleure appréhension de l'état de l'écosystème. Cela favorise la préservation de la biodiversité, contribue à la gestion durable

des ressources halieutiques, et soutient la conservation des services écosystémiques fournis par ces zones. Ces raisons constituent les motifs sous-jacents à la réalisation de cette étude dans l'estuaire de Betsiboka.

Il est nécessaire d'inventorier la faune ichthyologique de l'estuaire de Betsiboka en vue de la mise en place d'un plan d'aménagement de la petite pêche et de la conservation de la mangrove dans cette zone. Étant donné l'absence de recherches scientifiques antérieures, la présente étude réalisée dans l'estuaire de Betsiboka vise à inventorier les espèces de poissons et à analyser la distribution du peuplement à partir des captures de la petite pêche et la pêche expérimentale.

1. Matériels et méthodes

1.1 Site d'étude

Le site d'étude est localisé dans l'estuaire de Betsiboka, nord-ouest de Madagascar. Pour bien apprécier la distribution des poissons dans l'estuaire, la conduite de cette présente recherche a été réalisée dans les 4 principaux villages des pêcheurs dans l'estuaire à savoir Katsepy, Boanamary, Marovoay et Maroala. Katsepy se situe en aval de l'estuaire avec la dominance de l'eau de mer. Boanamary est caractérisé par les ilots de mangroves zones de fréquentation des pêcheurs. Marovoay a été choisi pour l'importance de la pêche dans le village et la pratique de pêche dans l'eau saumâtre. Maroala se situe en amont, à la limite de l'influence de la marée dans l'estuaire.

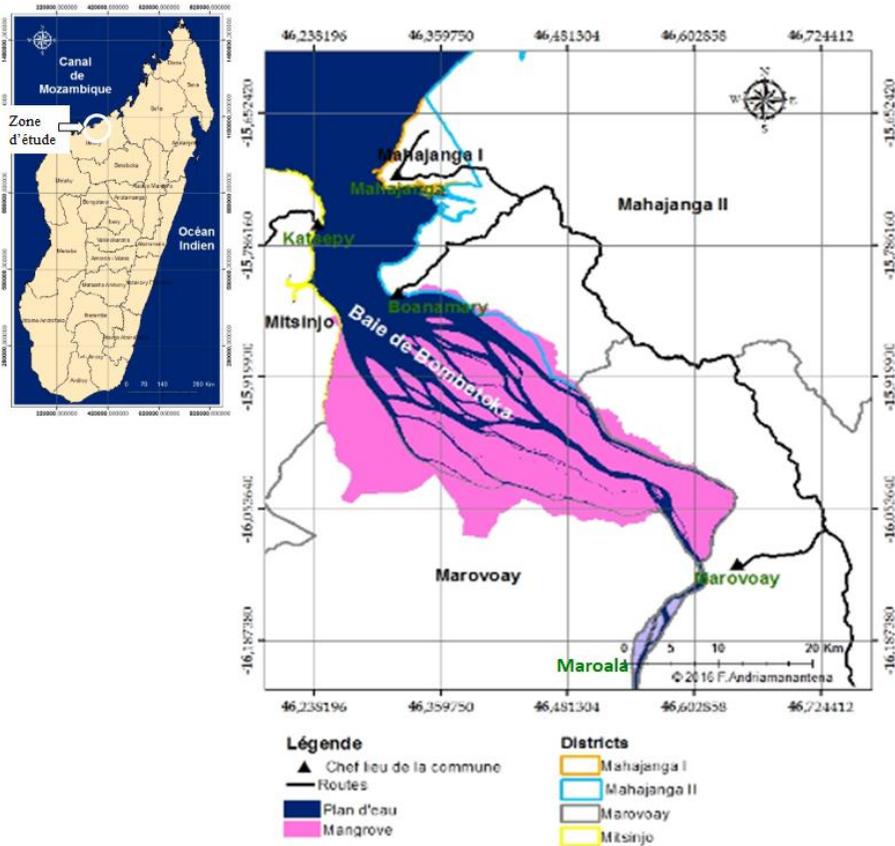


Figure 1. Localisation de la zone d'étude
Source : Andriamanantena, 2016

1.2 Collecte des données

La présente étude s'inscrit dans le cadre du projet DIDEM (Dialogue entre la Science et les Décideurs pour la Gestion Intégrée des Environnements Côtiers et Marins), se concentrant sur l'exploration des populations ichtyofaunes dans l'estuaire de la Betsiboka pour un période de mars 2021 à mars 2023. Deux méthodes d'échantillonnage des poissons ont été adoptées dans l'estuaire de Betsiboka dans le cadre de cette étude : la méthode d'échantillonnage par suivi de la capture de la petite pêche et la méthode d'échantillonnage par la pratique de la pêche expérimentale. Une coopération étroite a été établie avec des collecteurs de poissons dans les 4 villages d'interventions. Cela a permis aux enquêteurs de manipuler et d'enregistrer quotidiennement de manière aléatoire les poissons livrés par les pêcheurs au point de débarquement. Ces enquêteurs ont suivi une formation pour garantir la collecte de données précises sur l'identification sur site des poissons. La pratique de la pêche expérimentale résidait dans l'effort de compléter

l'évaluation des populations de poissons. Cette approche avait pour but de collecter des échantillons d'espèces peu fréquemment capturées par les pêcheurs locaux, provenant de zones rarement explorées. Deux types de filets maillants, mesurant 15 cm et 20 cm de mailles, d'une longueur totale de 100 mètres et d'une chute de 1.5 mètre, ont été employés à cet effet. La pratique de la pêche a été réalisée pendant la marée basse, lorsque la pêche est réalisable. La pêche expérimentale a été effectuée à l'aide d'une pirogue motorisée, et les filets ont été déployés quatre fois par sortie de pêche expérimentale. Cette approche a été mise en œuvre à deux moments distincts : cinq sorties pendant la saison sèche en octobre 2021 et cinq sorties lors de la saison humide en avril 2022.

1.3 Identification systématique de poissons

Pour chaque espèce de poissons présente dans l'estuaire de Betsiboka, des échantillons ont été prélevés et enregistrés en utilisant leur nom vernaculaire local. Les individus ont été soigneusement préservés en utilisant soit une solution de formol à 10% ou de l'alcool à 70% dans des bocaux hermétiquement scellés. L'identification des échantillons a été menée au Laboratoire de l'Hydrobiologie, qui fait partie du Département Système Aquatique et Côtier du Centre National de Recherches sur l'Environnement Madagascar. Cette identification s'est basée principalement sur l'analyse des caractères morphologiques externes des poissons. Pour ce faire, des guides d'identification tels que le "Guide des poissons commerciaux de Madagascar" de Bauchot (Bauchot & al., 1984) et les ressources disponibles sur FishBase (Froese & al., 2016) ont été utilisés comme références.

1.4 Analyse des données

Les données ont été organisées de manière systématique à l'aide d'un tableur Excel. L'analyse des indices écologiques a été effectuée avec le logiciel R en utilisant la procédure du package « Vegan » (Oksanen & al., 2012). Les implications et les équations liées à l'utilisation des indices écologiques ont été détaillées dans l'étude réalisée par Lusasi et al. (2022).

Richesse spécifique : La richesse spécifique, ou diversité alpha, est une mesure de la biodiversité de tout ou partie d'un écosystème. Elle désigne le nombre d'espèces présentes dans un milieu donné ainsi que des variations spatiales des secteurs faunistiquement riches et des secteurs plus pauvres (Lusasi & al., 2022). Elle a été utilisée pour mettre en évidence les différences entre richesses spécifiques des captures de différentes espèces (Marcon & Morneau, 2014 in Lusasi & al., 2022). Dans le cadre de cette étude, la fonction "specnumber" du package "Vegan" a été employée pour évaluer la richesse spécifique dans l'estuaire de Betsiboka.

Indice de Shannon (H') : L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont codominances (Lusasi & al., 2022). Il est représenté par la formule suivante : $H' = -\sum ((N_i/N) \cdot \log (n_i/N))$. i est le nombre total d'espèces présentes et varie de 1 à i , n_i exprime l'effectif du taxon i ; N est l'effectif total de l'échantillon et H' est l'indice de diversité de Shannon et Weaver. En utilisant le package « Vegan », la fonction « diversity, method = shannon » a été utilisée pour calculer cet indice.

Indice d'Équitabilité de Pielou (J') : cet indice permet de mesurer l'équilibre ou la régularité ou encore l'équipartition des espèces du peuplement par rapport à une répartition théorique égale pour l'ensemble des espèces (Lusasi & al., 2022). Il est exprimé par la formule mathématique : H'/H_{max} où $H_{max} = \log S$. J' tend vers 0 lorsqu'une espèce domine largement et elle est égale à 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance (Paugy, 1994 in Lusasi & al., 2022).

Indice de similarité de Jaccard (I) : cet indice définit la similitude comme étant l'importance de remplacement des espèces ou les changements biotiques à travers les gradients environnementaux. Il permet une comparaison entre deux sites, car il évalue la ressemblance entre deux relevés en faisant le rapport entre les espèces communes aux deux relevés et celles propres à chaque relevé (Lusasi & al., 2022). Il est exprimé par $I = N_c / (N_1 + N_2 - N_c)$ où N_c est le nombre de taxons communs aux stations 1 et 2 ; N_1 et N_2 sont le nombre de taxons présents respectivement aux stations 1 et 2. La fonction « vegdist, method = jaccard » du package « Vegan » a été employée pour calculer l'indice de Jaccard (I) dans le cadre de cette étude.

Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) : La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) permet de regrouper graduellement les individus en fonction de leur similitude, évaluée au moyen d'un indice de similarité ou de dissimilarité. Cette approche vise à former des ensembles définis par plusieurs variables ou caractéristiques (Kouamélan, 1999, in Lusasi & al., 2022). En réalité, elle crée des classes en regroupant successivement deux à deux les objets, ce qui donne lieu à une hiérarchie de la partition des objets (Mondo & al., 2020). Dans le cadre de cette étude, la CAH a été utilisée pour examiner la proximité entre les villages d'intervention en relation avec les espèces de poissons observés. Elle a été réalisée à l'aide de la fonction « hclust, method = ward.D2 » du package « vegan ».

2. Résultats

2.1 Richesse spécifique

Dans cette étude menée dans l'estuaire de Betsiboka, 8 159 individus de poissons répartis en 63 espèces distinctes ont été recensés. Katsepy se distingue en abritant la plus grande diversité spécifique avec 56 espèces de poissons, suivie de près par Boanamary avec 50 espèces. En revanche, Marovoay et Maroala présentent une moindre diversité spécifique, ne comptant respectivement que 26 et 24 espèces de poissons. Le tableau ci-dessous illustre la diversité spécifique dans les quatre villages principaux de l'estuaire de Betsiboka.

Tableau 1. Liste des espèces de poissons observées dans l'estuaire de Betsiboka

Espèces	Villages			
	Katsepy	Boanamary	Marovoay	Maroala
<i>Acanthopagrus berda</i>	+	+	+	+
<i>Ambassis gymnocephalus</i>	+	+	+	+
<i>Anguilla marmorata</i>			+	+
<i>Anguilla mossambica</i>			+	+
<i>Arius polystaphylodon</i>	+	+	+	+
<i>Caranx ignobilis</i>	+	+		
<i>Caranx sexfasciatus</i>	+	+	+	+
<i>Carcharhinus sp</i>	+			
<i>Carcharhinus sp</i>	+	+		
<i>Clupea punctata</i>	+	+		
<i>Cyprinus carpio</i>	+	+	+	+
<i>Drepane punctata</i>	+	+		
<i>Eleotris Fusca</i>			+	+
<i>Gobius giuris</i>			+	+
<i>Elops machnata</i>	+	+		
<i>Epinephelus sp</i>	+	+		
<i>Epinephelus sp</i>	+	+	+	+
<i>Gerres filamentosus</i>	+	+		
<i>Gobius giuris</i>		+	+	+
<i>Heterotis niloticus</i>	+		+	+
<i>Hilsa kelee</i>	+	+		
<i>Pellona ditchela</i>	+	+		
<i>Istiophorus sp</i>	+			
<i>Johnius dussumieri</i>	+	+	+	+
<i>Leiognathus sp</i>	+	+		
<i>Lethrinus sp</i>	+	+	+	
<i>Liza macrolepis</i>	+	+	+	+
<i>Lobotes surinamensis</i>	+			
<i>lutjanus argentimaculatus</i>	+	+	+	+
<i>Macrobrachium rosenbergii</i>			+	+
<i>Megalaspis cordyla</i>	+	+		
<i>Megalops cyprinoides</i>	+	+	+	+
<i>Mugil cephalus</i>	+			
<i>Muraenesox bagio</i>	+	+		

Espèces	Villages			
	Katsepy	Boanamary	Marovoay	Maroala
<i>Ophicephalus striatus</i>	+		+	+
<i>Oreochromis niloticus</i>			+	+
<i>Otolithes ruber</i>	+	+	+	
<i>Parastromateus niger</i>	+	+		
<i>Pellona ditchela</i>	+	+		
<i>Penaeus sp</i>	+	+	+	+
<i>Platycephalus indicus</i>	+	+	+	+
<i>Plectorhinchus flavomaculatus</i>	+	+		
<i>Plectorhinchus playfairi</i>	+	+		
<i>Plectorhinchus plagiodesmus</i>	+	+		
<i>Polynemus sp</i>	+			
<i>Pomadasys maculatus</i>	+	+		
<i>Rastrelliger kanagurta</i>	+	+		
<i>Sardinella sp</i>	+	+		
<i>Scatophagus tetracanthus</i>	+	+	+	+
<i>Scomberoides tol</i>	+	+		
<i>Scomberomorus commerson</i>	+	+		
<i>Selar sp</i>	+	+		
<i>Siganus sp</i>	+	+		
<i>Sillago sihama</i>	+	+	+	+
<i>Sphyaena forsteri</i>	+	+		
<i>Sphyrna mokarran</i>	+	+		
<i>Stolephorus commersonii</i>	+	+		
<i>Strongylura leiura</i>	+	+		
<i>Terapon jarbua</i>	+	+		
<i>Terapon theraps</i>	+	+	+	+
<i>Torpedo sp</i>	+	+		
<i>Trichiurus lepturus</i>	+	+		
<i>Tripterodon orbis</i>	+	+		
Total	56	50	26	24
	63			

Source : Enquête de terrain 2021 - 2023

2.2 Indice de Shannon

L'utilisation de l'indice de Shannon-Weaver au niveau des quatre sites offre une approche alternative pour évaluer la biodiversité ichthyologique entre les stations de l'estuaire. Cet indice varie entre 0,90 à Maroala et 1,31 à Boanamary. Les villages de Katsepy et Marovoay présentent la valeur de l'indice de Shannon de 1.27 et 1.06 respectivement. La figure ci-dessous illustre l'Indice de Shannon dans les quatre villages du l'estuaire de Betsiboka.

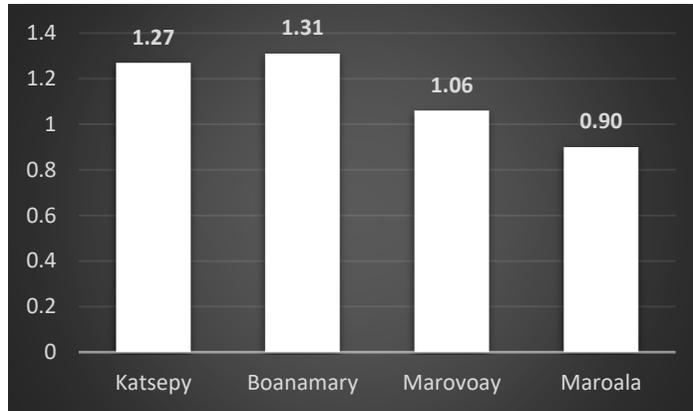


Figure 2. Indice de Shannon dans les quatre villages du l'estuaire de Betsiboka
Source : Enquête de terrain 2021 – 2023

2.3 Indice Equitabilité de Piélou

L'équitabilité mesure la régularité de la distribution des individus parmi les différentes catégories taxonomiques présentes. Les valeurs d'équitabilité présentent des variations entre les différents sites dans l'estuaire de Betsiboka. Les valeurs d'équitabilité varient de 0,65 à Maroala à 0,77 à Boanamary. Katsepy affiche une équitabilité de 0,73 tandis que Marovoay présente une valeur de 0,75. La figure ci-dessous illustre l'Indice d'équitabilité de Piélou dans les quatre villages du l'estuaire de Betsiboka

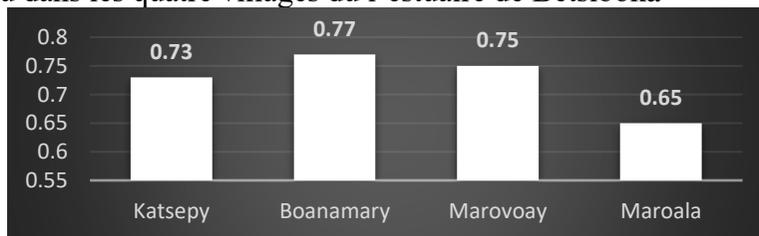


Figure 3. Indice Equitabilité de Piélou dans les quatre villages du l'estuaire de Betsiboka
Source : Enquête de terrain 2021 – 2023

2.4 Indice de similarité de Jaccard

L'indice de Jaccard se montre être un outil essentiel pour évaluer la similitude entre les différentes communautés d'espèces, en l'occurrence les populations de poissons dans l'estuaire de Betsiboka. Ces valeurs d'indice prouvent la part d'espèces partagées entre les différentes stations de l'estuaire. Au cours de notre analyse, deux valeurs d'indice de Jaccard ont retenu notre attention. L'indice entre Marovoay et Maroala s'élève à 0,92, illustrant une similarité notable. De même, l'ensemble Katsepy et Boanamary présente un indice élevé de 0,86. En revanche, les combinaisons impliquant les autres stations établissent des valeurs comparativement plus faibles, inférieures à 0,31 en termes de similarité d'espèces selon l'indice de Jaccard. Le tableau

suivant expose les résultats de l'indice de similarité appliqué aux quatre sites du l'estuaire de Betsiboka.

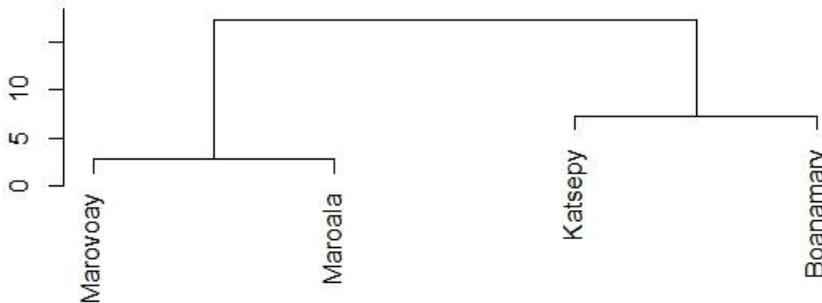
Tableau 2. Indice similarité de Jaccard

	Katsepy	Boanamary	Marovoay
Boanamary	0.86		
Marovoay	0.30	0.31	
Maroala	0.27	0.28	0.92

Source : Enquête de terrain 2021 – 2023

2.5 Classification hiérarchique

Sur la base de la richesse spécifique, la présentation graphique dendrogramme résultant de la Classification Hiérarchique des 4 sites d'interventions montre deux groupes. Les sites Maroala et Marovoay sont proches l'une de l'autre en termes de la richesse spécifique et forment le premier groupe avec une distance euclidienne de 2.82. Les villages de Boanamary et Katsepy présentent une grande similitude et forment le second groupe avec une distance euclidienne de 7.31. La figure suivante monte la Classification hiérarchique des poissons selon les 4 villages d'intervention dans l'estuaire de Betsiboka.



hclust (*, "ward.D2")

Figure 4. Dendrogramme de la classification hiérarchique des poissons selon les 4 villages d'interventions dans l'estuaire de Betsiboka

Source : Enquête de terrain 2021 – 2023

3. Discussion

L'étude réalisée dans l'estuaire de Betsiboka a permis une analyse de la diversité spécifique des poissons, identifiant 63 espèces distinctes. Ce

résultat place l'estuaire de Betsiboka parmi les écosystèmes riches en poissons.

Tableau 3. Richesse spécifique de quelques milieux estuariens et lagunaires à travers le monde

Nom	Type	Pays	Rs	Source
Sénégal	Estuaire	Sénégal	133	Diouf & al., 1991
Sine-Saloum	Estuaire inverse	Sénégal	114	Diouf, 1995
Gambie	Estuaire	Gambie	52	Dorr & al., 1985
Casamance	Estuaire inverse	Sénégal	91	Pandaré, 1986, 1987; Albaret, 1987
Rio Buba	Estuaire	Guinée-Bissau	91	Kromer & al., 1994
Fatala	Estuaire	Guinée	102	Baran, 1995
Ebrié	Système lagunaire	Côte d'Ivoire	153	Albaret, 1994
Abi	Lagune	Côte d'Ivoire	82	Charles-Dominique, 1993
Lagos lagoon	Lagune	Nigeria	79	Fagade & Olaniyan, 1974
Nom	Type	Pays	Rs	Source
Niger	Delta	Nigeria	52	Boeseman, 1963
Ogooué	Estuaire	Gabon	66	Loubens, 1966
Santa Lucia	Lagune	Afrique du Sud	108	Blaber, 1988
Poelela	Lagune	Afrique du Sud	12	Blaber, 1988
Nhlange (Kosi)	Lagune	Afrique du Sud	37	Blaber, 1988
Sibaya	Lagune	Afrique du Sud	18	Blaber, 1988
Swartvlei	Lagune	Afrique du Sud	25	Blaber, 1988
Richard's Bay	Lagune	Afrique du Sud	74	Millard & Harrison, 1952
Pangalanes	8 petites lagunes	Madagascar	10 à 43	Lasserre, 1979
Teacapan-Aqua Brava	Lagune	Mexique	>75	Flores-Verdugo & al., 1990
Terminos lagoon	Lagune	Mexique	121	Yanez-Arancibia & al., 1980
Sainte Lucie	Estuaire	Mexique	83	Chavez, 1979
Nichupte	Lagune	Mexique	37	Chavez, 1980
Tuxpan	Lagune	Mexique	126	Chavez, 1981
Alvarado	Lagune	Mexique	71	Chavez, 1982
Laguna Madre	Lagune	Mexique	111	Chavez, 1983
Tamiahua	Lagune	Mexique	49	Chavez, 1984
Mandinga	Lagune	Mexique	24	Chavez, 1985
La Mancha	Lagune	Mexique	42	Chavez, 1986
Tabasco	Système lagunaire	Mexique	62	Resendez-Madina, 1961
Tamiahua	Lagune	Mexique	56	Resendez-Madina, 1979
Zontecopopan	Lagune	Mexique	50	Resendez-Madina, 1979
Terminos	Lagune	Mexique	92	Resendez-Madina, 1979
Gulf de Nicoya	Côte mangrove	à Costa Rica	61	Philips, 1983
Punta Del Este	Côte mangrove	à Cuba	55	Valdes-Munoz, 1981
Laguna Joyuda	Lagune	Puerto Rico	41	Stoner, 1986
Belle-Plaine	Lagune	Guadeloupe	25	Louis & al., 1985
Manche à Eau	Lagune	Guadeloupe	24	Louis & al., 1985
Baie de Fort de France	Côte mangrove	à Martinique	87	Louis & al., 1992

Cayenne river	Estuaire	Guyane	59	Tito de Morais & al., 1994
Jaguaribe	Estuaire	Brésil	86	Oliveira, 1976
Huizache-Caimanero	Lagune	Mexique-Pacifique	44	Warbuton, 1978
Tijuana Estuary	Estuaire	Californie du Sud	21	Nordby & Zedler, 1991
Los Penasquitos Lagoon	Lagune	Californie du Sud	13	Nordby & Zedler, 1991
Pagbilao	Côte mangrove à	Philippines	128	Pinto, 1988
Klang-Langat	Delta	Malaisie	119	Chong & al., 1990
13 Estuaires	Estuaire	Îles Salomon	136	Blaber & Milton, 1990
Labu Estuary	Estuaire	Papouasie	138	Quinn & Kojis, 1986
Moreton Bay	Côte mangrove à	N-Australie	112	Weng, 1988
Trinity Inlet System	Estuaire	N-Australie	91	Blaber, 1980
Dampier Bays	Côte mangrove à	N-Australie	113	Blaber & al., 1985
Leanyer Swamp	Côte mangrove à	N-Australie	38	Davis, 1988
Alligator Creek	Estuaire	N-Australie	128	Robertson & Duke, 1990
Embley Estuary	Estuaire	N-Australie	197	Blaber & al., 1989
Botany Bay	Côte mangrove à	E-Australie	46	Bell & al., 1984
Swan River	Estuaire	W-Australie	71	Loneragan & al., 1989
Deama	Côte mangrove à	Nouvelle Calédonie	75	Thollot, 1989

Source : Albaret & Diouf, 1994 ; Albaret, 1994 ; Baran, 1995

L'étude met en lumière des variations de la richesse spécifique entre les différentes zones de l'estuaire avec une tendance à augmenter vers l'aval dans la zone marine. Une richesse spécifique plus élevée dans les zones estuariennes, par rapport aux habitats d'eau douce, a été prouvée par différentes études (Martino & al., 2003 ; De Moura & al., 2012 ; Joo Myun & al., 2020). Des processus tels que les gradients de salinité au sein de l'estuaire ont été démontrés comme ayant une forte influence sur la richesse spécifique des poissons (Sosa-Lopez & al., 2007). Le peuplement est structuré par le gradient de salinité croissant vers l'amont et se traduit par une diminution de la richesse spécifique de la mer vers le haut de l'estuaire (Albaret, 1987). La zone de Katsepy est riche en raison de l'afflux régulier d'eau de mer, permettant l'accès à plusieurs espèces marines (Yoklavich & al., 1991).

L'indice de Shannon est une mesure de la diversité spécifique qui tient compte à la fois du nombre d'espèces présentes et de leur répartition relative dans un écosystème donné. Un indice de Shannon plus élevé indique une plus grande diversité spécifique dans l'échantillon considéré. Ainsi, Boanamary présente la plus grande valeur d'indice de Shannon (1,31), suggérant une plus grande variété d'espèces de poissons et une répartition plus équilibrée entre ces espèces par rapport aux autres villages de l'estuaire. L'indice de Shannon

plus élevés peut être lié à une stabilité et une résilience accrue de l'écosystème face aux perturbations extérieures (Magurran, 2004). Cette observation pourrait être attribuée à divers facteurs, notamment des conditions environnementales favorables, des habitats plus diversifiés. En revanche, Maroala présente la valeur la plus basse de l'indice de Shannon (0,90), ce qui suggère une diversité spécifique plus limitée ou une répartition moins équilibrée entre les espèces de poissons observées dans cette zone.

L'indice d'équitabilité, également connu sous le nom d'indice de Pielou, complète l'indice de Shannon en quantifiant la répartition relative des espèces dans un écosystème. Dans l'étude portant sur les poissons de l'estuaire de Betsiboka, cet indice a été utilisé pour évaluer l'uniformité de la répartition des espèces dans quatre villages distincts. Les résultats montrent des niveaux variables d'équitabilité entre les zones étudiées. La zone de Boanamary, Marovoay et Katsepy présente une valeur élevée d'équitabilité, indiquant une distribution relativement uniforme des espèces de poissons présentes. Cette uniformité pourrait être le résultat d'une diversité spécifique élevée combinée à une répartition plus équilibrée des populations de poissons. Elle reflète également des conditions environnementales propices pour les poissons dans cette zone, marquée par la présence d'un écosystème de mangroves et de zones d'eau saumâtre caractéristiques de l'estuaire. Les niveaux plus élevés d'équitabilité peuvent contribuer à la stabilité et à la résilience de l'écosystème face aux perturbations (Pielou, 1975).

L'indice de Jaccard se présente comme un outil essentiel pour évaluer la similitude entre les diverses communautés d'espèces, notamment les populations de poissons dans le contexte spécifique de l'estuaire de Betsiboka. Deux valeurs d'indice de Jaccard ont retenu notre attention au cours de cette analyse approfondie. L'indice de 0,92 entre Marovoay et Maroala met en évidence une similitude remarquable, avec environ 24 espèces de poissons partagées entre ces deux sites. De façon similaire, l'association entre Katsepy et Boanamary présente un indice de Jaccard élevé de 0,86, indiquant une similitude substantielle avec environ 49 espèces de poissons partagées entre ces zones.

La classification hiérarchique de la composition des poissons selon les 4 villages d'interventions confirme aussi la formation de deux groupes distincts parmi les quatre sites étudiés. Les sites de Maroala et Marovoay démontrent une proximité en termes de richesse spécifique. La distance euclidienne entre eux est mesurée à 2,82, soulignant une similarité plus étroite entre ces deux zones en ce qui concerne la diversité des espèces de poissons. De manière similaire, pour Katsepy et Boanamary, la distance euclidienne observée est de 7,31, indiquant une similitude dans leur composition spécifique de poissons.

En revanche, les associations impliquant les autres stations révèlent des valeurs plus faibles d'indice de Jaccard. Cela suggère la présence d'espèces communes à plusieurs sites, ce qui indique une valence écologique élevée pour environ 15 espèces telles que *Acanthopagrus berda*, *Ambassis gymnocephalus*, *Arius polystaphylodon*, *Caranx sexfaciatus*, *Cyprinus carpio*, *Epinephelus sp*, *Johnius dussumieri*, *Liza macrolepis*, *Lutjanus argentimaculatus*, *Megalops cyprinoides*, *Penaeus sp*, *Platycephalus indicus*, *Scatophagus tetracanthus*, *Sillago sihama*, *Terapon theraps*. Ces espèces montrent une adaptabilité étendue à différents environnements et conditions écologiques.

Conclusion

Cette étude sur la population des poissons dans l'estuaire de Betsiboka, au nord-ouest de Madagascar, a permis de mettre en lumière la diversité des espèces présentes dans cet estuaire. La richesse spécifique observée dans l'estuaire de Betsiboka, avec un total de 63 espèces confirme la biodiversité exceptionnelle de cet écosystème. L'analyse des indices écologiques tels que l'Indice de Shannon-Weaver, l'Indice d'Équitabilité de Pielou, et l'Indice de Similarité de Jaccard a permis de mieux comprendre la structure des communautés de poissons dans les différents villages. Ces indices soulignent la répartition spatiale de la diversité spécifique, de la distribution des espèces et des similitudes entre les différentes stations de l'estuaire.

Les résultats obtenus montrent des variations entre les différents villages d'intervention, soulignant l'importance de l'emplacement géographique et aussi de l'écologie de chaque espèce. Des défis subsistent, notamment en matière de conservation des écosystèmes estuariens face aux pressions anthropiques croissantes. Il est essentiel de promouvoir des pratiques de pêche durables, de préserver les habitats critiques tels que les mangroves, et de mettre en œuvre des mesures de gestion efficaces pour assurer la pérennité de la biodiversité et des services écosystémiques fournis par l'estuaire de Betsiboka.

Remerciements

Nous exprimons notre gratitude envers le Projet DIDEM (Dialogue entre la Science et les Décideurs pour la Gestion Intégrée des Environnements Côtiers et Marins) pour le financement de cette étude. Nos remerciements vont également à l'équipe du DIDEM Madagascar, à l'équipe de l'observatoire pêche Betsiboka, les pêcheurs et les communautés villageoises pour leur contribution précieuse à la réalisation de ces travaux. Nous sommes reconnaissants envers l'École Doctorale en Biodiversité et Environnement Tropicaux de l'Université de Toliara pour avoir autorisé la collecte de données

sur le terrain. Nous tenons à remercier chaleureusement l'équipe du Laboratoire Hydrobiologie du CNRE pour son accueil.

Conflits d'intérêt: Je certifie qu'il n'y a aucun conflit d'intérêt à déclarer, y compris tout versement d'honoraires ou détention d'actions qui pourrait constituer un conflit d'intérêt dans le contexte présent.

Études humaines et animales

Aucune étude spécifique sur les poissons n'a été entreprise au cours de cette recherche. Notre échantillonnage s'est concentré sur l'identification des poissons commerciaux, qui ne nécessitent pas d'autorisation de recherche spécifique. Cette étude a été menée avec l'autorisation du Centre National de Recherches sur l'Environnement à Madagascar (CNRE) et de l'École Doctorale en Biodiversité et Environnement Tropicaux de l'Université de Toliara.

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

Déclaration de financement : Cette recherche a été financée par le Projet DIDEM (Dialogue entre la Science et les Décideurs pour la Gestion Intégrée des Environnements Côtiers et Marins)

Références:

1. Albaret J.J. (1987). Les peuplements de la Casamance (Sénégal) en période de sécheresse. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 20, 291-310.
2. Albaret J.J. (1994). Les poissons : Biologie et peuplement. In Diouf, P.P. 1996. Les peuplements des poissons des milieux estuariens de l'Afrique de l'Ouest : L'exemple de l'estuaire Hyperhalin du Sine-Saloum. Thèse Doctorat. Université de Montpellier II.
3. Baran, E. (1995). Rôle des estuaires vis-à-vis de la ressource halieutique côtière en Guinée. Horizon Documentation IRD. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-03/010025014.pdf
4. Bauchot, M.L.; Bianchi, G. (1984). Guide des poissons commerciaux de Madagascar (espèces marines et d'eaux saumâtres). Fiches FAO d'Identification des espèces pour les besoins de la pêche.
5. Chabanne, D. (2007). Les Catégories bioécologiques des espèces de poissons des estuaires et lagunes de l'Afrique de l'Ouest. Mémoire Master 2. Université des sciences et techniques du languedoc.

6. De Moura, P.M.; Vieira, J.P.; Garcia, A.M. (2012). Fish abundance and species richness across an estuarine-freshwater ecosystem in the Neotropics. *Hydrobiologia* 2012, 696, 107–122.
7. Dirberg, G. (2015). Rapport bibliographique pour la mise en place d'un indicateur mangrove dans le cadre de la DCE Eaux Littorales dans les DOM. Convention ONEMA/MNHN 2015. 35 pages.
8. Froese, R.; Pauly, D. (2016). FishBase, www.fishbase.org
9. GIP Loire-Estuaire. 2009. Les poissons dans l'estuaire de la Loire : L'essentiel sur les populations benthiques et démersales. Synthèse de données. P 24. https://www.loire-estuaire.org/upload/espace/1/pj/101880_5564_maquette_texte_v2023.pdf
10. Joo Myun Park, Ralf Riedel, Hyun Hee Ju, Hee Chan Choi. (2020). Fish Assemblage Structure Comparison between Freshwater and Estuarine Habitats in the Lower Nakdong River, South Korea. *J. Mar. Sci. Eng.* 2020, 8(7), 496;
11. Kouamélan, E. P. (1999). L'effet du lac de barrage Ayamé (Côte d'Ivoire) sur la distribution et l'écologie alimentaire des poissons Mormyridae (Teleostei, Osteoglossiformes). Thèse de Doctorat, Katholieke Universteit Leuven, Belgique, 221 p.
12. La maison de Madagascar. (2023). Les Aires Protégées de Madagascar de la Région Nord-Ouest. Aire Protégée de Bombetoka Beloboka. <https://maison-de-madagascar.ch/madagascar/les-aires-protegees-de-madagascar/aire-protegee-de-bombetoka-beloboka/>
13. Lusasi S.W., Kavumbu M.S., Munganga K.C., Manikisa I., Mbomba B.N. & Pwema K.V. (2022). Contribution à la Connaissance de la Diversité Ichtyologique et Mode D'exploitation de Poissons Schilbeidae (Siluriformes) dans le Pool Malebo (Fleuve Congo), R.D Congo. *European Scientific Journal, ESJ*, 18 (30), 178.
14. Magurran, A. E. (2004). Measuring biological diversity. *Current Biology* 31, R1141–R1224.
15. Martino, E.J.; Able, K.W. (2003). Fish assemblages across the marine to low salinity transition zone of a temperate estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2003, 56, 969–987.
16. Mondo, M. T., Pwema, K. V., Lusasi, S. W., Gizanga, V. R., Nsimanda, I. C., Wafula, M. & Musibono, E. A. D. (2020). Evaluation du profil métallique et biologique de la pollution de l'air atmosphérique dans la ville province de Kinshasa, République Démocratique du Congo. *International Journal of Applied Research*, 6(8): 115-123.

17. Nasa. (2004). Betsiboka Estuary, Madagascar. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/4388/betsiboka-estuary-madagascar>
18. Oksanen, J.; Blanchet, G.F.; Kindt, R.; Legendre, P.; Minchin, P.R.; O'Hara, R.B.; Simpson, G.L.; Solymos, P.; Stevens, H.H; Wagner, H. (2015). Vegan: community ecology package. R package version 2.2.
19. Pielou, E. C. (1975). Ecological diversity. John Wiley & Sons. <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.1977.22.1.0174b>
20. PNUE. (2007). Les Mangroves de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. PNUE Programme pour les mers régionales/ PNUE-WCMC. http://www.unep-wcmc.org/resources/publications/UNEP_WCMC_bio_series/26.htm
21. Sosa-Lopez, A.; Mouillot, D.; Ramos-Miranda, J.; Flores-Hernandez, D.; Chi, T.D. (2007). Fish species richness decreases with salinity in tropical coastal lagoons. *Journal of Biogeography*, 2007. Wiley Online Library
22. Whitfield, A.K. (1999). Ichthyofaunal assemblages in estuaries: a South African case study. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 9, 151-186.
23. Yoklavich, M.M.; Cailliet, G.M.; Barry, J.P.; Ambrose, D.A.; Antrim, B.S. (1991). Temporal and Spatial Patterns in Abundance and Diversity of Fish Assemblages in Elkhorn Slough, California. *Estuaries* 1991, 14, 465–480.

Evaluation de la Mise en Oeuvre des SONU dans le Département des Collines (Benin) en 2022

Joachim G. Aïfa

MD, MSc. Faculté des sciences de la santé de Cotonou, Benin

Florence Abraham

Sage-femme enseignante à l'Institut de formation en soins infirmiers et
obstétricaux. Université de Parakou, Benin

Roger Klikpezo

Assistant en Gynécologie-Obstétrique. Université de Parakou, Benin

Barikissou Georgia Damien

Assistant en santé publique et épidémiologie. Faculté des sciences de la santé
de Cotonou, Bénin

Badirou Aguemon

Professeur titulaire de santé publique. Faculté des sciences de la santé de
Cotonou, Benin

Edgard-Marius Ouendo

Professeur titulaire en santé publique et épidémiologie.
Institut régional de santé publique de Ouidah, Benin

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p180](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p180)

Submitted: 01 February 2024

Accepted: 01 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Aïfa J.G., Abraham F., Klikpezo R., Damien B.G., Aguemon B. & Ouendo E.M. (2024).
*Evaluation de la Mise en Oeuvre des SONU dans le Département des Collines (Benin) en
2022*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 180.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p180>

Résumé

Objectif : Evaluer la mise en œuvre des soins obstétricaux et néonataux d'urgence (SONU) dans le département des Collines (Bénin). Cadre et méthodes : Il s'agissait d'une étude transversale, descriptive à visée évaluative ayant porté sur l'adéquation de la structure, le processus ainsi que le niveau de performance des 9 centres SONU que compte le département des Collines. Le traitement et l'analyse des données ont été faits à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2016. Résultats : La qualité de la structure était bonne dans 3 centres SONU sur 9. La qualité du processus quant à elle était bonne dans 2 centres

SONU sur 9. Les points forts de la mise en oeuvre étaient la réalisation des audits de décès maternels et néonataux suivis de rétro-information, la disponibilité du personnel de santé qualifié dans les centres SONU, la permanence et la continuité des soins. Conclusion : Il ressort de cette évaluation que la performance des centres SONU du département des Collines est globalement moyenne et mérite des actions correctives.

Mots-clés: Evaluation, SONU, département des Collines

Assessment of the Implementation of EmONC in the Collines Department (Benin) in 2022

Joachim G. Aïfa

MD, MSc. Faculté des sciences de la santé de Cotonou, Benin

Florence Abraham

Sage-femme enseignante à l'Institut de formation en soins infirmiers et obstétricaux. Université de Parakou, Benin

Roger Klikpezo

Assistant en Gynécologie-Obstétrique. Université de Parakou, Benin

Barikissou Georgia Damien

Assistant en santé publique et épidémiologie. Faculté des sciences de la santé de Cotonou, Bénin

Badirou Aguemon

Professeur titulaire de santé publique. Faculté des sciences de la santé de Cotonou, Benin

Edgard-Marius Ouendo

Professeur titulaire en santé publique et épidémiologie.
Institut régional de santé publique de Ouidah, Benin

Abstract

Objective: Evaluate the implementation of Emergency Obstetric and Neonatal Care (SONU) in the Collines department (Benin). **Framework and methods:** This was a cross-sectional, descriptive study with an evaluative aim which focused on the adequacy of the structure, the process as well as the level of performance of the 9 EmONC centers in the Collines department. Data processing and analysis were done using Microsoft Excel 2016 software. **Results:** The quality of the structure was good in 3 out of 9 EmONC centers. The quality of the process was good in 2 EmONC centers out of 9. The strong points of the implementation were the carrying out of maternal and neonatal death audits followed by feedback, the availability of qualified health

personnel in the EmONC centers, the permanence and continuity of care. Conclusion: It appears from this evaluation that the performance of the SONU centers in the Collines department is generally average and deserves corrective actions.

Keywords: Evaluation, EmONC, Collines department

Introduction

Les composantes des SONU ont été décrites dans les années 1990 par l'organisation mondiale de la santé (OMS), le Fonds des nations unies pour l'enfance (UNICEF) et le Fonds des nations unies pour la population (UNFPA) (World Health Organization et al., 2009). Ces "fonctions essentielles" sont des interventions qui doivent être disponibles pour toutes les femmes au moment de l'accouchement, afin de faire face aux causes fréquentes mais imprévisibles de la mortalité maternelle et néonatale (Blami et al., 2010)

Les objectifs de développement durable (ODD) ont maintenu la priorité à la santé de la mère et du nouveau-né (objectif 3) (Assembly, 2015). Dans la même lancée que les OMD 4 (réduire la mortalité infantile) et 5 (améliorer la santé maternelle), l'UNFPA continue de mettre l'accent sur l'amélioration de la santé de la mère et du nouveau-né, en particulier par le renforcement des SONU, le repositionnement de la planification familiale et le renforcement des ressources humaines pour la santé maternelle et néonatale (Fonds de Nations Unies pour la population, 2016). Malgré le fait que plusieurs pays africains aient mis en place ce type de structures, les taux élevés de mortalité maternelle persistent. C'est le cas de plusieurs pays de la sous région tels que : le Burkina-Faso, la république démocratique du Congo, le Nigéria, et le Togo (Abegunde et al., 2015; Kouanda et al., 2016; Okonofua et al., 2017; Ouédraogo et al., 2016). Au Bénin, le département des Collines est l'un des départements ayant mis en œuvre les SONU. Il reste à relever le défi d'en assurer un fonctionnement effectif, ainsi que le suivi pour la résolution des problèmes de disponibilité et de qualité des services qui y sont offerts pour une réduction effective de la mortalité maternelle. Plusieurs points en sont la clé : l'infrastructure même des centres, les équipements et le matériel nécessaires, les médicaments essentiels, les kits et le processus de soins (UNFPA, 2015).

Plusieurs études sur l'évaluation des SONU ont été effectuées en Afrique sub-saharienne. Elles ont notamment fait cas de la couverture des services des centres SONU, ou de la qualité des services offerts; ainsi que son impact sur la mortalité maternelle. Cela a permis de mettre en évidence les lacunes du système sanitaire dans ces pays en ce qui concerne la mise en

oeuvre des SONU et par là de corriger les points faibles identifiés (Alemayehu et al., 2023).

Méthodologie

Description du cadre d'étude

Le département des Collines est l'un des douze départements actuels du Bénin. Composé de six communes (Bantè, Dassa-Zoumè, Glazoué, Ouèssè, Savalou et Savè), il est subdivisé en 60 arrondissements et 297 villages et quartiers de ville. Du point de vue des infrastructures sanitaires, le département des Collines dispose de trois (3) zones sanitaires à savoir les zones sanitaires Dassa-Glazoué (DAGLA), Savé-Ouèssè (SAO) et Savalou-Bantè (SABA). La zone sanitaire Dassa-Glazoué (DAGLA) couvre deux communes, 20 arrondissements, 42 formations sanitaires publiques, 1 hôpital de référence (Hôpital de Zone de Dassa) et 17 formations sanitaires privées autorisées. Elle a trois centres SONU fonctionnels (1 SONU-B : CS d'Aklampa et 2 SONU-C : Hôpital de Zone de Dassa et Hôpital ABBRACCIO). La zone Sanitaire Savalou-Bantè (SABA) couvre deux communes, 23 arrondissements, 32 formations sanitaires publiques, 1 hôpital de référence (Hôpital de Zone de Savalou) et 5 formations sanitaires privées autorisées. Elle a trois centres SONU fonctionnels (2 SONU-B : CS Bantè et CS Doumè) et 1 SONU-C : HZ de Savalou). La zone Sanitaire Savè-Ouèssè elle couvre également deux communes, 17 arrondissements, 43 formations sanitaires publiques, 1 hôpital de référence (Hôpital de Zone de Savè) et 6 formations sanitaires privées autorisées. La Zone Sanitaire Savè-Ouèssè a trois centres SONU fonctionnels (1 SONU-B : CS Kilibo et 2 SONU-C : HZ de Savè et CS Ouèssè).



Figure 1. Situation géographique des communes du département des Collines en 2020

Types et populations d'étude

Il s'agissait d'une étude transversale, descriptive à visée évaluative qui s'est déroulée dans le département des Collines (Bénin) durant les deux premières semaines du mois de Janvier 2023. La population d'étude était composée de cibles primaires qui étaient constituées de l'ensemble du personnel de santé travaillant dans les centres SONU-B et SONU-C du département des Collines et de cibles secondaires qui étaient constituées de l'ensemble des centres SONU-B et SONU-C du département des Collines. Les centres SONU-B étaient les centres de santé fournissant les soins obstétricaux et néonataux de base et les centres SONU-C étaient les centres de santé ou hôpitaux ayant une palette complète de soins obstétricaux et néonataux offerts.

Echantillonnage

La sélection des cibles était non probabiliste avec la technique de choix par commodité (n=146) pour les cibles primaires et la technique de l'exhaustivité pour les cibles secondaires (n=9) soit l'ensemble des centres SONU du département. Les données ont été collectées durant les deux premières semaines du mois de Janvier 2023. (Fleetwood, 2018)

Variables d'étude

La structure a été appréciée sur la base de la conformité aux normes de ressources humaines, matériels (infrastructures et équipements), la disponibilité des médicaments et consommables essentiels et la disponibilité des documents de normes et procédures. Le processus quant à lui a été apprécié sur la base des moyens de références/évacuation, les moyens de communication, la disponibilité des outils, des registres, les aspects techniques et interpersonnels de la performance du centre SONU ainsi que la formation et la supervision. La variable principale, la qualité composée de sous variables liées à la structure et au processus a été appréciée avec des scores et en suivant l'échelle de mesure de Varkevisser (Agboton et al., 2017):

- « Bonne » : si le score obtenu était compris entre [80% à 100 %] ;
- « Moyenne » : si le score obtenu était compris entre [60% à 80 %] ;
- « Mauvaise » : si le score obtenu était compris entre [0% à 60 %]

Technique et outils de collecte

Les techniques utilisées pour la collecte étaient l'exploitation documentaire grâce à une fiche de dépouillement, l'entretien individuel à l'aide de questionnaire et le focus group à l'aide du guide d'entretien. Des séances de briefing ont été faites au profit des agents de collecte de données.

Respect des règles d'éthique de la recherche

Le protocole de cette étude a été soumis à la coordination de recherche de la Faculté des Sciences de la Santé (FSS) de Cotonou et un avis favorable a été obtenu. Par ailleurs, les principes du secret professionnel ont été respectés (confidentialité, anonymat lors de l'entretien et du dépouillement). Les participants à l'étude ont été suffisamment informés sur les objectifs de la recherche et leurs consentements éclairés et écrits ont été recueillis avant tout entretien. La participation à l'étude était volontaire et les agents étaient libres de se retirer à tout moment si tel était leur désir.

Traitement et analyse des données

La saisie des données a été faite dans le logiciel Epi Data version 3.1. L'analyse des données a été faite à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2016.

Résultats

Caractéristiques des enquêtés

Dans la présente étude, nous avons enquêté plusieurs catégories d'agents de santé. Au total, ont été enquêtés 2 gynécologues (1,37%), 3 chirurgiens (2,05%), 3 médecins généralistes (2,05%), 25 sages-femmes (17,12%) et 46 aides-soignants (31,51%). Il y avait aussi 4 anesthésistes (2,74%), 6 radiologues (4,11%), 8 infirmiers (5,48%), 20 techniciens de

laboratoire (13,70%), 15 commis (10,27%), 11 agents d'entretien (7,53%) et 3 ambulanciers (2,05%). Il faut noter que les gynécologues, chirurgiens et ambulanciers étaient en manque remarquable.

Infrastructure

Pour bien offrir les services d'obstétrique, un certain nombre d'unités fonctionnelles étaient indispensables. Dans le cas d'espèce, le minimum retenu dans la présente étude comprenait une salle de consultation prénatale, une salle d'accouchement, une salle de réveil, un bloc opératoire, une banque ou un dépôt de sang et un laboratoire. Tous les centres SONU-C (5/5) disposaient d'une salle de consultation, un bloc opératoire et d'une salle de travail fonctionnels selon les normes. Ces centres disposaient également d'une salle de réveil à l'exception du CS de Ouèssè. Tous les centres SOBU-B disposaient d'une salle de consultation et d'une salle de travail fonctionnelle à l'exception des CS d'Aklampa et de Bantè qui ne disposaient pas de salle de travail.

L'existence de laboratoire fonctionnel a été confirmée dans tous des centres SONU-C (5/5) et dans un centre SONU-B sur 4 (1/4) : il s'agissait du CS de Bantè. Il ressort de l'analyse que les hôpitaux sont mieux battis que les centres SONU-B.

Équipements et matériels

Tous des centres SONU-C (5/5) et 3 centres SONU-B sur 4 disposaient d'au moins d'un pèse-bébé fonctionnel sauf le CS de Doumè.

Compte-tenu de son importance pour l'accouchement, l'idéal était qu'une formation sanitaire dispose d'au moins deux tables quel que soit le type d'établissement, d'une boîte d'accouchement et d'une boîte de forceps. Tous les centres SONU-B (4/4) et 4 centres SONU-C sur 5 disposaient d'une boîte de forceps. La boîte d'accouchement était disponible et conforme dans tous les centres SONU.

Tous les centres SONU-C disposaient d'un lavabo, d'un concentrateur d'oxygène, d'une table opératoire, d'un scialytique, d'un aspirateur, d'un moniteur, d'un bac de décontamination, d'un autoclave, d'une boîte de césarienne, de laparotomie, d'hystérectomie, d'une ventilation en salle d'accouchement. Au laboratoire, le microscope, l'éprouvette, les lames, les réactifs pour groupage sanguin et les réactifs pour l'examen d'hémoglobine/hématocrite étaient disponibles et fonctionnels dans tous les centres SONU-C à l'exception des Hôpitaux de Zone Dassa et Savalou où l'éprouvette était indisponible. Le tableau 1 présente la disponibilité en matériels des centres SONU du département des Collines en 2022.

Tableau 1. Disponibilité en matériels des centres SONU du département des Collines en 2022 (n=9)

	Fréquence
Forceps	8/9
Pèse bébé	8/9
Lavabo	5/5
Concentrateur d'oxygène	5/5
Table opératoire	5/5
Scialytique	5/5
Aspirateur	5/5
Moniteur	5/5
Bac décontamination	5/5
Autoclave	5/5
Boite accouchement	9/9
Boite césarienne	5/5
Boite curetage	4/5
Boite laparotomie	5/5
Boite pour hystérectomie	5/5
Kits Ventilation	5/5
Microscope	6/9
Éprouvette	3/9
Lames	6/9
Groupe sanguin	6/9
Réactif hémoglobine	6/9

Médicaments et kits

La disponibilité des médicaments essentiels était importante pour assurer la prise en charge des urgences obstétricales et néonatales. Ainsi certains médicaments sont retenus : diazépam, sulfate de magnésium, ocytocine, furosémide, amoxicilline, ampicilline, gentamicine, métronidazole, méthyl dopa, nifédipine, ergométrine, buthylhisocine. L'ampicilline, le métronidazole, l'ocytocine et l'amoxicilline étaient disponibles dans tous les centres SONU du département des Collines. La gentamicine était disponible dans 3 centres SONU-B sur 4 et dans 3 centres SONU-C sur 5. La furosémide était disponible dans tous les centres SONU-C et dans 3 centres SONU-B sur 4. L'ergométrine n'était disponible dans aucun centre SONU-B et disponible dans 2 centres SONU-C sur 5. Le buthylhisocine était disponible dans deux centres SONU-B sur 4 et 2 centres SONU-B sur 5.

Quant aux kits d'urgences, 2 centres SONU-C sur 5 en disposaient sans exigence de paiement préalable. Il était composé de cathéter G18, sulfate de magnésium, ringer lactate, sérum salé, seringue, perfuseur, sonde à demeure + poche, sparadrap, paracétamol injectable, ciprofloxacine injectable, métronidazole injectable, ampicilline ou ceftriaxone injectable, tramadis injectable, salbutamol injectable, misoprostol.

Moyen de communication (téléphone) et d'évacuation des urgences obstétricales

Le moyen de transport le plus utilisé était l'ambulance et chaque zone sanitaire en disposaient 2 (6 au total). Malgré cela, quelques évacuations ont été faites par moto et taxi. Dans la plupart des centres SONU, le téléphone portable était le moyen le plus utilisé (8/9) (Tableau 2).

Tableau 2. Utilisation des moyens de transport et de communication par les centres SONU du département des Collines en 2022 (n=9)

	Fréquence
Moyen de transport	
Ambulance	6
Taxi	1
Moto	2
Moyens de communication	
Téléphone fixe	1
Téléphone portatif	8

Processus

Revue des audits

La revue des décès maternels est une activité qui permet aux prestataires d'identifier de manière qualitative et approfondie les insuffisances ayant entraîné le décès et d'éviter que ces erreurs ne se reproduisent pour des cas similaires. En effet, dans la présente étude, des audits des décès maternels et des réunions de rétro-information avec le personnel se faisaient dans tous les centres SONU-C et dans 2 centres SONU-B sur les 4. Dans les centres SONU-B, 50% des sages-femmes ont reçues une formation sur la prise en charge des urgences obstétricales. Par contre ce chiffre est de 60% pour les centres SONU-C. Des protocoles pour la prise en charge des urgences obstétricales étaient disponibles dans tous les centres SONU-C (5/5) et dans 3 centres SONU-B sur 4 (3/4). La figure 2 montre la répartition des centres SONU selon les compétences techniques de leur personnel dans le département des Collines en 2022.

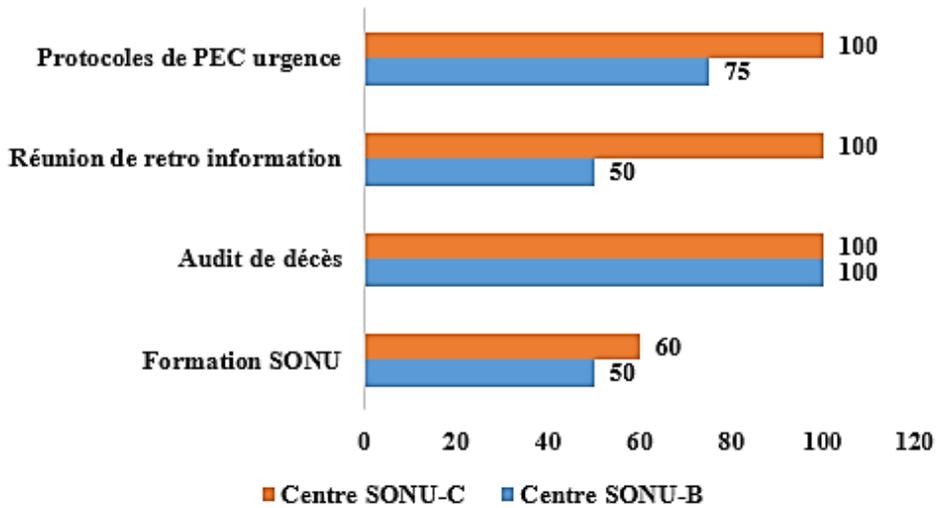


Figure 2. Répartition des centres SONU selon les compétences techniques de leur personnel dans le département des Collines en 2022 (n=9)

Formation et supervision

Dans la présente étude, la supervision formative/coaching/mentorat en rapport avec les SONU était très fréquente dans les centres SONU-B (4/4). Cette supervision couvrait 3 centres SONU-C sur 5.

Toutefois, dans 2 centres SONU sur 9, environ 80% du personnel non qualifié (aides-soignantes) étaient formés sur les soins de base, les gestes d'urgence et la référence

Appréciation du niveau de performance des centres SONU du département des Collines en 2022

La qualité de la structure était bonne dans l'Hôpital de Zone de Dassa, l'Hopital de Zone de Savalou et l'hôpital Abbraccio. La qualité du processus était également bonne à Abbraccio et au CS Bantè comme le témoigne le tableau 3.

	Structure			Processus		
	Score	Proportion %	Qualité	Score	Proportion %	Qualité
SONU C	(Max=57)			(Max=19)		
HZ Dassa	48	84,21	Bonne	15	78,95	Moyenne
HZ Savalou	49	85,96	Bonne	15	78,95	Moyenne
CS Ouèssè	44	77,19	Moyenne	15	78,95	Moyenne
HZ Savè	46	80,70	Moyenne	15	78,95	Moyenne

Abbraccio	50	87,72	Bonne	16	84,21	Bonne
SONU B	(Max=30)			(Max=15)		
CS						
Aklampa	19	63,33	Moyenne	11	73,33	Moyenne
CS Doumè	16	53,33	Mauvaise	10	66,67	Moyenne
CS Kilibo	17	56,67	Mauvaise	12	80,00	Moyenne
CS Bantè	23	76,67	Moyenne	14	93,33	Bonne

Tableau 3. Niveau de performance des centres SONU du département des Collines en 2022

Forces et faiblesses de la mise en œuvre des SONU dans le département des Collines

Au terme de cette étude, les forces et faiblesses suivantes se dégagent :

Forces

- disponibilité des infrastructures ;
- existence de personnel qualifié ;
- bonne fréquence des supervisions formatives/coaching/mentorat en rapport avec les SONU ;
- disponibilité des documents de politiques, normes et procédures en matière de prise en charge des urgences obstétricales ;
- les maternités sont fonctionnelles continuellement (24h/24h) y compris les week-ends et les jours fériés (permanence et continuité des soins 24h/24) ;
- réalisation des audits de décès maternels et néonataux suivis de rétro-information ;
- disponibilité des médicaments essentiels dans les centres SONU ;
- disponibilité des ambulances (2 par zones sanitaire).

Faiblesses

- toutes les infrastructures ne répondaient pas aux normes (disposition de laboratoire fonctionnels, de salle de réveil, salle de travail) ;
- insuffisance du personnel qualifié pour la prise en charge des urgences ;
- vétusté de certains matériels ;
- cherté du coût d'évacuation ;
- absence de kits d'urgence par endroit ;
- absence de laboratoire dans certains centres SONU-B.

Discussion

Infrastructures

Tous les centres SONU-C disposaient d'une salle de consultation, d'un bloc opératoire, d'un laboratoire et d'une salle de travail fonctionnels selon les normes du Bénin et celles de l'OMS (Ministère de la santé (Bénin), 2018; World Health Organization et al., 2009). Dans une étude au Niger en 2017, 50% des structures enquêtées ne disposaient pas d'une salle de travail, seulement 17,30% disposaient d'un bloc opératoire dans l'ensemble, 35,29% des formations sanitaires visitées étaient dotées d'un laboratoire, 13,84% de formations sanitaires disposaient d'un endroit pour stocker le sang et 81% disposaient de salle dédiée à la consultation prénatale (Djoud & Maazou, 2017).

Équipements et matériels

Notre étude a montré que 100% des centres SONU-C et 75% des centres SONU-B dans le département des Collines disposaient au moins d'un pèse-bébé fonctionnel. Selon le rapport de la deuxième évaluation rapide des besoins en SONU en 2017 au Niger, 92% des FS disposaient de balances pèse-bébé fonctionnels (Djoud & Maazou, 2017). Toutefois, l'enquête rapides sur les SONU en Haïti avait montré que plus de 90% des centres n'avaient pas de problème d'équipements ou de matériels (Hennion et al., 2021). Ces différences peuvent s'expliquer notamment par le budget alloué aux équipements dans les formations sanitaires différents d'un contexte à un autre ainsi que par les programmes d'aide humanitaire ciblant les pays les plus pauvres.

Disponibilité des kits d'urgence

Au terme de cette étude, environ 2/5 des centres disposaient des kits d'urgence utilisables sans exigence de paiement préalable pour toutes les femmes dans le besoin. Il était composé de cathéter G18, sulfate de magnésium, ringer lactate, sérum salé, seringue, perfuseur, sonde à demeure + poche, sparadrap, paracétamol injectable, ciprofloxacine injectable, métronidazole injectable, ampicilline ou ceftriaxone injectable, tramadis injectable, salbutamol injectable, misoprostol. Cette composition du kit correspond à celle fixée dans les normes en République du Bénin pour les centres SONU (Ministère de la santé (Bénin), 2018). Elle correspond également aux résultats d'une étude haïtienne en 2021 portant sur les évaluations du 6^{ème} programme de l'UNFPA en assistance au gouvernement de la République d'Haïti (2017-2021) (Hennion et al., 2021) et une étude portant sur la deuxième évaluation rapide des besoins en SONU au Niger en 2017 (Djoud & Maazou, 2017). De même, selon cette étude au Niger, 48% des formations sanitaires ne possédaient pas de kits de césariennes contrairement aux

formations sanitaires de notre étude qui en possédaient toutes (Djoud & Maazou, 2017) . Une étude au Cameroun révélait que la mise à disposition des kits d'urgence contribuait à lever les barrières financières et à l'amélioration de l'accès des femmes pauvres et indigentes aux SONU (Mbola Mbassi, 2014).

Moyen de communication (téléphone) et d'évacuation des urgences obstétricales

Dans cette étude, le moyen de transport/évacuation le plus utilisé était l'ambulance (66,66%) et tous les centres SONU disposaient également d'un moyen de communication fonctionnel ; avec le téléphone portable dans la majorité des cas (88,89%). L'ambulance était également le moyen d'évacuation le plus utilisé dans l'étude sur les SONU au Niger en 2017 (63,6%) (Djoud & Maazou, 2017). Concernant les moyens de transport ou d'évacuation, une étude haïtienne sur les SONU avait montré que seul 28% des formations sanitaires visitées disposaient d'une ambulance fonctionnelle contrairement à notre étude. De plus, il a été trouvé que l'usage des motos et véhicules ou taxi était aussi fréquent. De même, dans l'étude sur les SONU en Haïti, 97% des centres visités disposaient d'un moyen de communication fonctionnel (Hennion et al., 2021). Au Niger, 63,3 % des formations sanitaires visitées disposaient d'un moyen de communication fonctionnel (Djoud & Maazou, 2017). Une étude faite au Mali trouvait aussi que seulement 10% des formations sanitaires disposaient d'une ambulance fonctionnelle pour les références/évacuations et que 90% disposaient de téléphones mobiles pour communiquer avec le CS de référence pour les urgences obstétricales (Diallo et al., 2015).

Formation et supervision

Dans la présente étude, les supervisions formatives/coaching/mentorat en rapport avec les SONU étaient très fréquentes dans les centres SONU-B (100%). Ces supervisions couvraient 60% des centres SONU-C. Elles pourraient avoir un impact significatif sur l'amélioration des compétences des agents de santé et la qualité des soins fournis. C'est ce qu'a retrouvé l'étude faite au Cameroun où le renforcement des compétences et la supervision régulière ont permis aux équipes de soins des différents niveaux, de prendre conscience de l'importance de la surveillance du travail d'accouchement, du diagnostic à temps, des complications obstétricales ainsi que de leur prise en charge (Mbola Mbassi, 2014).

Conclusion

La mise en oeuvre des soins obstétricaux et néonataux d'urgence requiert une évaluation afin d'apprécier la qualité des soins, la disponibilité du matériel, le niveau de performance ainsi que l'accessibilité aux soins des

patients. Cette étude visant à évaluer la mise en oeuvre des SONU s'est basée sur la structure (Infrastructure et équipement), le processus et la performance de l'ensemble des centres SONU du département des Collines. Il ressort que 2 centres SONU-C sur 5 disposaient des kits d'urgence utilisables sans exigence de paiement préalable pour toutes les femmes dans le besoin ; un manque à combler dont l'absence ne garanti pas la continuité des soins. Les médicaments essentiels étaient disponibles dans presque tous les centres SONU. Quant au système de référence et contre-référence, son manque de performance est dû à l'absence de moyen de transport, une situation inconfortable pour les femmes en travail et pas sans risque sur les suites de l'accouchement. Il faut aussi remarquer l'absence de laboratoire dans certains centres SONU-B qui pourrait engendrer la lenteur dans le diagnostic et par ricochet sur la prise de décision en matière de prise en charge. Par ailleurs, la performance est globalement moyenne et on peut identifier autant de forces que de faiblesses dans la mise en oeuvre des SONU dans ce département. Il urge de combler le manque en matière d'équipement et d'optimiser la prise en charge afin d'assurer des soins de qualité aux bénéficiaires.

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.

Conflits d'intérêts: Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts en lien avec cette étude.

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 par les investigateurs

References:

1. Abegunde, D., Kabo, I. A., Sambisa, W., Akomolafe, T., Orobaton, N., Abdulkarim, M., & Sadauki, H. (2015). Availability, utilization, and quality of emergency obstetric care services in Bauchi State, Nigeria. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 128(3), 251-255. <https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2014.09.029>
2. Agboton, B. L., Agueh, V. D., Bodjrenou, A. S., Vigan, J., Ahoui, S., Agboton, C. G., Zannou, M. D., & Djrolo, F. (2017). Etat des Lieux et évaluation de la qualité de la Thérapie Nutritionnelle des Patients Porteurs de Syndrome Métabolique au CNHU-HKM de Cotonou. *Revue Africaine de Médecine Interne*, 4(1-2), Article 1-2.
3. Alemayehu, M., Yakob, B., & Khuzwayo, N. (2023). Effective Coverage of Emergency Obstetric and Newborn Care Services in

- Africa : A Scoping Review. *Open Access Emergency Medicine*, 15, 93-108. <https://doi.org/10.2147/OAEM.S403145>
4. Assembly, G. (2015). Sustainable development goals. *SDGs Transform Our World, 2030*, 6-28.
 5. Blami, D., Bluestone, J., & Carr, C. (2010). *Directives pour la formation continue en soins obstétricaux et néonataux d'urgence de base et complets*. Jhpiego. www.jhpiego.org
 6. Diallo, B., Doumbia, S., Kouma, A., Thera, T., Traore, A. T., Traore, M., Traore, Y., & Traore, Z. O. (2015). Problematique du systeme de reference-contre-reference des urgences obstetricales et l'implication des communautaires dans le district de Bamako. *Mali méd.(En ligne)*, 34-37.
 7. Djoud, D. E., & Maazou, S. (2017). *Rapport de la deuxième Evaluation Rapide Des Besoins en Soins Obstétricaux Néonataux D'urgence (SONU) au Niger* (p. 156). <https://platform.who.int/docs/default-source/mca-documents/policy-documents/report/NER-MN-94-01-REPORT-2017-fra-ERSONU-2017-Rapport.pdf>
 8. Fleetwood, D. (2018, mars 23). L'échantillonnage de commodité : Définition, avantages et exemples. *QuestionPro*. <https://www.questionpro.com/blog/fr/echantillonnage-de-commodite/>
 9. Fonds de Nations Unies pour la population, U. (2016). *Sonu : Guide pour la réalisation des Enquêtes Rapides*. Bureau régional pour l'Afrique de l'ouest et du centre-unfpa. www.unfpa.org ; wcaro.unfpa.org
 10. Hennion, M., Phanord, K., Lys, J. D., & Mathieu, M. (2021). *Évaluation du 6ème programme de l'UNFPA en assistance au gouvernement de la République d'Haïti (2017-2021)*.
 11. Kouanda, S., Ouédraogo, A. M., Ouédraogo, G. H., Sanon, D., Belemviré, S., & Ouédraogo, L. (2016). Emergency obstetric and neonatal care needs assessment : Results of the 2010 and 2014 surveys in Burkina Faso. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 135, S11-S15. <https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2016.08.008>
 12. Mbola Mbassi, S. (2014). *Soins obstétricaux d'urgence et mortalité maternelle dans les maternités de troisième niveau du Cameroun : Approche évaluative d'une intervention visant à améliorer le transfert obstétrical et la prise en charge des complications maternelles* [Thèse pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université Pierre et Marie Curie, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI - école doctorale : Pierre-Louis de Santé Publique à Paris, épidémiologie et sciences de l'information biomédicale]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01223003>

13. Minitère de la santé (Bénin). (2018). *Normes et standards des maternités SONUB au Benin* (p. 44). Direction de la santé de la mère et de l'enfant.
14. Okonofua, F., Randawa, A., Ogu, R., Agholor, K., Okike, O., Abdusalam, R. A., Gana, M., Abe, E., Durodola, A., Galadanci, H., & Team, W. W. F. M. I. R. S. (2017). Views of senior health personnel about quality of emergency obstetric care : A qualitative study in Nigeria. *PLOS ONE*, *12*(3), e0173414. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173414>
15. Ouédraogo, A. M., Ouédraogo/Nikiema, L., Meda, I. B., N'Tapi, K., & Kouanda, S. (2016). Indicators of availability, use, and quality of emergency obstetric and neonatal care in Togo in 2012. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, *135*, S7-S10. <https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2016.08.014>
16. UNFPA. (2015). *Soins obstétricaux et néonataux d'urgence*. World Health Organization, UNFPA, UNICEF, & AMDD. (2009). *Monitoring Emergency Obstetric Care : A Handbook*.

Evaluation de la Substitution Partielle du Tourteau de *Glycine max* (L.) Merr (Soja) par le Tourteau de la Pulpe de *Dacryodes edulis* (Safou) H.J. Lam. (1932) dans l'Alimentation des Poules Pondeuses au Congo-Brazzaville

Saboukoulou A. J.

Faculty of Sciences and Technique,
University Marien Ngouabi, Brazzaville Congo

Adzona P. P.

National High College of Agronomy and Forestry,
University Marien Ngouabi, Brazzaville Congo

Ntsoumou V. M.

Faculty of Sciences and Technique
Université Marien Ngouabi, Brazzaville Congo

Banga-Mboko H.

National High College of Agronomy and Forestry,
University Marien Ngouabi, Brazzaville Congo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p196](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p196)

Submitted: 03 December 2023

Accepted: 12 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Saboukoulou A. J., Adzona P. P., Ntsoumou V. M. & Banga-Mboko H. (2024). *Evaluation de la Substitution Partielle du Tourteau de Glycine max (L.) Merr (Soja) par le Tourteau de la Pulpe de Dacryodes edulis (Safou) H.J. Lam. (1932) dans l'Alimentation des Poules Pondeuses au Congo-Brazzaville*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 196.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p196>

Résumé

La substitution du tourteau de soja par des intrants locaux est souvent proposée comme une alternative dans l'amélioration de la productivité avicole. Pour tester cette hypothèse, le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* a été expérimenté chez des poules pondeuses âgées de 24 semaines. L'étude avait pour but de substituer partiellement le tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* à 7 % dans l'alimentation des poules pondeuses. Au cours de cette étude, un échantillon de 60 poules pondeuses avait été réparti en deux lots ; le tourteau de *Dacryodes edulis* a été incorporé à 7 % dans le premier lot et le second groupe a servi de témoin. Les deux

groupes ont été comparés sur des paramètres zootechniques et économiques. Le traitement a amélioré significativement ($p < 0,05$), l'efficacité alimentaire (4,03 contre 3,11) quoi qu'on ait observé une baisse de la consommation volontaire d'aliment et d'eau respectivement de 16,7 % et 17,4%. De même, l'incorporation du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* à 7% a amélioré significativement la ponte, en l'occurrence le nombre moyen d'œufs pondus par poule (43,12 contre 46,62), le poids moyen de l'œuf (54,41 g contre 56,48 g), le taux de ponte au pic de ponte, (71,42% contre 74,30%) et la production des œufs commercialisables (744 œufs contre 876 œufs). Sur le plan économique, le traitement a amélioré significativement le coût de revient du kg d'aliment (299,82 FCFA contre 275,95 FCFA), le prix de production de l'œuf (95,17 FCFA contre 68,10 FCFA). L'hypothèse formulée au début de cette étude a été vérifiée. L'incorporation du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* dans l'alimentation des poules pondeuses est une alternative en aviculture fermière. Cette étude ouvre des perspectives intéressantes en arboriculture fruitière et en aviculture fermière au Congo.

Mots-clés: Afrique, atanga, œufs, Lohmann Brown

Evaluation of Partial Substitution of Cake from Glycine max (L.) Merr (Soybean) by Cake Pulp of *Dacryodes edulis* (safou) H.J. Lam. (1932) in the Diet of Laying hens in Congo-Brazzaville

Saboukoulou A. J.

Faculty of Sciences and Technique,
University Marien Ngouabi, Brazzaville Congo

Adzona P. P.

National High College of Agronomy and Forestry,
University Marien Ngouabi, Brazzaville Congo

Ntsoumou V. M.

Faculty of Sciences and Technique
Université Marien Ngouabi, Brazzaville Congo

Banga-Mboko H.

National High College of Agronomy and Forestry,
University Marien Ngouabi, Brazzaville Congo

Abstract

Substitution of soybean or meal cake with local inputs is often proposed as an alternative to improving poultry productivity. To test this

hypothesis, *Dacryodes edulis* cake were tested in 24-week-old laying hens. The aim of the study was to partially replace soybean cake with *Dacryodes edulis* pulp residues at 7% in the diet of laying hens. During this study, a sample of 60 laying hens was divided into two groups; *Dacryodes edulis* cake was incorporated at 7% in the first batch and the second group served as a control. The two groups were compared on zootechnical and economic parameters. The treatment significantly ($p < 0.05$) improved feed efficiency (4.03 versus 3.11), although a drop in voluntary food and water consumption of 16.7% was observed respectively. Likewise, the incorporation of *Dacryodes edulis* pulp cake at 7% significantly improved laying, in this case, the average number of eggs laid per hen (43.12 versus 46.62), the average weight of the egg (54.41 g versus 56.48 g), the laying rate at peak laying (71.42% versus 74.30%) and the production of marketable eggs (744 eggs versus 876 eggs). Concerning the economic level, the treatment significantly improved the cost per kg of food (299.82 FCFA vs 275.95 FCFA), and the production price of the egg (95.17 FCFA vs 68.10 FCFA). The hypothesis formulated at the beginning of this study was verified. Incorporating residues of *Dacryodes edulis* seeds or cake into the feed of laying hens is an alternative in free-range poultry farming. This study points to interesting perspectives on fruit cultivation and poultry farming in Congo.

Keywords: Africa, African pear, egg production, Lohmann Brown

Introduction

En République du Congo, la filière avicole rentre dans les programmes de lutte contre la pauvreté. Le déficit en protéines animales observé au Congo est devenu de plus en plus préoccupant et oblige ce dernier à réaliser des importations massives des produits carnés et autres denrées alimentaires évalués à environ 700 milliards de CFA par an (FAO, 2013). Parmi les produits importés, les œufs de table représentent une part importante évaluée à 86,7% (FAO, 2009).

La production nationale en œufs de table est faible et ne représente que 10% de la demande (FAO, 2009). Cette situation préoccupante entraîne l'inflation du prix de l'œuf, qui est passé de 25 à 35 francs CFA en (1980), de 35 francs CFA à 125 francs CFA en (1990), puis de 125 francs à 150 francs CFA de nos jours selon les départements (FAO, 2009). L'élevage des poules pondeuses est donc confronté à un certain nombre de problèmes dont les plus importants sont l'alimentation (FAO, 2009 ; Guédou et *al*, 2012 ; Adouko et *al*, 2021). La pénurie de l'aliment ponte en termes de qualité et de coût constitue un frein au développement de l'élevage des poules pondeuses au Congo.

La plupart des matières premières utilisées dans la fabrication des aliments des poules pondeuses au Congo sont importées (Bonzi *et al* 2013). Parmi les matières premières de base qui entrent dans la fabrication de l'aliment ponte, il ya: les sources énergétiques, les sources azotées et minérales. Les sources énergétiques sont les moins onéreuses et les plus disponibles au Congo parmi lesquelles on a : le maïs, le manioc, la drèche de brasserie et le son de blé. Les sources azotées telles que les tourteaux et les farines animales constituent les matières premières les plus onéreuses (Ntsoumou *et al*, 2021). Elles jouent un rôle important dans l'aliment ponte, du fait qu'ils participent à la formation de l'œuf (FAO, 2009 ; Bonzi *et al* 2013). Suite à l'irrégularité et au coût d'achat élevé, l'approvisionnement en matières premières azotées, en particulier les tourteaux constituent un problème préoccupant (Dongmo *et al*, 1993 ; Mantsanga *et al* 2016).

Le manque d'industrie agroalimentaire a conduit à la rareté des tourteaux et à une dépendance vis-à-vis de l'étranger par l'importation du tourteau de soja. En effet le soja est le tourteau conventionnel le plus utilisé dans l'alimentation des poules pondeuses, car il possède une teneur en protéine, en acides aminés supérieure à d'autres tourteaux conventionnels (Guédou *et al*, 2018 ; Kilemba Mukangala *et al*, 2018).

Malheureusement au Congo ce tourteau est importé et coûte cher (Kilemba Mukangala *et al*, 2018). Au Congo, le prix du Kg du tourteau de soja est de 810 FCFA. Suite à la cherté de cet ingrédient, le pays n'arrive pas à satisfaire la demande en aliment (Bonzi *et al*, 2013). Ainsi, l'offre en aliment de volaille au Congo est évaluée à 1,76% soit 5828 tonnes/an pour une demande estimée à 330200 tonnes /an (Nzaba, 2014). De ce fait, le prix du kg de l'aliment ponte est passé de 150 francs CFA à 410 francs CFA avec une variation de 350 FCFA à 450 FCFA selon les fournisseurs (FAO, 2012).

Les prix exorbitants des aliments ponte au Congo ne favorisent pas le développement de l'élevage, d'où la recherche vers les ressources locales comme le tourteau artisanal de la pulpe de safou (*Dacryodes edulis*). Des travaux antérieurs montrent que le tourteau de la pulpe de safou possède une teneur en minéraux proche de celle des tourteaux d'arachide, coton et coprah mais plus élevé que celui du tourteau de palmiste (Ano *et al*, 2018). La teneur en protéine du tourteau de la pulpe se situe entre 15% à 30% (Kinkéla *et al*, 2006).

Compte tenu de son potentiel nutritionnel, le tourteau de la pulpe de safou pourrait être incorporé dans l'aliment d'engraissement des volailles (Ano *et al*, 2018). Récemment le tourteau de la pulpe *Dacryodes edulis* a été valorisé avec succès dans les rations de poulets de chair de la souche Cobb 500 (Adzona *et al*, 2023).

Fort de ces résultats prometteurs, il est apparu pertinent d'évaluer la réponse des poules pondeuses soumises à une ration contenant 7 % de tourteau

de safou substitué au tourteau conventionnel de soja. C'est l'objet de la présente étude.

Ainsi, ce travail repose sur l'hypothèse selon laquelle l'incorporation du tourteau de safou en substitution avec le tourteau de soja améliore les performances des poules pondeuses

Matériel et Méthodes

Zone d'étude

Cette étude a été réalisée à Brazzaville, en République du Congo, dans la ferme agricole destinée à la valorisation des ressources locales. Elle est située dans l'arrondissement 2 Bacongo, plus précisément dans le quartier Diata. Le climat de Brazzaville est tropical humide de type bas-congolais, les températures moyennes annuelles avoisinent 25°C avec des faibles écarts thermiques n'excédant pas 5°C, la température maximale ne dépasse pas 35°C et la température minimale reste supérieure à 20°C (Samba et Moundza, 2007). la pluviométrie se situe entre 1400 à 1600 mm. Brazzaville possède une latitude de 4°5'58" au sud, une longitude de 15°16'59" à Est et une altitude de 284 m par rapport au niveau de la mer. Il est caractérisé par deux saisons de pluie et deux saisons sèches : une première saison de pluie en Octobre et une autre au mois de Mai. Une première saison sèche qui commence en juin et une deuxième en septembre

Matériel végétal

Les fruits qui ont fait l'objet de cette étude ont été achetés dans le marché de Brazzaville et acheminés au niveau de l'ONG Santé Nature spécialisée dans les extractions et la commercialisation des huiles cosmétiques.

Le tourteau de la pulpe de safou utilisé dans cette expérimentation a été obtenu par le processus décrit dans la figure 1.



Figure 1. Procédé d'obtention du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* par extraction mécanique

Brièvement, les fruits ont ensuite été triés afin d'éliminer les fruits ramollis, car la qualité du tourteau dépend de la qualité du safou.

Après la sélection, un dénoyautage a été effectué en ouvrant le fruit à l'aide d'un couteau bien aiguisé. Par la suite la pulpe a été séparée du noyau. La pulpe obtenue a été lavée avec de l'eau propre puis séchée au soleil pendant 72 heures. La pulpe séchée a été chauffée par la suite, pour faciliter la

libération de l'huile, puis broyée. La farine obtenue a été soumise à une presse mécanique afin d'obtenir l'huile et le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis*.

Matériel animal

Au cours de cette expérimentation, la souche lohmann Brown a été utilisée. C'est une souche prolifique qui s'adapte dans les pays tropicaux et ayant une bonne performance de ponte.

Méthodes

Dispositif expérimental

Cette étude a porté sur 60 poules pondeuses de souche lohmann brown âgées de 6 mois repartis en 2 lots à raison de 30 poules chacun. Les poules ont été baguées et reparties à poids égal avec des numéros de bague spécifique indiquant le poids de chaque poules en fonction des numéros et des lots. Les numéros de bague étaient de 1 à 30 dans chaque lot.

Avant la réception des poules, le bâtiment a été vidé et lavé avec de l'eau de javel puis badigeonné avec de la chaux. Celui-ci a été cloisonné en 2 compartiments avec du grillage à raison de 3 m² chacun soit 2,5 m de long et 1,2 m de large pour chaque cloison.

Les régimes alimentaires

Dans cette étude, le taux de cellulose est de 13,80 % ce qui permet de l'incorporer dans l'aliment des poules pondeuses à un taux maximum de 7 %. Le témoin a reçu un aliment contenant 0 % de tourteau de la pulpe de safou et 14 % du tourteau de soja. Le traité était composé d'un aliment contenant 7 % de tourteau de la pulpe de safou et 7 % du tourteau de soja.

Le tableau 1 présente les régimes alimentaires :

Tableau 1. Régimes alimentaires des aliments

Composition (%)	Taux d'incorporation	Taux d'incorporation
	Témoin	Traité
Maïs	42	39
Son de blé	12	4
Farine de manioc	4,5	6,5
Farine de Niébé	8	15
Huile de palme	3	3
Tourteau de soja	14	7
Tourteau de la pulpe safou	0	7
Farine de poisson	8	10
Calcaire	8	8
Sel de cuisine	0.4	0.4
Complexe vitaminé et minéralisé*	0.1	0.1
Total	100	100
Analyse chimique calculée des aliments expérimentaux **		
EM (kcal/kg)	2800	2894
MAT (%)	18,46	18,06
Lysine (%)	1,02	1,21
Méthionine (%)	0,49	0,68
Cellulose (%)	3,41	3,60
Calcium (%)	3,55	3,68
Phosphore (%)	0,54	0,61

Complexe vitaminé et Minéral : Vitamine A : 10 M UI ; Vitamine D3 : 3 M UI ; Vitamine E : 2500mg ; Vitamine k3 :4000mg ; Vitamine B1 : 5000mg ; Vitamine B2 :500mg ; Vitamine B6 : 2500mg ; Vitamine B12 : 5mg ; Vitamine C : 10000 mg ; Vitamine PP : 2000mg ; Pantothénate de calcium : 5000 mg ; Biotine : 5mg ; Acide folique : 250mg ; des oligo éléments : Fer ; cuivre ; zinc ; manganèse ; cobalt ; magnésium ; iode de sodium : 70mg ; chlorure de potassium : 15mg.*

** Les analyses bromatologiques ont été effectuées par le laboratoire de Nutrition Animale de la Faculté de Médecine Vétérinaire de l'université de liège en Belgique

Paramètres zootechnique étudiés

Pour apprécier l'évolution de l'expérimentation, plusieurs paramètres zootechniques ont été utilisés durant cette étude parmi lesquels le poids des œufs, le calibre des œufs, pesés de l'aliment et de l'eau.

Consommation volontaire d'aliment (CVA)

Les quantités d'aliment servies et non consommées ont été enregistrées, la consommation volontaire d'aliment a été calculée chaque semaine selon la formule ci apres :

$$CVA = \frac{\text{Quantité distribuée} - \text{Quantité refusée}}{\text{---}}$$

Consommation volontaire d'eau (CVE)

Les quantités d'eau servies et non consommées ont été enregistrées chaque jour. La quantité d'eau volontairement consommée (CVE) est a été calculée par la formule suivante :

$$CVE = \frac{\text{Quantité distribuée} - \text{Quantité refusée}}{7}$$

L'indice de consommation (IC)

Il a été calculé selon la formule suivante:

$$IC = \frac{\text{Quantité moyenne d'aliment consommé}}{\text{Poids moyen des œufs} \times \text{Nombre des œufs pondus par les poules pendant une période donnée}}$$

Taux de ponte (TP)

Ce taux a été calculé par la formule suivante:

$$TP = \frac{\text{Nombre des œufs pondus}}{\text{Effectif des poules}} \times 100$$

Le poids des œufs

Le poids des œufs a été obtenu on pesant les œufs de façon journalière afin d'apprécier le calibre des œufs.

Calibre des œufs

Les œufs ont été classés par catégorie des plus petits au plus gros selon la méthode décrite par Anonyme (2013)

Paramètre économique

L'analyse économique a permis d'évaluer les performances économiques sur la production des œufs des poules pondeuses avec un aliment sans tourteau de safou et celui nourris au tourteau de safou. Cette méthode a consisté à faire une étude exhaustive des charges liées à la production des œufs marchands. Elle avait pour but de dégager le prix de revient du coût de l'aliment (CRA), le coût de production de l'œuf par régime alimentaire (CPP) et le bénéfice réalisé par chaque lot (témoin, traité) en fonction du coût de production et de vente de l'œuf.

Analyse statistique

Les données obtenues au cours de cette expérience ont été saisies dans le logiciel Excel, puis analysé avec le logiciel R version 3.3.3 (2017). Le type d'aliments (témoin, traité) a été le seul facteur pour le modèle d'analyse de

variance. Le test F de Fisher a été utilisé pour déterminer la significativité de l'effet du facteur traitement et *t student* a été utilisée pour comparer les moyennes. La comparaison a été faite au seuil de 5 %, deux moyennes étaient statistiquement différentes, quand la valeur de P était inférieure à 0,05

Résultats

Données bromatologiques

La composition chimique du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* de la variété *var edulis* est consignée dans le tableau 2

Tableau 2. Analyses chimiques du tourteau de la pulpe de *D. edulis* de la variété *var edulis*

Tourteau	MS (%)	Cendres (%)	MAT (%)	Cellulose Brute (%)	Extrait Éthéré (%)	NDF (%)	ADF (%)
Tourteau de la pulpe de <i>D. edulis</i> brute	89,10	5,80	18,20	13,80	36,91	22,69	30,14
Tourteau de la pulpe de <i>D. edulis</i> torréfié	89,60	6,00	17,10	15,30	43,33	ND	34,34

NDF: Fibre de Détergent Neutre ; ADF : Fibre de Détergent Acide

Il ressort de ce tableau que le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* possède une teneur en protéine de 18,20 %. Avec la torréfaction issue des moyens traditionnels c'est-à-dire la température de torréfaction n'est pas contrôlée, ce taux descend à 17,20% avec comme corollaire l'augmentation du taux de cellulose.

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur le taux de mortalité

La mortalité a été nulle dans tous les deux lots. Cela se justifie par la conduite de l'expérimentation et la qualité de l'aliment qui ne contient pas de substances toxiques.

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur les paramètres zootechniques

Le tableau 3 présente les données moyennes sur la consommation volontaire et individuelle et journalière d'eau, d'aliment et sur l'indice de consommation

Tableau 3. Consommation moyenne volontaire, individuelle et journalière d'eau, d'aliment et l'indice de consommation de toute la phase expérimentale de 8 semaines

Paramètres	Témoin	Traité	Analyses statistiqueé
CVE en ml	221,42 ± 19,19	188,58 ± 8,31	S
CVA en g	107 ± 7,63	91,63 ± 12,73	S

IC	4,03 ± 0,86	3,11 ± 0,68	S
----	-------------	-------------	---

Il ressort de ces résultats que l'incorporation du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* a engendré une significative ($p < 0,05$) de la consommation : 17,4 % pour l'eau et 16,7 % pour l'aliment. En revanche, l'IC a été amélioré de 29,58 %.

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur le taux de ponte

Les résultats sont consignés à la figure 2.

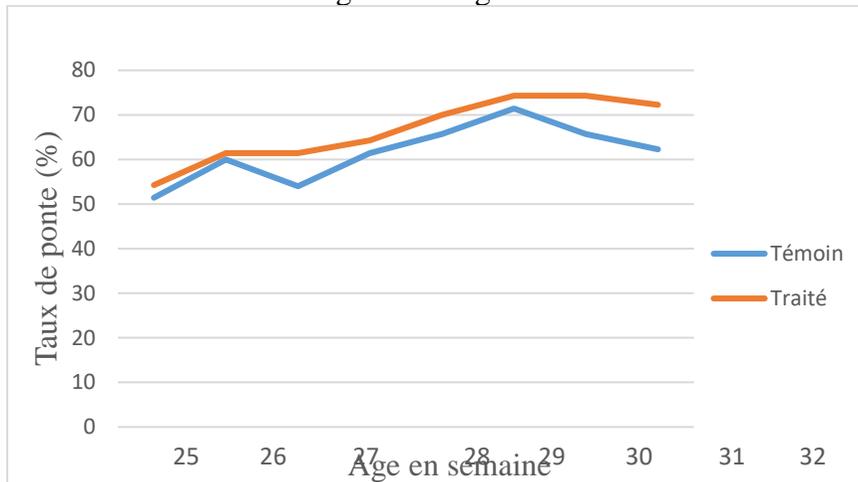


Figure 2. Taux de ponte

Il ressort de cette figure que la substitution a engendré une augmentation du taux de ponte de 4 % au pic de ponte (30^{ème} semaine). Deux pics de pontes différents ont été observés entre les lots. Au niveau du lot témoin et traité, le pic de ponte commence à la 28^{ème} semaine et se poursuit jusqu'à la 31^{ème} semaine pour le traité. Tandis qu'au niveau du lot témoin le pic commence à chuter à la 30^{ème} semaine. Ces résultats montrent que le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* influence le taux de ponte. À cet effet il présente un grand intérêt dans l'alimentation des poules pondeuses.

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur le calibre de l'œuf

Le tableau 4 présente la classification des œufs selon leur poids.

Tableau 4. Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur la classification des œufs

Semaine	Calibre des œufs en (%)				Total des œufs pondus
	S (%)	M (%)	L (%)	XL (%)	
Témoin	26 (n=270)	71,88 (n=744)	2,02(n=21)	0 (n=0)	1035

Traité	18,76 (n=210)	78,28 (n=876)	2,41 (n=27)	0,53 (n=6)	1119
---------------	------------------	------------------	-------------	------------	-------------

S : œufs petits dont le poids est inférieur à 53g ; M : œufs standards ou moyen ayant un poids compris entre 53 g à 63g ; L : œufs gros ayant un poids compris entre 63 g à 73 g ; XL : œufs très gros dont le poids est supérieur à 73g

Il ressort du tableau 4 que la substitution a engendré une différence sur la classification des œufs selon leur poids. Le nombre des œufs moyen c'est-à-dire des œufs commercialisables sont plus élevé dans le lot substitué au tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis*. Ils représentent 78,28 % des œufs produits par la poule. Le pourcentage des œufs petits c'est-à-dire des œufs non commercialisables a été plus élevé chez le témoin soit 18,76 % par rapport au traité

Paramètres économiques

Les données sont présentées au tableau 5.

Tableau 5. Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur le coût du kg d'aliment, coût de production et le prix de vente

Variables	Témoin	Traité
Coût de l'aliment/kg en FCFA	299, 82	275,95
Coût de production (CP) de l'œuf avec toutes les charges (FCFA)	95,17	68, 10
Prix de vente (+25% du CP)	118,96	85,12

Il ressort de ce tableau que la substitution du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* a entraîné une diminution du prix du kilogramme de l'aliment de 7,97 %. L'incorporation du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* a permis de réduire le coût de production du kg d'aliment. En outre, Il a aussi entraîné une diminution de 28,45 % sur le coût de production et le prix de vente d'un œuf.

Discussion

Cette étude a évalué pour la première fois l'effet de la substitution partielle le tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de safou dans l'alimentation des poules pondeuses, d'où son originalité. Les résultats obtenus seront comparés avec ceux des auteurs ayant valorisé les autres tourteaux et autres ingrédients dans l'aliment des poules pondeuses.

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur le taux de mortalité

Bien que possédant des facteurs antinutritionnels, le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* utilisé lors de cette étude a été torréfié, ce qui a diminué les effets néfastes des facteurs antinutritionnels sur les performances

de ponte. De ce fait aucune mortalité n'a été obtenue durant toute l'expérimentation, ces données sont en harmonie à ceux obtenues par Ntsoumou et al (2021) et Mantsanga *et al* (2016) qui n'ont observé aucune mortalité chez les poules pondeuses. Ces résultats prouvent que la substitution du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* n'affecte pas la physiologie de la poule pondeuse donc la mortalité.

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur la consommation moyenne volontaire individuelle et journalière d'eau

L'incorporation du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* a entraîné une différence significative ($P < 0,05$) sur la consommation volontaire d'eau. Ces résultats soit 188,58 ml/jour/poule sont inférieurs à ceux obtenus par Mantsanga et al (2016) soit 283 ml/jour/poule chez les poules pondeuses l'homme nourries avec un aliment calcique séparé.

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur la consommation moyenne volontaire individuelle de l'aliment

L'incorporation du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* a entraîné une diminution significative de la consommation de l'aliment de 14,36 %. Ces résultats obtenus sont inférieurs à ceux obtenus par Dongmo et al (1993) qui a incorporé le tourteau de coton dans l'alimentation des poules pondeuses.

Ces résultats sont aussi inférieurs à ceux obtenus par Guédou et al (2018) qui ont valorisé les différentes variétés de maïs existant au Bénin chez les poules pondeuses. Outre ces auteurs, ces résultats sont proches de ceux obtenus par Guédou et al (2012) qui ont valorisé le tourteau palmiste, coton et les graines de coton dans une ration des poules pondeuses. De ce fait, l'incorporation du tourteau de *Dacryodes edulis* a entraîné une diminution de la consommation d'aliment tout en favorisant la production des œufs.

Ces résultats peuvent être expliqués par la composition intéressante du tourteau de *Dacryodes edulis* en protéine et en acides aminés essentiels dont la lysine et la méthionine qui participent à la formation de l'œuf. Par ailleurs, ces résultats peuvent aussi être dus par le taux de cellulose élevé contenu dans le tourteau torréfiés de la pulpe de *Dacryodes edulis*, car la cellulose représente un sucre non digestible par la volaille.

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur l'indice de consommation

L'indice de consommation obtenu chez le lot traité est intéressant, cela traduit l'efficacité alimentaire. Les sujets traités ont consommé moins d'aliment que les témoins et produisent beaucoup d'œufs. Ces indices sont inférieurs à celui obtenu par Guédou et al (2012) soit 5,4 qui ont valorisé le

tourteau palmiste, coton et graine de coton dans l'aliment des poules pondeuses. Il est aussi proche de celui obtenu par Dongmo et al (1993) soit 2,62 qui a incorporé le tourteau de coton dans l'alimentation des poules pondeuses.

Comparé à d'autres travaux cet indice est légèrement inférieur à celui obtenu par Guédou et al (2018) soit 3,20 en valorisant les différentes graines de maïs dans l'alimentation des poules pondeuses. Il est aussi inférieur à celui obtenu par Adouko et al (2021)

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur le taux de ponte

Une différence a été obtenue sur le taux de ponte entre les différents traitements. Ce taux de ponte obtenu est supérieur à celui obtenu par Adouko et al (2021) qui a substitué le tourteau de soja à 20 % par les feuilles de moringa soit un taux de ponte de 68 %. Ils sont aussi supérieur à ceux de Guédou et al (2012) soit 74,3 % contre 40 % qui ont valorisé le tourteau palmiste, coton et graine de coton dans l'aliment des poules pondeuses. Ce même taux est proche de celui obtenu par Dongmo et al (1993) soit 74,3 % contre 80,8 % qui a incorporé le tourteau de coton dans l'aliment des poules pondeuses. Il est aussi proche à celui obtenu par Guédou et al (2018) soit 74,3 % contre 75,74 % qui a valorisé les différentes variétés de graines de maïs dans l'alimentation des poules pondeuses. Ce taux obtenu s'explique par la qualité de l'aliment qui a influé sur la production des œufs.

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur le calibre de l'œuf

L'incorporation du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* a entraîné une production élevée des œufs moyens. Ces résultats obtenus pour les œufs standards (œufs moyens) sont supérieurs à ceux obtenus par (Mantsanga et al, 2016) en alimentation calcique séparée soit 78,28 % contre 41,84 %. S'agissant des gros œufs (œufs X) les résultats obtenus sont aussi supérieurs à ceux obtenus par le même auteur soit 2,41 % contre 1,08 %. Cela s'explique par l'incorporation du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* a agi sur l'augmentation du calibre de l'œuf du fait de sa teneur en acides aminés essentiels.

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur le coût revient de l'aliment de ponte

L'incorporation du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* dans l'alimentation des poules pondeuses a entraîné une diminution du prix de l'aliment Le prix de revient de l'aliment obtenu dans cette étude est proche de celui obtenu par Guédou et al (2018) au Bénin dont le prix de. Ce prix de revient de l'aliment ponte est inférieur à celui obtenu par Mantsanga et al

,2016 à Brazzaville. Cette différence s'explique par l'incorporation du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* qui a entraîné une diminution du coût de l'alimentation du fait que ce tourteau coûte moins cher.

Effet de la substitution partielle du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* sur le coût de production et prix de vente de l'œuf

Les résultats obtenus sur le coût de production et le prix de vente de l'œuf sont intéressants, la substitution a engendré une diminution de 28,45 % du coût de production. Ces résultats obtenus sont inférieurs à ceux obtenus par Mantsanga et al, (2016) à Brazzaville, 68,10 contre 74 FCFA soit une différence de 5,9 FCFA. Concernant le prix de vente de l'œuf, la substitution a entraîné une diminution du prix de vente de l'œuf de 29,5 % par rapport au témoin. Ces résultats sur le prix de vente de l'œuf obtenus chez le traité soit 85,12 FCFA sont supérieurs à ceux obtenus par Mantsanga et al, (2016) et Ntsoumou et al, (2021) soit 111,88 FCFA pour le premier auteur et 109 FCFA pour le deuxième auteur.

Ces résultats s'expliquent par le fait que le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* coûte moins cher.

Conclusion

En définitive, cette étude avait pour but de substituer partiellement le tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* dans l'alimentation des poules pondeuses Lohman Brown. Les résultats obtenus ont montré que la substitution du tourteau de soja par le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* à 7% dans l'alimentation des poules pondeuses a amélioré significativement tous les paramètres zootechniques et économiques qui ont fait l'objet de cette étude. Les deux hypothèses qui ont été formulées au début de cette étude ont été vérifiées. Afin de pallier l'irrégularité et le manque d'approvisionnement en intrants azotés, le tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* est donc une alternative en aviculture fermière et en arboriculture fruitière au Congo.

Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude envers madame Diane Mavoungou, Présidente de la Coopérative Santé et Nature (CSN), pour son implication dans la production du tourteau et le Professeur Jean Luc Hornick de l'université de Liège (Belgique) pour avoir pris en charge les analyses chimiques.

Ethique : Cette étude est conforme aux directives d'éthique de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique (DGRST) du Congo-Brazzaville.

Conflits d'intérêt: Les auteurs déclarent l'existence d'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.

Références:

1. Adouko S J., Guedegbe O.A.UG., Ohouko O.H.F., Soha S.A.S. et Youssao A. (2021). Effet de *moringa oleifera* substitué au tourteau de soja chez les poules pondeuses. *Livestock Research for Rural Development*, 33 (2) :1-15.
2. Adzona P.P. (2019). Influence de quatre tourteaux locaux non conventionnels en alimentation mélangée, fractionnée et séquentielle chez la volaille en milieu tropical. Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de docteur en Sciences Biologiques. Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo, 120p.
3. Adzona P.P Saboukoulou A.J., Bati J.B Ntsoumou M.V., Mabanza-Mbanza B.B., Ndinga A.F., Guembo J.R. et Banga-Mboko H. (2023). Effet des doses variables du tourteau de la pulpe de *Dacryodes edulis* (safou) dans les rations du poulet de chair standard. *Revue Africaine et Malgache de Recherches Scientifiques*, 11 (2) :31-37.
4. Ano A.A.R.R., N'dri Koffi E., Adima A.A., N'da P.K. et Anin L.A. (2018). Composition biochimique et phytochimique des tourteaux des fruits du safoutier (*Dacryodes edulis*) de Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological Chemical Sciences*, 12(6): 2535-2546. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i6.6>
5. Anonyme. (2013). La classification et la numérotation des œufs de poules. « En ligne » disponible sur, <http://www.regime-dietetique.net/dietetique-pratique/article-dietetique-158.aspx>, consulté le 20 juillet 2020.
6. Bonzi G., Bakoutana D.A. et Banga-Mboko H. (2013). Évaluation de l'efficacité d'un aliment pour poulets de chair fabrique avec des matières premières locales. *Annale des Sciences et Techniques*, 14(4) : 4410-4433.
7. Bourin M et Bouvarel I. (2015). Alimentation 100% bio pour les poules pondeuses : Résultat d'essais conduits en station expérimentale. *Vers une alimentation 100 % AB en élevage avicole biologique - Restitution des programmes ICOPP, ProtéAB, AviAlim Bio, Avibio*,

- Monalim *Bio* 18 Juin 2015, Angers - ITAB/CRAPDL/IBB/ITAVI/INRA, 9p.
8. Dongmo T., Pouilles-Duplaix M., Picard M., Mbi C. et De Reviers M. (1993). Utilisation du tourteau de coton dans l'alimentation des volailles. Effets du gossypol sur les paramètres de la reproduction. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 46 (4), 621-630. DOI : <https://doi.org/10.19182/remvt.9418>
 9. FAO. (2012). Stratégie pour un développement durable de l'aquaculture en république du Congo. 1, 96p.
 10. FAO. (2013). Cadre de programme pays. 28p
 11. Guédou M.S.E., Tobada P., Gbégo Tossa I., Pomalegni S.C.B et Mensah G.A. (2012). Valorisation des tourteaux de palmiste et de coton et des graines de coton dans des rations alimentaires pour des poules pondeuses au Sud-Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, BRAB « en ligne » sur le site web <http://www.slire.net> ISSN :1840-7099. Consulté le 10 août 2020. <http://www.slire.net/>
 12. Guédou M.S.E., Kouato G.O., Houndonougbo M.F., Chrysostome C.A.A.M. et Mensah G.A. (2018). Performances de ponte et qualité des œufs de poules pondeuses nourries avec des aliments à base de différentes variétés de grains de maïs. *International Journal of Biological and Chemical*, 12 (6): 2846-2855. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i6.29>
 13. Kilemba Mukangala B., Kabemba Tshiakamona J et Tshibangu Muamba I. (2018). Essai de substitution du tourteau de soja par le tourteau palmiste dans la ration de poulets de chair à Lubumbashi : Effets sur les performances de croissance et les paramètres économiques. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 25(1): 93-101.
 14. Kinkéla T., Kama-Niamayoua R., Mampouya D. et Silou T. (2006). Variations in morphological characteristics, lipid content and chemical composition of safou (*Dacryodes edulis* (G. Don) H.J.LAM.) according to fruit distribution. A case study.. *African Journal of Biotechnology*, 5 (12): 1233-1238.
 15. Mantsanga H.B., Amona I., Banga-Mboko H., Bakana M.A. et Adzona P.P. (2016). Effet de l'alimentation calcique séparée sur les performances de production de la poule Lhoman Brown sous climat tropical humide. *Journal of Applied Bioscience*, 97: 9212– 9219. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v97i1.6>
 16. Ntsoumou M.V., Adzona P.P., Bati J.B., Kengue T., Mabanza-Mbanza B.B., Saboukoulou A.J., Ndinga A.F., Guembo J.R. et Banga-Mboko H. (2021). Evaluation de la substitution du tourteau de Glycine max (L.) Merr. (Soja) par le tourteau de *Tetracarpidium conophorum* (Müll.

- Arg.) Hutch. & Dalz sur les performances des poules pondeuses. International Journal of Biological and Chemical, 15 (6): 2526-2542. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i6.22>
17. Nzaba D. (2014). Typologie et évaluation de l'offre en aliment de bétail par les minoteries de Brazzaville. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de licence professionnelle en productions et santé animales. Université Marien Ngouabi, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie, Brazzaville, Congo, 45p.

Caractérisation Lithologique, Hydrosédimentaire Et Cartographie des Aquifères par la Méthode des Indices d'Évolution : Cas de la Recharge des Aquifères de Bonoua (Sud-Est Côte d'Ivoire)

Alla Amani Jonas
Yao N'Goran Jean Paul
Yao Diby Ferdinand
Digbehi Zéli Bruno

Université Félix Houphouët Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des
Ressources Minières, Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et
Énergétiques (LGRME) Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p214](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p214)

Submitted: 07 July 2023
Accepted: 14 March 2024
Published: 31 March 2024

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

Cite As:

Alla A.J., Yao N.J.P., Yao D.F. & Digbehi Z.B. (2024). *Caractérisation Lithologique, Hydrosédimentaire Et Cartographie des Aquifères par la Méthode des Indices d'Évolution : Cas de la Recharge des Aquifères de Bonoua (Sud-Est Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 214. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p214>

Résumé

Ce travail avait pour objectif de déterminer la typologie et la source probable de recharge des aquifères rencontrés à Bonoua en vue d'une meilleure gestion de ceux-ci. Les travaux ont utilisé des échantillons de forages prélevés à Bonoua au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. L'étude lithologique a révélé des sables, des argiles sableuses et des argiles bariolées. Les sables constituent l'essentiel des aquifères. La détermination des indices d'évolution totale (Nt) et segmentaire (Ns) a illustré trois aquifères. La variation de ces indices a révélé une direction NW-SE des paléocourants. Les indices Ns des sables montrent qu'ils ont subi un long transport (64 % à 86 %). Le principal aquifère se situe à 64,5 m en moyenne. Il est surmonté par un niveau imperméable (toit) d'argile bariolée et enregistre les meilleures arrivées d'eau. Il est dominé de sables grossiers (66,66 % à 85,71 %) à très grossiers avec une forme subarrondie (16 % à 53,57 %) et arrondies (13,04 % à 40 %). Les particules fines piégées par les grossières à l'équilibre lors du dépôt sont toutes

les deux issues d'un courant cogénétique. Ces sédiments transportés majoritairement par saltation et déposés généralement selon un faciès logarithmique ($Nt = 0$) et rarement parabolique ($0 < Nt < 1$) sont très bien classés (83,33 % à 100 %). Cette étude a permis d'identifier deux nouveaux faciès qui sont le faciès subparabolique ($0,05 \leq Nt \leq 0,09$) et le faciès linéaire ($Nt = 1$). Le faible pourcentage de fine offre à l'aquifère une bonne porosité et une bonne perméabilité ainsi qu'une bonne transmissivité de l'eau souterraine. Ce travail révèle donc qu'un seul aquifère existe dans cette localité mais se présente en bicouche séparée par de l'argile bariolée qui constitue le toit de cette nappe captive exploitée dans la zone. L'écoulement souterrain de direction NW-SE suppose que l'eau stockée à Bonoua proviendrait du fleuve Comoé qui coule en direction de la localité de Bassam. D'où la nécessité de protéger les cours d'eau rencontrés dans la localité de Bassam ainsi qu'au Nord de la zone d'étude afin garantir l'eau à Bonoua.

Mots-clés: Aquifère, indices d'évolution, cogénétique, logarithmique, porosité, perméabilité

Lithological, Hydrosedimentary Characterization and Modeling of Aquifers Using the Method of Evolution Indices : Case of Recharge of Aquifers of Bonoua (Southeast Of Côte d'Ivoire)

Alla Amani Jonas
Yao N'Goran Jean Paul
Yao Diby Ferdinand
Digbehi Zéli Bruno

Université Félix Houphouët Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques (LGRME) Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

The objective of this study was to determine the typology and likely recharge source of the aquifers found in Bonoua, aiming to enhance their management. Samples from boreholes in Bonoua, located in southeastern Côte d'Ivoire, were analyzed. The lithological examination revealed the presence of sands, sandy clays, and variegated clays, with sands comprising the majority of the aquifers. Analysis of total (Nt) and segmental (Ns) evolution indices highlighted the presence of three distinct aquifers. The fluctuation in these indices indicated a prevailing NW-SE direction of paleocurrents. The Ns

indices of the sands indicate significant long-distance transport (ranging from 64% to 86%). The primary aquifer is typically found at an average depth of 64.5 meters. It is capped by an impermeable layer (roof) of variegated clay, leading to optimal water inflow. The predominant sands range from coarse (66.66% to 85.71%) to very coarse, exhibiting subrounded (16% to 53.57%) and rounded (13.04% to 40%) characteristics. Both the fine particles trapped by the coarse ones during deposition equilibrium originate from a co-genetic current. These sediments, primarily transported by saltation and typically deposited in a logarithmic ($Nt = 0$) and occasionally parabolic ($0 < Nt < 1$) facies, exhibit high classification accuracy (ranging from 83.33% to 100%). Additionally, this study identified two novel facies: the subparabolic facies ($0.05 \leq Nt \leq 0.09$) and the linear facies ($Nt = 1$). The low proportion of fines contributes to the aquifer's favorable porosity, permeability, and groundwater transmissivity. Consequently, this research confirms the presence of a single aquifer in this area, organized in a bilayer configuration separated by variegated clay serving as the roof of the exploited captive aquifer in the region. The NW-SE underground flow pattern suggests that the water stored in Bonoua originates from the Comoé River, which flows towards Bassam. Therefore, it is imperative to safeguard the watercourses encountered in the vicinity of Bassam and to the north of the study area to ensure a reliable water supply to Bonoua.

Keywords: Aquifer, evolution indices, cogenetic, logarithmic, porosity, permeability

1. Introduction

Les populations riveraines de la localité de Bonoua (Figure 1) ont connu une évolution démographique importante en passant de 42271 habitants en 2010 à 118388 habitants en 2021. Cette croissance galopante constitue un défi majeur pour les autorités dans l'approvisionnement en eau potable. De plus, l'autonomie de plusieurs entreprises en eau potable pour leur fonctionnement, leurs activités commerciales mais également pour le renforcement en eau à Abidjan (Aké, 2010 ; Djaa *et al.*, 2014) notamment dans les communes de Treichville, de Marcory, de Koumassi et de Port-Bouët (Kouamé *et al.*, 2017) deviennent des équations de plus en plus compliquées à résoudre. Afin de faire face à ces nombreux besoins en eau potable, l'on assiste à une intensification des forages hydrauliques dans la localité de Bonoua depuis quelques années. Les forages en exploitation à Bonoua captent le même aquifère du Continental Terminal (Mio-pliocène) (Kouamé *et al.*, 2017). Ce constat laisse supposer que cet aquifère serait surexploité dans la zone. Par ailleurs, les travaux réalisés dans le Sud-Est du bassin ivoirien ont abouti seulement à la caractérisation minéralogique, granulométrique et

morphoscopique des sédiments (Assalé, 2013). A Bonoua, les travaux de Gbangbot (2012) ont montré la caractérisation stratigraphique des aquifères tandis que ceux de Kouamé *et al.* (2017), ont montré que le rabattement est passé de 11362 m³/j en 2000 à 105731 m³/j en 2020. Cependant, des travaux en vue d'étudier les conditions hydrodynamiques ayant présidé à la mise en place de ces aquifères et à leur recharge ne sont pas encore abordés. L'objectif de ce travail est de contribuer à une caractérisation hydrodynamiques sédimentaires afin de déterminer la typologie et la source probable de recharge de ces nappes (aquifères) de la zone d'étude.

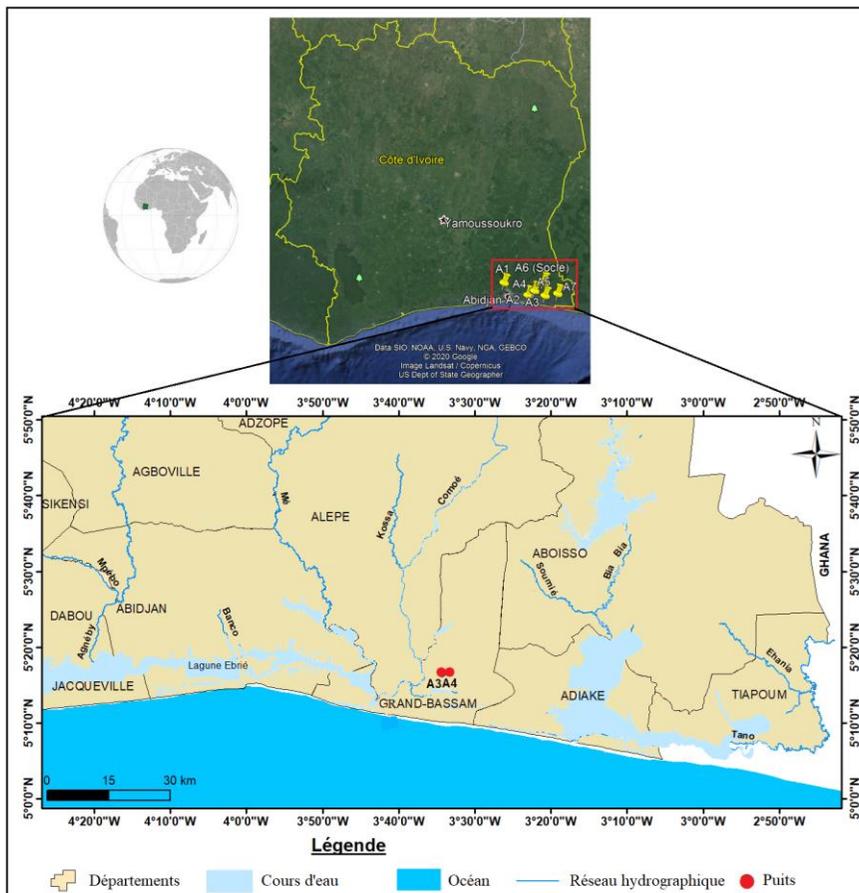


Figure 1. Situation géographique des forages A3 et A4

2. Methodologie

2-1. Etude granulométrique

Les échantillons utilisés dans ce travail sont constitués de déblais provenant de deux puits : puits A3 (Bonoua I : 3°34'19.50"W ; 5°16'35.12"N) et puits A4 (Bonoua II : 3°33'15.53"W ; 5°16'41.72"N). Le puits Bonoua II est situé à 1,5 km du puits Bonoua I. Afin de réaliser l'analyse lithologique, les

sédiments prélevés ont d'abord subi une description macroscopique pour déterminer leur couleur, leur nature (sables ou argiles) et la présence ou non de macrofossiles. Ensuite, ils ont été lavés à l'eau de robinet et séchés à l'étuve de 80°C à 100°C. Une masse de 100 grammes de chaque échantillon a été passée sur une colonne de 16 tamis de type AFNOR. Les refus ont été mesurés sur une balance électronique de type « Scouttm Pro ». Au total 179 échantillons sableux sur un total de 240 ont été traités. Les courbes cumulatives et les paramètres granulométriques obtenus par la méthodologie classique en sédimentologie ont été interprétés.

2-2. Etude hydrodynamique

Cette étude consiste à déterminer les conditions hydrodynamiques sédimentaires ou hydrosédimentologiques du milieu de dépôt des sédiments sableux c'est-à-dire à déterminer l'énergie de dépôt des sédiments. Elle se fait par la détermination des indices d'énergies (totaux et segmentaires) qui reflètent les énergies de dépôt en fonction des classes granulométriques définissant ainsi les conditions de mise en place des aquifères. Pour Rivière (1977), les courbes granulométriques cumulatives peuvent être représentées par des courbes du type : $Y = ax^N + b$. L'exposant N ou n (sachant que $n = N - 1$, d'où $N = n + 1$) est l'indice d'évolution et caractérise la courbure et le sens de la concavité de la courbe. Il est représentatif des conditions énergétiques dans le milieu transporteur. L'évaluation de N peut se faire par calcul à partir de G et de X moyenne logarithmique.

2-2-1. Détermination et signification des indices totaux

Rivière (1952) a proposé un certain nombre de paramètres et d'indices qui permettent de définir les faciès granulométriques : la moyenne logarithmique \bar{X} avec $\bar{X} = \log x (\mu\text{m}) * 10^{-2}$; l'indice d'évolution granulométrique N ; l'indice de maturation $Ma = N - Nr$ avec $Nr = 0,34228 \bar{X} - 0,82509$; Nous avons déterminé la valeur de N à partir d'un abaque (Figure 2) utilisé par Mamadou (1986).

X100 ou X0 représente le logarithme du diamètre maximum de la distribution. La constante 0,8 qui est ici une extrapolation autorisée selon Baltzer (1982) et Pimmel (1984), représente le logarithme du diamètre minimum (correspondant à 0,06 μm) que l'on peut atteindre par la technique sédimentométrique.

$$Y = 20 \log \left(\frac{X_{100} - 0,8}{\bar{X} - 0,8} - 1 \right) \text{ et } G = X_{100} - 0,8$$

Vue la convention de la construction en vigueur (la courbe cumulative évoluant des fractions grossières vers les fines), X100 correspond à X0 et les relations deviennent :

$$Y = 20 \log \left(\frac{X_0 - 0,8}{\bar{X} - 0,8} - 1 \right) \text{ et } G = X_0 - 0,8$$

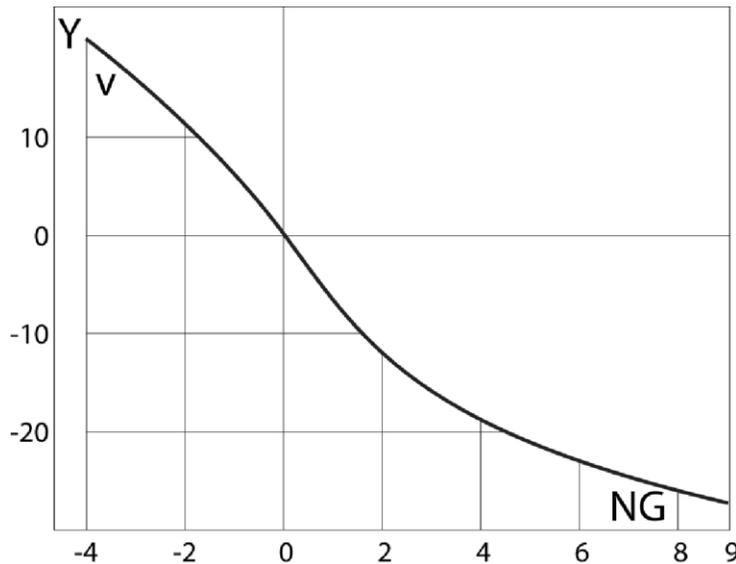


Figure 2. Détermination graphique de l'indice global d'évolution N en fonction de \bar{X} et X100, (Mamadou, 1986)

Tableau I. Différents granofaciès et leur signification (Baltzer, 1982)

N	INDICES		Concavité de la courbe		GRANOFACIÈS ET MODE DE TRANSPORT
	n	Accentuation	Sens: vers		
> 1	> 0	très forte	le haut	ultraparabolique, dépôt lévigé (granofaciès segmentaire et ponctuel seulement)	
= 1	= 0	forte	le haut	linéaire	
0 < N < 1	-1 < n < 0	variable	le haut	parabolique, dépôt par excès de charge	
= 0	= -1	nulle	nul	logarithmique, équilibre avec le courant transporteur	
< 0	< -1	variable	le bas	hyperbolique, décantation	
< -1	< -2	forte	le bas	infrahyperbolique (granofaciès segmentaire et ponctuel seulement)	

Les courbes granulométriques d'échantillons géologiques étant rarement identiques aux courbes théoriques canoniques, Rivière (1957) a distingué plusieurs populations au sein de ces courbes, correspondant chacune à un faciès granulométrique donné car répondant à une courbe en $Y = ax^N +$

b. On distingue donc deux types d'indices de Rivière : N_t ou N , l'indice total valable pour tout le sédiment et N_s , l'indice segmentaire valable pour une population donnée.

2-2-2. Calcul et signification des indices segmentaires

La méthode de construction graphique de la courbe $Y = -X + \log P$, exprimée en coordonnées bi-logarithmiques est la suivante (Figure 3) : détermination graphique, point à point, de la pente de la courbe cumulative ; tracé de $Y = -X$ avec $X = \log x$; tracé de $Y = -X + \log P$ par projection sur la courbe $Y = -X$ des points sur lesquels ont été déterminé la pente sur la courbe cumulative ; addition (point à point) sur la droite $Y = -X$ de la valeur $\log P$, si $P > 1$; ou soustraction de la valeur $\log P$, si $P < 1$; tracé de la courbe segmentaire : les points obtenus sont reliés par des droites dont la pente est l'indice segmentaire partiel.

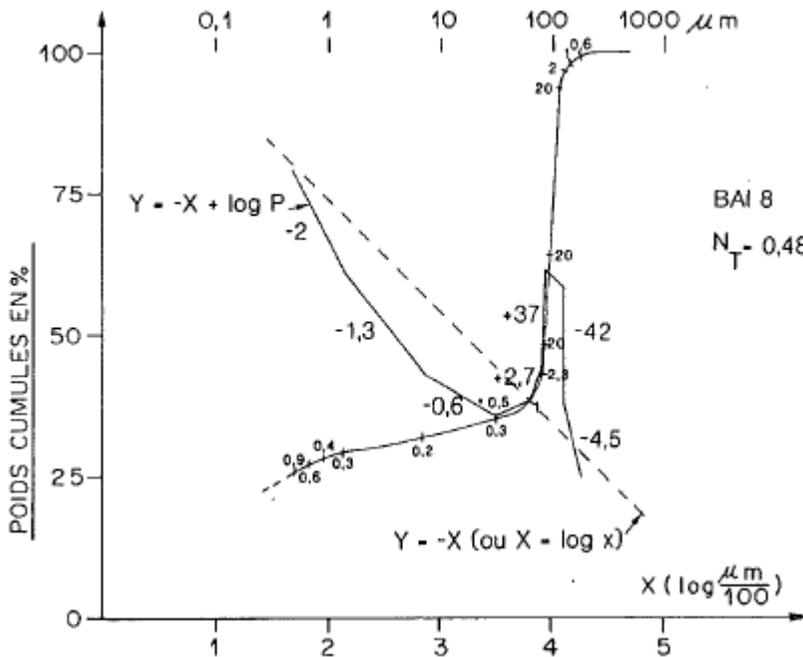


Figure 3. Détermination graphique des indices segmentaires (Pimmel, 1984)

La signification hydrodynamique des indices segmentaires se présente comme suit : le taux de transport (Figure 4a) qui est égal au pourcentage de particules transporté à l'équilibre (Baltzer, 1982 ; Pimmel, 1984) traduit l'importance du transport en distance. Dans ce travail, le transport sera faible : 0-25 % ; moyen : 25-50 % ; élevé : 50-75 % et très élevé : 75-100 %). La compétence de l'écoulement à l'équilibre (Figure 4b) est déterminée par les limites dimensionnelles du segment logarithmique ($n = -1$). Ce segment est

limité par deux tailles exprimées en microns. L'énergie de l'écoulement à l'équilibre est la limite dimensionnelle des particules grossières du segment logarithmique (Figure 4c). L'indice de tri de la fraction grossière correspond aux indices hyperboliques ou infrahyperboliques des particules grossières (1000 μm à 500 μm) et très grossières ($\geq 1000 \mu\text{m}$). Les particules de taille moyenne sont comprises entre 500 μm et 250 μm .

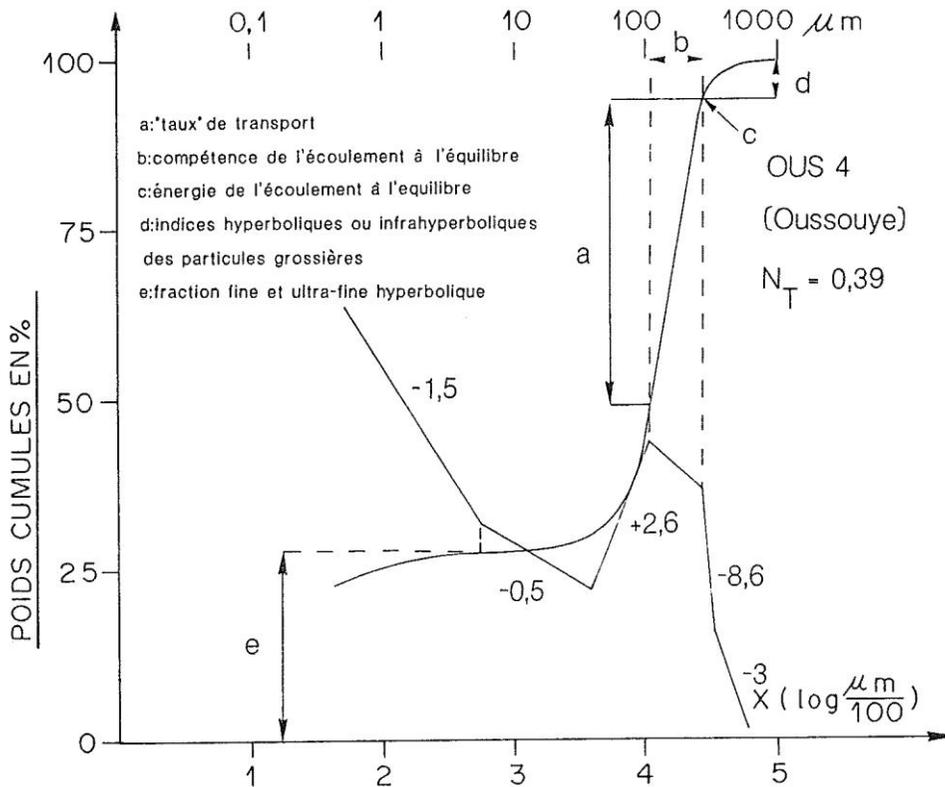
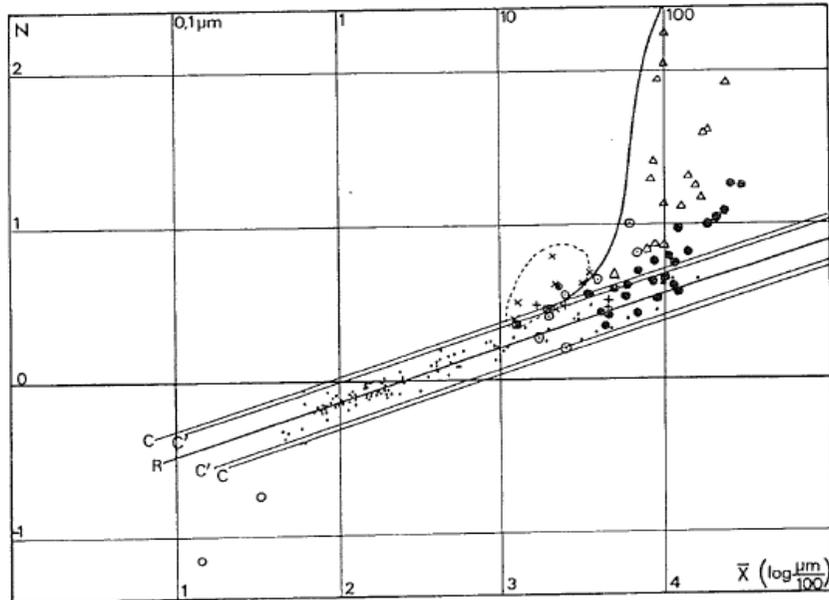


Figure 4. Exemple de détermination des données des indices segmentaires (Pimmel, 1984)

2-3. Corrélation entre l'indice d'évolution N et la moyenne X

Le diagramme N-X (Figure 5) permet de caractériser le processus de mise en place des sédiments. Il permet une différenciation des environnements de dépôt selon que le sédiment a une granulométrie normale ou anormale (Mamadou, 1986).



R : droite de régression ; c,c: intervalle de confiance à 99 %, c'c' à 95 %

Figure 5. Classification dynamique des sédiments (Baltzer, 1982 ; Pimmel, 1984 ; Mamadou, 1986)

3. Resultats et interpretation

3-1. Lithologie, granulométrie, morphoscopie et mode de transport des sédiments des puits étudiés

3-1-1. Puits Bonoua I (A3)

La coupe lithologique du puits Bonoua I (A3) de la figure 6 indique le découpage du puits de 121,42 m de profondeur. Il s'agit des sables, des argiles sableuses et des argiles. Ces unités numérotées de 1 à 6 sont réparties dans le sens de la sédimentation comme suit : 1 pour le sable grossier (121,42-72 m) ; 2 pour l'argile bariolée sableuse (72-68 m) ; 3 pour le sable très grossier (68-65 m) ; 4 pour le sable grossier (65-30 m) ; 5 pour l'argile latéritique (30-1 m) et 6 pour la terre de barre (1-0 m).

L'analyse granulométrique révèle des courbes cumulatives de type sigmoïde ou hyperbolique et logarithmique qui s'alternent. Dans l'ensemble des niveaux sableux, les valeurs des moyennes granulométriques montrent des sables grossiers (66,66 %) et des sables très grossiers (33,33 %). Les valeurs des écart-types sont à 83,33% comprises entre 0,19 et 0,34 témoignant des sables très bien classés sauf à 71 m et à 49 m de profondeur où ils sont bien classés (16,67 %). Les valeurs de skewness révèlent quatre types de sables. Il s'agit des sables presque symétriques, des sables à asymétrie vers les fins, ceux présentant une symétrie à asymétrie vers les fins et les sables de symétrie à asymétrie vers les grossiers.

La saltation (82 %) est le mode de transport dominant des sédiments de Bonoua I sauf à 71 m de profondeur où le mode de transport dominant est transitionnel et qualifié de transport traction-saltation (60 %). Le segment P'2 (mode de transport, Figure 6) a une pente supérieure au segment P2. Les sédiments de la population P'2 sont donc mieux classés que ceux de la population P2. Les sables seraient transportés dans un milieu de type fluviatile. Par ailleurs l'existence des deux populations P2 et P'2 suggère que les sables sont marins littoraux.

Au plan morphoscopique, les grains de quartz de Bonoua I sont de forme anguleuse (12 %), subanguleuse (10 %), subarrondie (16 %), arrondie (40 %) et très arrondie (14 %). Ces grains sont propres et translucides. L'aspect émoussé luisant (76 %) des grains indique un transport en milieu aqueux. La rencontre de grains multiformes à une même profondeur suggère que ceux-ci sont d'origines diverses et seraient transportés dans des conditions hydrodynamiques différentes.

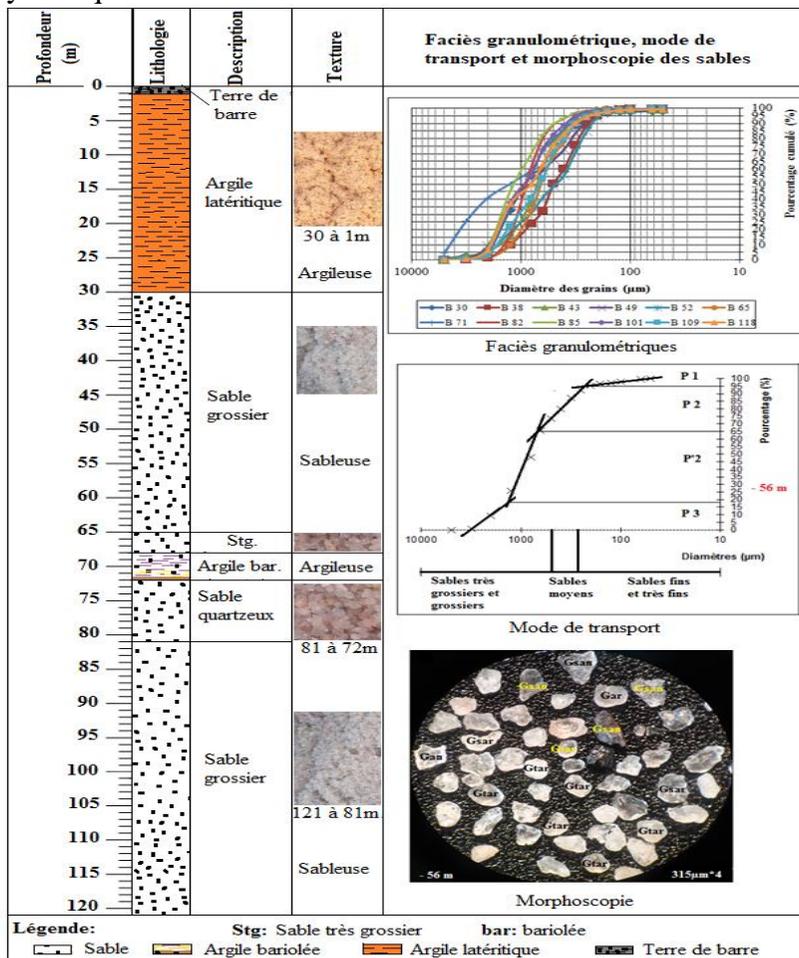


Figure 6. Coupe lithologique du puits Bonoua I (A3)

3-1-2. Puits Bonoua II (A4)

La coupe lithologique du puits Bonoua II (A4) de la figure 7 indique le découpage du puits de 121,5 m de profondeur. Il s'agit des sables, des sables argileux, des argiles sableuses et des argiles. On distingue six unités numérotées de 1 à 6 et réparties dans le sens de la sédimentation comme suit : 1 pour sables (121,5-59 m) ; 2 pour argile bariolée (59-57 m) ; 3 pour sable quartzeux (57-31 m) ; 4 pour argile sableuse (31-26 m) ; 5 pour argile latéritique (26-1 m) et 6 pour terre de barre (1-0 m).

L'analyse granulométrique des sables révèle des courbes cumulatives de type sigmoïde (logarithmique) et parabolique. La valeur de la moyenne granulométrique est égale à 1266,67 μm pour la cote 117 m. Ces sables sont très grossiers (14,29 %). Les autres valeurs sont toutes comprises entre 500 μm et 1000 μm indiquant ainsi des sables grossiers (85,71 %).

Pour l'ensemble des niveaux sableux, les valeurs des écart-types sont comprises entre 0,08 et 0,23 montrant que ces sables sont tous très bien classés (100 %). Les valeurs de skewness traduisent une asymétrie vers les fins sauf pour la cote 117 m où on a une symétrie à asymétrie vers les grossiers (-0,08) et la cote 52 m où il y a une forte asymétrie vers les éléments fins (2,12). La saltation ($P_2 + P'_2$) reste le mode de transport dominant (soit 93%) des sédiments. Les sédiments de la population P'_2 sont mieux classés que ceux de la population P_2 . Les sables ont été transportés dans un domaine de type fluvial. L'existence des deux populations P_2 et P'_2 suggère que les sables sont marins littoraux.

La morphoscopie des grains de quartz révèle des formes anguleuses (4,35 %), subarrondies (53,57 %) et arrondies (13,04 %) à faibles sphéricités mais rarement très arrondies (4,35 %) à sphéricité élevée. Ces grains sont translucides. Leur aspect émoussé luisant (95,65 %) indique un fort effet du milieu aqueux pendant le transport. La rencontre de grains multiformes à une même profondeur suggère que ceux-ci sont d'origines diverses et seraient transportés dans des conditions hydrodynamiques différentes.

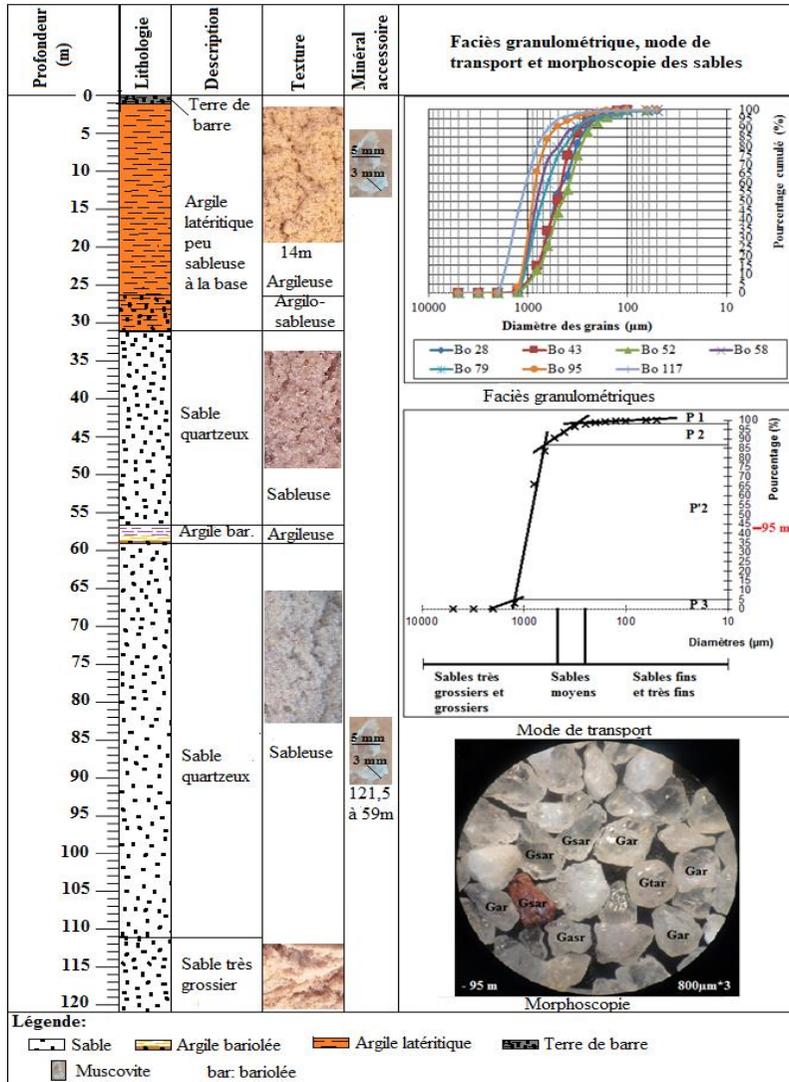


Figure 7. Coupe lithologique du puits Bonoua II (A4)

3-2. Hydrodynamisme des sédiments (hydrosédimentologie) des formations aquifères

3-2-1. Puits Bonoua I (A3)

3-2-1-1 : Indices totaux Nt

Les valeurs des indices totaux sont soit décroissantes soit croissantes. Du fond du puits jusqu'à 82 m, les indices totaux connaissent une diminution régulière. Le faciès total est de type parabolique à 109 m. Il devient logarithmique de 109 à 85 m puis hyperbolique à 82 m. Le granofaciès est de type logarithmique du fond du puits jusqu'à 85 m mais de type parabolique à 82 m. De 82 m à 43 m, les indices totaux connaissent une augmentation

régulière passant du faciès total hyperbolique à 82 m de profondeur au faciès total logarithmique à 71 m, subparabolique de 65 m à 55 m de profondeur puis au faciès total parabolique à 43 m de profondeur. Le granofaciès est de type logarithmique de 71 m à 65 m, composite (hyperbolique et logarithmique) à 52 m et à nouveau logarithmique de 49 m à 43 m. De 43 m à 30 m, les indices totaux connaissent une diminution à nouveau passant du faciès total parabolique de 43 m à 38 m de profondeur, au faciès total subparabolique entre 38 m et 34 m puis au faciès total hyperbolique à 30 m de profondeur. Le granofaciès segmentaire est de type logarithmique. Les sédiments à faciès parabolique sont déposés par excès de charge en déséquilibre avec le courant transporteur et suggère un dépôt non loin du lieu d'érosion. Les sédiments à faciès logarithmique sont déposés par excès de charge à l'équilibre avec le courant après un long transport.

3-2-1-2. Indices segmentaires Ns

Variation du taux du transport ou TT : d'une manière générale, du fond du puits jusqu'à 82 m (Figure 8-b), l'importance du transport diminue de 86 % à 64 %. Il est dit élevé ; de 82 m à 65 m, le transport augmente de 64 % à 88 % avant de diminuer globalement de 88 % à 46,25 % entre 65 m à 38 m. Le transport est dit élevé à moyen. Il augmente à nouveau de 46,25 % à 74 % de 38 m à 30 m. Il est dit moyen à élevé. Les particules de 52 m enregistrent le plus faible taux de transport (38 %).

Compétence de l'écoulement à l'équilibre ou CEE : la compétence (Figure 8-c : zone en gris) qui est moyenne du fond du forage jusqu'à 82 m, augmente de 82 m à 71 m puis diminue et reste plus ou moins constante de 65 m à 30 m.

Energie de l'écoulement à l'équilibre ou EEE : l'énergie de l'écoulement à l'équilibre (Figure 8-c : courbe marquée) est constante à 2000 μm du fond du forage jusqu'à 82 m puis augmente à 5000 μm à 71 m de profondeur avant de diminuer à 1250 μm où elle reste plus ou moins constante jusqu'à 30 m. Ces variations correspondent aux variations lithologiques. L'énergie de l'écoulement à l'équilibre est maximale dans le niveau argileux car ce dernier renferme des granules de 5000 μm qui seraient cogénétiques à l'argile.

Indices de tri des particules grossières ou IDT : D'une manière générale, les valeurs des indices de tri (Figure 8-d) ont comprises entre -0,9 et -2,2. Elles sont constantes à -1,1 du fond du forage jusqu'à 82 m. La constance de l'énergie de l'écoulement à l'équilibre à 2000 μm sur ce même intervalle suggère que cet indice est capable de trier les particules très grossières. A 71 m, l'indice de tri est -1,2. De 71 m à 30 m, les indices sont demeurés inférieurs à -1,2 et l'énergie de l'écoulement à l'équilibre y varie montrant que ces

indices ne sont pas capables de trier les particules grossières ou une classe granulométrique donnée.

Comportement de la fraction fine et/ou ultrafine ou PF-PU : la fraction fine (Figure 8-g) dérive d'un granofaciès de type parabolique à ultraparabolique sauf de 85 m à 82 m, puis de 65 m à 52 m où elle est hyperbolique. La fraction fine se corrèle toujours avec le pourcentage de particules, à faciès logarithmique, transportées à l'équilibre sauf à 52 m et à 30 m où il n'y a pas de corrélation. Cette corrélation signifie que l'écoulement responsable du dépôt des particules fines est cogénétique de celui à l'équilibre. Les fines ont été piégées par les sédiments grossiers transportés à l'équilibre. Ce piégeage pourrait diminuer la porosité voire la perméabilité de l'aquifère. Cependant, il demeure un bon aquifère grâce à la faible proportion des particules fines ($PF \leq 2,6 \%$) et de ce que ce piégeage diminuerait quand l'importance du transport augmenterait vue la corrélation négative. A 52 m et à 30 m, la fraction fine n'a pas été piégée par la fraction transportée à l'équilibre. Ces deux populations ne sont pas cogénétiques et n'ont été mélangées qu'après le dépôt.

3-2-1-3. Corrélation X, Nt : les points représentatifs des échantillons du forage Bonoua I ne sont pas tous compris dans l'intervalle de confiance de la régression (Figure 8-h), notamment ceux de 109 m, 52 m, 43 m et 38 m de profondeur. Ce fait traduit un caractère de maturation ($0 < Nt < 1 ; 4,8 \leq X \leq 4,9$). Cette maturation (Ma) égales à -0,72 et d'origine fluviale (aspect luisant dominant des grains de quartz) serait de sources diverses. Celle de 109 m est due à un long transport (86 %) par l'eau alors que celles de 52 m, 43 m et 38 m sont engendrées par un changement climatique qui aurait provoqué une crue à l'origine de l'élévation des indices totaux Nt.

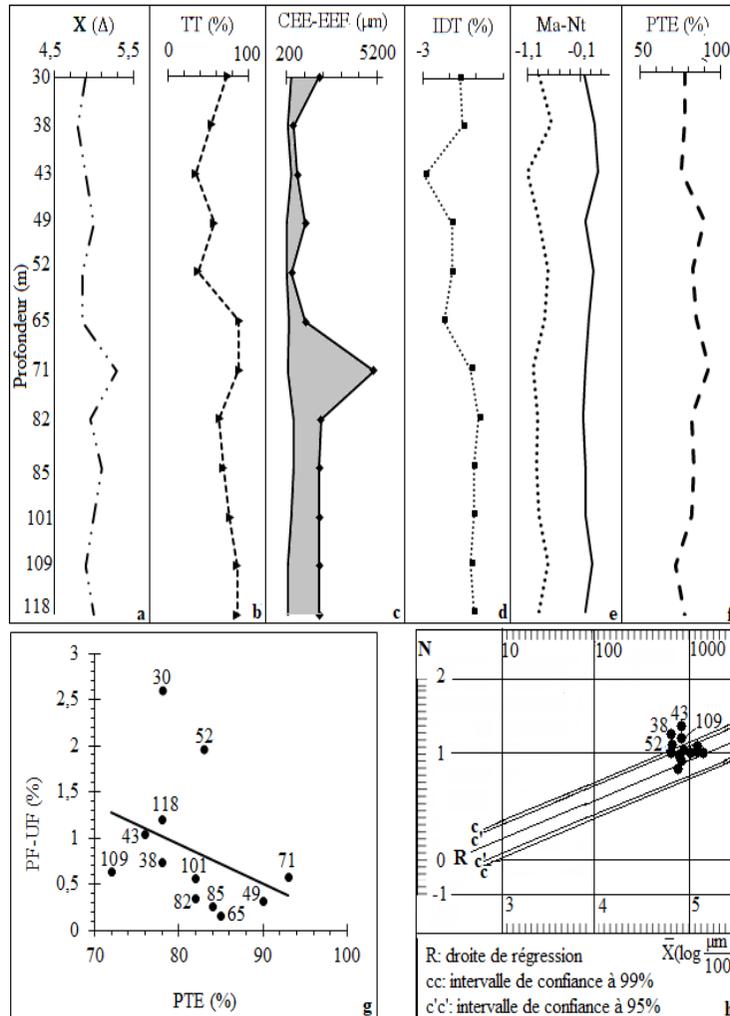


Figure 8. Corrélation des indices totaux et segmentaires (hydrodynamiques : a à f) ; corrélation du pourcentage de particules fines et/ou ultrafines par rapport au pourcentage de particules transportées à l'équilibre (g) et corrélation entre la moyenne X et Nt (h).

3-2-2. Puits Bonoua II (A4)

3-2-2-1 : Indices totaux Nt

Les valeurs des indices totaux sont soit décroissantes soit croissantes. Du fond du puits jusqu'à 58 m, les indices totaux connaissent une diminution passant du faciès total logarithmique au faciès total hyperbolique. Le granofaciès segmentaire est de type hyperbolique. De 58 m à 52 m, l'indice total passe du faciès total hyperbolique au faciès total parabolique. Le granofaciès est de type logarithmique à 52 m. De 52 m à 28 m, les indices totaux diminuent à nouveau passant du faciès total parabolique de 52 m à 43 m au faciès total logarithmique à 28 m. Les sédiments à faciès parabolique

sont déposés par excès de charge en déséquilibre avec le courant transporteur alors que les sédiments à faciès logarithmique sont déposés par excès de charge à l'équilibre avec le courant.

3-2-2-2. Indices segmentaires Ns

Variation du taux du transport ou TT : d'une manière générale, l'importance du transport (Figure 9-b) diminue du fond du puits jusqu'à 28 m. Il est dit élevé (78 % à 64 %).

Compétence de l'écoulement à l'équilibre ou CEE : la compétence (Figure 9-c : zone en gris) observe une diminution régulière depuis le fond du forage jusqu'en subsurface à 28 m.

Energie de l'écoulement à l'équilibre ou EEE : l'énergie de l'écoulement à l'équilibre (Figure 9-c : courbe marquée) diminue de 2000 μm à 1250 μm du fond du forage jusqu'à 95 m. Elle reste constante à 1250 μm jusqu'à 58 m avant de diminuer à nouveau de 1250 μm à 800 μm entre 58 m et 28 m.

Indices de tri des particules grossières ou IDT : D'une manière générale, les valeurs des indices de tri (Figure 9-d) diminuent du fond jusqu'en subsurface et varient entre -0,1 et -2,3. Elles sont comprises entre -0,1 et -0,5 du fond du forage jusqu'à 58 m et l'énergie de l'écoulement à l'équilibre est constante à 1250 μm sur ce même intervalle. Les valeurs de l'indice de tri sont comprises entre -1 et -2,3 de 58 m à 28 m avec des particules de 800 μm .

Comportement de la fraction fine et/ou ultrafine ou PF-PU : la fraction fine (Figure 9-g) dérive d'un granofaciès de type parabolique à ultra parabolique ($N_t > 1$) ou linéaire ($N_t = 1$) à 95 m. Les particules fines et celles transportées à l'équilibre sont cogénétiques à 58 m, 43 m et 28 m. Les fines ont été piégées par les sédiments à l'équilibre. Le pourcentage de particules fines est faible ($PF \leq 2,47 \%$) et ne sont pas cogénétiques aux particules transportées à l'équilibre de 117 m à 79 m et à 52 m. La fraction fine n'a donc pas été piégée par la fraction transportée à l'équilibre. Ces deux populations n'ont été mélangées qu'après le dépôt. Cette absence de piégeage augmente la porosité et la perméabilité de l'aquifère.

3-2-2-3. Corrélation X, Nt : les points (Figure 9-h) représentatifs des échantillons du forage Bonoua II ne sont pas tous compris dans l'intervalle de confiance de la régression, notamment à 52 m et 43 m et 38 m. Ce fait traduit un caractère de maturation ($0 < N_t \leq 1$; $X = 4,7$). Les valeurs de la maturation (Ma) sont supérieures ou égales à -0,67. L'absence de faune marine ne suggère pas une origine marine de cette maturation. Elle serait d'origine fluviale (aspect luisant dominant des grains de quartz) certainement due à un long transport (74 % à 64 %) dans le milieu aqueux.

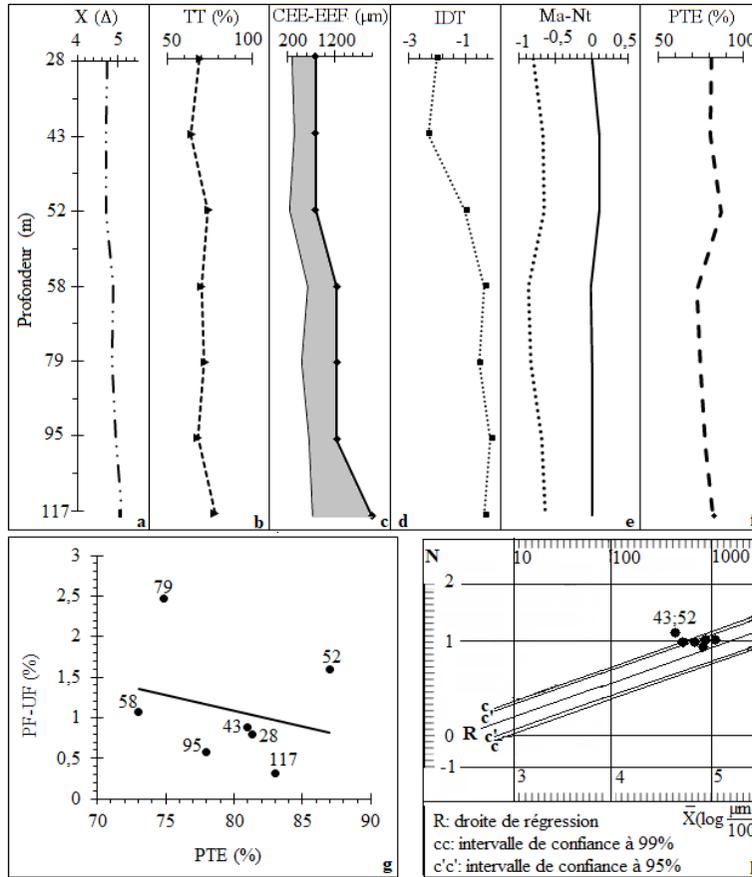


Figure 9. Corrélation des indices totaux et segmentaires (hydrodynamiques : a à f) ; corrélation du pourcentage de particules fines et/ou ultrafines par rapport au pourcentage de particules transportées à l'équilibre (g) et corrélation entre la moyenne X et Nt (h).

3-3. Corrélation hydrodynamique et cartographie des aquifères de Bonoua

Le tracé (Figure 10-A) des isogrades (courbe d'égal indice Nt) et la variation des faciès granulométriques ont permis de mettre en évidence la répartition des différentes classes granulométriques. La variation de la moyenne granulométrique montre une diminution de Bonoua I à Bonoua II. La moyenne diminue de 873,33 μm à 513,33 μm (43 m), de 766,67 μm à 503,33 μm (52 m) et de 1900,00 μm à 71 m (Bonoua I) à 800,00 μm à 58 m (Bonoua II). La variation de la moyenne granulométrique (dans les deux puits) couplée à celle des faciès granulométriques ont permis de déterminer le sens du paléocourant (Figure 10-B). Le courant ayant présidé au dépôt des trois aquifères I, II et III, était fort à Bonoua I et diminuait en direction de Bonoua II. Les aquifères II et III forment un seul aquifère car ils ne sont pas séparés par une formation imperméable.

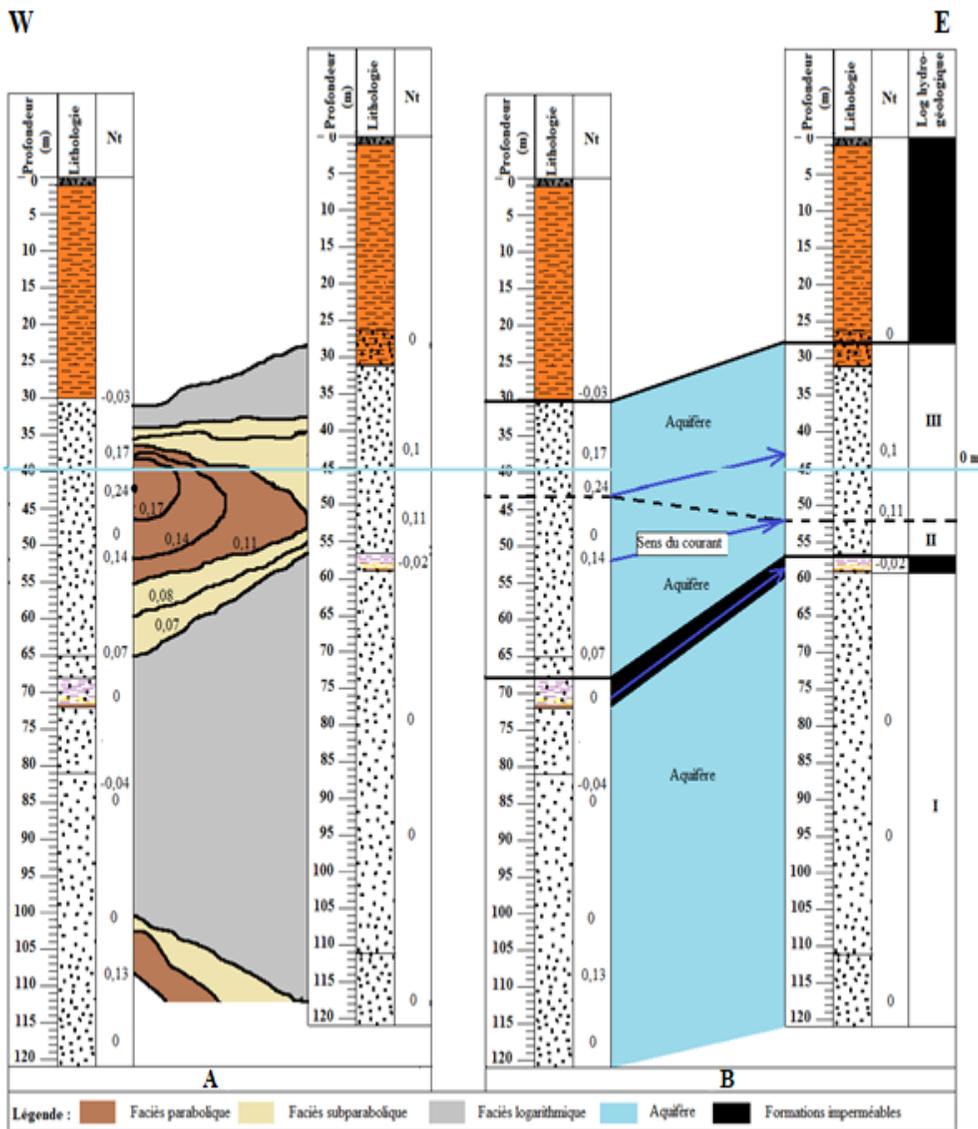


Figure 10. Cartographie des isogrades Nt (A) et des aquifères (B)

3-4. Caractérisation du système aquifères de Bonoua

Trois aquifères ont été distingués dans la zone d'étude. Les aquifères II et III ne constituent qu'un seul car il n'y a pas de formation imperméable qui les sépare. Les aquifères I et II sont séparés par de l'argile bariolée qui se présente en biseau. Finalement, on a un seul aquifère qui se différencie en deux ou trois aquifères en fonction de la zone dans un contexte de paléogéographie. La strate sableuse rencontrée au fond des puits fait plus de 49 m d'épaisseur à Bonoua I et 62,5 m à Bonoua II. Les arrivées d'eau y ont été observées. Cette formation qui constitue l'aquifère (I) principal est surmontée d'un niveau

d'argile bariolée de faible épaisseur qui en est le toit. Il se situe à 64,5 m en moyenne et est exploité pour l'alimentation en eau potable de la population riveraine. Sa puissance augmente de l'Ouest à l'Est. L'équipement des forages a été exécuté en retenant cette formation comme la zone de captage de la nappe. A Bonoua I, l'aquifère est caractérisé par un faciès logarithmique (60 %), parabolique (20 %) et hyperbolique (20 %). Les sables sont très bien classés (86,66 %), grossiers (60 %) à très grossiers (40 %) et de forme arrondie (40 %) à subarrondie. A Bonoua II, l'aquifère est caractérisé par un faciès logarithmique (100 %). Les sables sont également très bien classés (100 %), grossiers (66,67 %) à très grossiers (33,33 %) et dominé de forme subarrondie (53,57 %). Un bon aquifère est fondamentalement lié au bon classement des particules que par la taille des particules même si elle est demeure importante.

4. Discussion

L'étude lithologique à Bonoua montre des sables, des argiles sableuses et des argiles qui définissent des aquifères homogènes latéralement, continus et très perméables mais d'extension latérale complexe (Aghui et Biémi, 1984 ; Jourda, 2002 ; Kouassi *et al.*, 2014). On rencontre globalement à Bonoua, un seul aquifère qui se décompose en deux (Kouassi *et al.*, 2014) ou trois couche. Les sables majoritairement grossiers sont très bien à bien classés et de faciès parabolique ou logarithmique (Baltzer, 1982 ; Pimmel, 1984 ; Aka, 1991). La lithologie, la granulométrie et la porosité du principal aquifère sont identiques à celui de Dabou (Gbangbot, 2019). La variation de la moyenne granulométrique dans chaque puits laisse paraître un granoclassement positif qui suggère un dépôt de type turbidite (Aka, 1991 ; Fournier *et al.*, 2012). La variation des indices N_t montre une direction NW-SE des paléocourants. Selon Aké (2010) cette direction est NS. La rencontre de grains multiformes à une même profondeur suggère que ceux-ci sont d'origine diverse (Assalé, 2013). Les sédiments sont généralement sujets d'un long transport (64 % à 86 %) qui serait à l'origine de la maturation de certains sédiments ayant un faciès parabolique avec $X > 3,2$ (Pimmel, 1984). Les particules fines présentent un faciès segmentaire de type parabolique à ultraparabolique. Ce résultat ne diffère pas fondamentalement de celui de Pimmel (1984) qui stipule que les fines ont un faciès segmentaire parabolique. Cette étude montre une fraction fine de faible proportion, piégée par les grossières à l'équilibre pendant le dépôt et donc déposée dans un milieu plus au moins agité (Brahim et Abdelfattah, 2009). Dans le cas de Pimmel (1984) cette fraction est importante et s'est déposée dans un milieu calme.

Conclusion

Ce travail a caractérisé les aquifères exploités dans la localité de Bonoua en s'appuyant sur les caractéristiques lithologiques et

hydrodynamiques des sédiments prélevés dans les deux forages exécutés. Les niveaux sableux constituent des aquifères et les argiles, imperméables, forment les murs et les toits de ces aquifères. Les indices d'évolution N, total (Nt) et segmentaire (Ns), définis ont révélé que les sédiments des aquifères sont majoritairement d'un faciès total de type logarithmique. Ces sédiments multiformes d'origine fluviatile ont subi un long transport (par saltation) à l'origine de leur maturation. Elle peut être due au phénomène de crue dans un contexte de changement climatique suggéré par des indices totaux élevés. Les particules très grossières et grossières sont pour la plupart cogénétiques avec la fraction fine selon un système de piégeage des fines par les grossières à l'équilibre. La faible proportion de la fraction fine confère une très bonne porosité et une bonne perméabilité à l'aquifère avec des grains presque homogènes et très bien classés. L'analyse de la variation des indices totaux et celle de la lithologie dans les deux puits a permis de proposer un essai de cartographie satisfaisante de ces aquifères. Cette localité présente un aquifère unique mais avec des caractéristiques lithologiques et hydrodynamiques qui varient d'une zone à l'autre.

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.

Références:

1. AGHUI N. & BIEMI J. (1984). Géologie et hydrogéologie des nappes de la région d'Abidjan. Risques de contamination. Annales des Sciences Naturelles, Côte d'Ivoire, série C, volume 20, 34 p.
2. AKA K. (1991). La sédimentation quaternaire sur la marge de Côte d'Ivoire : essais de modélisation. Thèse Doctorat Etat, ès Sciences Naturelles, Université Côte d'Ivoire, numéro 146. 233 p.
3. AKE, G. E. (2010). Impacts de la variabilité climatique et des pressions anthropiques sur les ressources hydriques de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat, 3^è cycle. Université de Cocody, Abidjan. 207 p.
4. ASSALE Y. (2013). Caractérisation sédimentologique, palynologique, Géochimique et paléoenvironnementale des formations sédimentaires connexes à la faille des lagunes (Est du bassin Onshore, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, 3^è cycle. Université de Cocody, Abidjan. 401 p.

5. BALTZER F. (1982). Géodynamique de la sédimentation et diagénèse précoce sur un delta tropical à mangroves en domaine ultrabasique (Nouvelle-Calédonie). Thèse, Université Paris Sud - Orsay. 284 p.
6. BRAHIM M. & ABDELFAH A. (2009). Dynamique sédimentaire et répartition granulométrique des sédiments de surface dans la frange littorale Ras Taguermess-Ras Marmour (Golfe de Gabes). Bulletin, Institut Nationale Sciences et Technologie. Volume 36. 19 p.
7. DJAA K. A., TAPE Z. P., & KARIM B. (2014). Le secteur de l'eau en République de Côte d'Ivoire, Swelia, le réseau des entreprises du cycle de l'eau, 15 p.
8. FOURNIER J., BONNOT-COURTOIS C., PARIS R., & LEVOT M. (2012). Analyses granulométriques, principes et méthodes. Centre National de Recherche Scientifique, Dinard, 100 p.
9. GBANGBOT J-M. K. (2012). Caractérisation stratigraphique des aquifères des formations de subsurface de la région des lagunes de côte d'ivoire : essai de modélisation des environnements de dépôts du Tertiaire. Thèse de Doctorat, 3ème cycle. Université Cocody, Abidjan. 196 p.
10. GBANGBOT J-M. K., YAO N. J. P., NIANGORAN K. C., & SORO G. (2019). Caractérisation lithostratigraphique et hydrodynamique de deux puits dans la région de Dabou (Sud de la Côte d'Ivoire). Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences. Vol. 10, No. 1. 12 p.
11. JOURDA J-P. (2002). Les ressources en eau souterraine de la Côte d'Ivoire et le cas des aquifères transfrontaliers entre la Côte d'Ivoire et le Ghana.
12. KOUAME K. J., AKE G. E., KOBLAN A. K., DJE K. B., & JOURDA J. P. (2017). Simulation de l'évolution du rabattement de la nappe de Bonoua (Sud-Est, Côte d'Ivoire) par modélisation hydrogéologique. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, numéro 32, 23 p.
13. KOUASSI A. K., KOUASSI F. W., MANGOUA J. O. M. & ISSIAKA S. (2014). Modèle conceptuel de l'aquifère du Continental Terminal d'Abidjan. Environmental and Human Dimensions Proceedings of Friend-Water, Montpellier, France, International Association of Hydrological Sciences, 19 p.
14. MAMADOU F. (1986). Environnements sédimentaires quaternaires et actuels des tourbières des niayes de la grande côte du Sénégal. Thèse de Doctorat, 3e cycle, sédimentologie, Université Dakar, 153 p.
15. PIMMEL A. (1984). Contribution à l'étude sédimentologique des mangroves de Casamance (Sénégal) : étude granulométrique et exoscopique. Thèse de Doctorat de spécialité, 3ème cycle géologie, Institut de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France,

- 132 p. RIVIERE A. (1952). Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles. Bulletin, Société Géologique Française, 155 p.
16. RIVIERE A. (1957). Sur le caractère intrinsèque de l'indice d'évolution de la méthode des faciès granulométriques. Comptes Rendus Académie des Sciences, 244 p.
17. RIVIERE, A. (1977). Méthodes granulométriques, techniques et interprétation, Paris, Masson, 170 p.
18. VERNHET S. & RIVIERE A. (1976). Interprétation sédimentologique des paramètres granulométriques X et N. Notion d'évolution granulométrique normale. Distributions granulométriques anormales. Indice de maturation. Comptes Rendus Académie des Sciences. 18 p.

Facteurs Associés à la Consommation des AINS en Automédication chez les Patients vus en Rhumatologie à Abidjan

***Kollo Nzima Brice
Bamba Aboubakar
Condé Aboubacar
Mendo Irène
Kpami Nina
Coulibaly Yaya
Coulibaly Abidou Kawélé
Diomandé Mohamed
Eti Edmond***

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

***Koffi Joseph Enoch
Kouakou Ehaulier***

Service de rhumatologie CHU de Bouaké, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p236](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p236)

Submitted: 21 February 2024

Accepted: 22 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Kollo N.B., Bamba A., Condé A., Mendo I., Kpami N., Coulibaly Y., Coulibaly A.K., Diomandé M., Eti E., Koffi J.E. & Kouakou E. (2024). *Facteurs Associés à la Consommation des AINS en Automédication chez les Patients vus en Rhumatologie à Abidjan*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 236. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p236>

Résumé

Objectif: Identifier les facteurs associés à la consommation des AINS en automédication par les patients vus en rhumatologie à Abidjan.

Méthodologie: Etude transversale et analytique menée au sein du service de rhumatologie du CHU de Cocody (Abidjan) du 1er Février 2023 au 31 Juillet 2023, portant sur 388 patients présentant des douleurs ostéoarticulaires venus en consultation de rhumatologie et ayant pratiqué une automédication aux AINS quel que soit la voie d'administration, la durée de consommation et l'ancienneté. Nous avons recherché une corrélation entre les facteurs socio-démographiques, cliniques et l'automédication aux AINS.

Résultats : La fréquence hospitalière de consommation des AINS en automédication était de 76,67% soit 388 sur 506 personnes recensées pendant la période d'étude. L'effectif comprenait 257 femmes (66,20%) et 131 hommes (33,80%) avec un âge moyen de 52 +/- 16 ans [Extrêmes : 8 et 84 ans]. La catégorie socio-professionnelle dominante était le secteur informel (35,80%). La majorité des patients était scolarisée (85,10%) avait un niveau socio-économique bas (77,30%) et vivait en milieu urbain (88,90%). Les AINS étaient consommés en majorité pour des rachialgies (70,10%) et des rachialgies avec radiculalgies (64,17%), chroniques (75,50%) mécaniques (63,70%) d'installation progressive (85,80%). Le diclofénac appartenant à la famille des arylcarboxyliques (89,20%) était l'AINS le plus utilisé (76,28%) pour une durée de consommation de moins de 14 jours (75,20 %). Le lieu de prédilection de fourniture en AINS des patients était la pharmacie (76%) et la rue (51,50%) avec une efficacité partielle sur la douleur (79,90%). Les patients avaient une satisfaction mitigée après la prise des AINS (64,70%) et jugeaient leur attitude d'automédication mauvaise (70,60%). Les principales raisons motivant l'automédication étaient l'accessibilité (66,85%) et le conseil d'un tiers (52,83). Le niveau d'étude ($p = 0,046$), le niveau socio-économique ($p = 0,039$) et l'intensité de la douleur ($p = 0,011$) influençaient la prise d'AINS en automédication.

Conclusion: La fréquence de consommation des AINS en automédication est très élevée à Abidjan et les facteurs déterminant cette consommation sont le niveau d'étude, le niveau socio-économique et l'intensité de la douleur.

Mots-clés: Facteurs déterminant - AINS - Automédication - Abidjan

.Factors Associated with Self-Medication with NSAIDs in Rheumatology Patients in Abidjan

Kollo Nzima Brice

Bamba Aboubakar

Condé Aboubacar

Mendo Irène

Kpami Nina

Coulibaly Yaya

Coulibaly Abidou Kawélé

Diomandé Mohamed

Eti Edmond

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

Koffi Joseph Enoch

Kouakou Ehaulier

Service de rhumatologie CHU de Bouaké, Côte d'Ivoire

Abstract

Objective: To identify the factors associated with self-medication with NSAIDs by patients seen in rheumatology in Abidjan.

Methodology: A cross-sectional, analytical study was conducted in the rheumatology department of the CHU of Cocody (Abidjan) from 1st February 2023 to 31st July 2023, involving 388 patients with osteoarticular pain seen in rheumatology consultations who had done self-medication with NSAIDs, irrespective of the route of administration, duration of use and length of time on the drug. We looked for a correlation between socio-demographic, clinical factors, and self-medication with NSAIDs.

Results: The hospital frequency of self-medication with NSAIDs was 76.67%, i.e. 388 out of 506 people surveyed during the study period. There were 257 women (66.20%) and 131 men (33.80%) with an average age of 52 +/- 16 years [extremes: 8 and 84 years]. The dominant socio-professional category was the informal sector (35.80%). The majority of patients were educated (85.10%), had a low socioeconomic level (77.30%) and lived in urban areas (88.90%). NSAIDs were mainly used for chronic (75.50%), mechanical (63.70%) and progressive (85.80%) rachialgia (70.10%) and rachialgia with radiculalgia (64.17%). Diclofenac, a member of the arylcarboxylic family (89.20%), was the most commonly used NSAID (76.28%), with a duration of use of less than 14 days (75.20%). The preferred place of supply for NSAIDs was the pharmacy (76%) and the street (51.50%), with partial efficiency on pain (79.90%). Patients had mixed satisfaction after taking NSAIDs (64.70%)

and considered their self-medication attitude to be poor (70.60%). The main reasons for self-medication were accessibility (66.85%) and advice from a third party (52.83%). Level of education ($p=0.046$), socioeconomic status ($p=0.039$) and pain intensity ($p=0.011$) influenced self-medication with NSAIDs.

Conclusion: The frequency of self-medication with NSAIDs is very high in Abidjan, and the factors determining this consumption are level of education, socio-economic status and pain intensity.

Keywords: Determinants - NSAIDs - self-medication – Abidjan

Introduction

Du fait de leurs propriétés multiples, les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) constitue une des classes thérapeutiques les plus utilisées dans le monde (Blain & al, 2000). Comme tous les médicaments, ils contiennent une toxicité potentielle qui est d'autant plus importante s'ils sont consommés en automédication (Wirth & al, 2006 ; ANSM, 2013). Selon l'OMS, l'automédication « consiste dans le fait qu'un individu recourt à un médicament, de sa propre initiative ou de celle d'un proche, dans le but de soigner une affection ou un symptôme qu'il a lui-même identifié, sans avoir recours à un professionnel de santé (WHO, 2000). C'est un phénomène mondial et sa prévalence en Afrique varie entre 27,2% et 91,4% (Rashid & al, 2020 ; Wijesinghe & al, 2012 ; Jaleta & al, 2016 ; Osemene & al, 2012). Les motivations, les méfaits et les médicaments concernés par l'automédication ont été rapportés dans la littérature (Wijesinghe & al, 2012 ; Ndol & al, 2013 ; Ouédraogo & al, 2015 ; Keltoum & al, 2021 ; Awad & al, 2006). Dans notre contexte, des études sur l'automédication à d'autres médicaments ont été menées (Angbo-Effi & al, 2011 ; Souaga & al, 2000 ; Hounsa & al, 2010). Cependant à notre connaissance, il n'en existe aucune sur l'automédication spécifiquement aux AINS. C'est ce qui a motivé la réalisation de cette étude dont l'objectif général était d'identifier les facteurs associés à la pratique de l'automédication aux AINS chez les patients, afin de sensibiliser la population sur la nécessité d'abandonner cette pratique à cause de ses méfaits sur la santé.

Patients et méthode

Il s'est agi d'une étude transversale et analytique menée au service de rhumatologie du CHU de Cocody d'Abidjan sur une période allant du 1^{er} février au 31 juillet 2023. Elle a porté sur 388 patients venus pour des douleurs ostéoarticulaires en consultation de rhumatologie au moins une fois et ayant fait une automédication aux AINS quelle que soit la voie d'administration, la durée de consommation et l'ancienneté. Nous nous sommes intéressés aux paramètres suivants : données socio-démographiques (fréquence hospitalière,

âge, genre, catégorie socio-professionnelle, situation matrimoniale, niveau socioéconomique (NSE), niveau d'étude et provenance), données cliniques (antécédents des patients, motif d'utilisation des AINS, caractère de la douleur (mode de début, horaire, intensité, siège, durée d'évolution), données thérapeutiques (les médicaments/molécules, classes d'AINS, durée de consommation d'AINS, source d'approvisionnement, raisons de l'automédication et résultats sur la douleur). Pour le volet analytique, nous avons formé deux groupes : un groupe de patients ayant fait une automédication et un groupe contrôle de patients n'ayant pas fait une automédication. Nous avons confronté ces deux groupes aux facteurs sociodémographiques et cliniques pour rechercher les facteurs associés à l'automédication. Le test du Chi² a servi pour la comparaison des proportions et la détermination de l'existence des associations entre les facteurs socio-démographiques, cliniques, thérapeutiques et l'automédication. Le test de Fisher a été réalisé quand il était approprié. Le test paramétrique d'ANOVA a permis de comparer les moyennes de variables quantitatives dans les groupes de patients ayant pratiqué ou non une automédication. Le risque d'erreur a été fixé à 5 %. Le rapport de côtes ou Odd Ratio (OR) a été calculé pour déterminer le lien entre les facteurs socio-démographiques, cliniques et l'automédication.

Le niveau socio-économique (NSE) a été défini de façon arbitraire. Il est considéré comme bas si le patient réunissait moins de 250.000 F CFA (382 euros) par mois, moyen lorsqu'il réunissait entre 250.000 F CFA et 500.000 F CFA (763 euros) par mois et élevé si le revenu était supérieur à 500.000 F CFA par mois. L'intensité de la douleur a été évaluée selon l'échelle numérique (EN) : douleurs légères ($1 \leq EN \leq 3$), douleurs modérées ($4 \leq EN \leq 6$) et douleurs fortes ($7 \leq EN \leq 10$).

Resultats

La fréquence hospitalière de consommation des AINS en automédication était de 76,67% soit 388 sur 560 personnes recensées pendant la période d'étude. L'effectif comprenait 257 femmes (66,20%) et 131 hommes (33,80%) avec un âge moyen de 52+/-16 ans [Extrêmes : 8 et 84 ans]. La figure I mentionnait les catégories socioprofessionnelles.

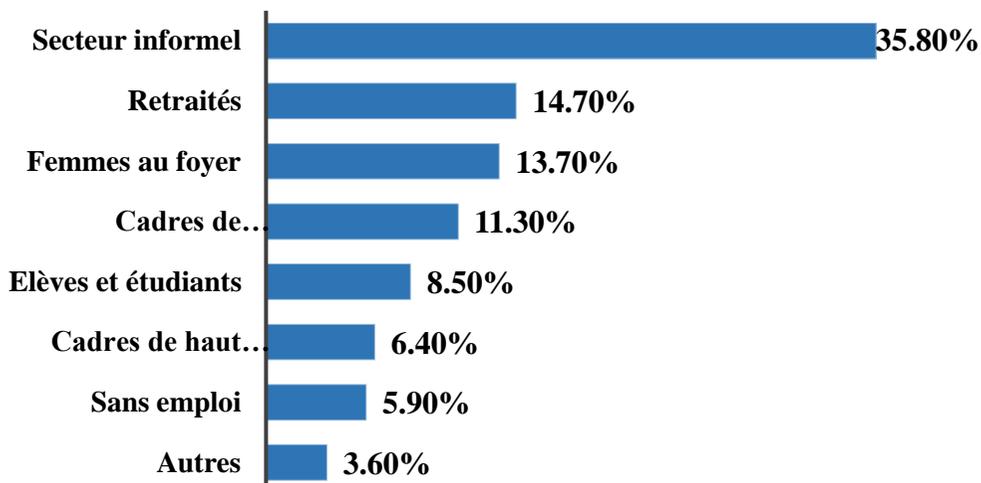


Figure 1. Répartition des patients selon les catégories socioprofessionnelles

Le NSE était bas (77,30%), moyen (17,50%) et élevé (5,20%). Les patients étaient scolarisés (85,10%), non scolarisés (14,90%), vivaient en milieu urbain (92,06%) et rural (7,40%). L'automédication était significativement associée au niveau d'étude ($p=0,046$) et au NSE ($p=0,039$). Le tableau I ressort l'association entre les facteurs sociodémographiques et l'automédication.

Tableau I. Association entre les facteurs sociodémographiques et l'automédication

Facteurs sociodémographiques	Automédication (+)	Automédication (-)	OR (IC à 95%)	P
Age moyen	52 ±16	53±14,7		0,341
Sexe Masculin	131	33		0,143
Féminin	257	85		
Niveau d'études				0,046
Scolarisé	330	95	1,109 (1,026-1,348)	
Non scolarisé	58	23		
Statut Matrimonial				0,823
Célibataire	84	24		
Concubinage	33	7		
Divorcé(e)	15	5		
Marié(e)	203	62		
Veuf(ve)	53	20		
Provenance				0,267
Rurale	43	10		
Urbaine	345	108		
Niveau socio -économique				0,039
Bas	300	97	1,158 (1,052-1,543)	
Moyen/élevé	88	21		

Les antécédents retrouvés étaient l’hypertension artérielle (25,77%), l’ulcère gastro-duodénal (14,94%), le diabète (9,8%), les infections (3,6%) et la drépanocytose (1,3%). Les motifs de consommation des AINS sont exposés sur la figure 2.

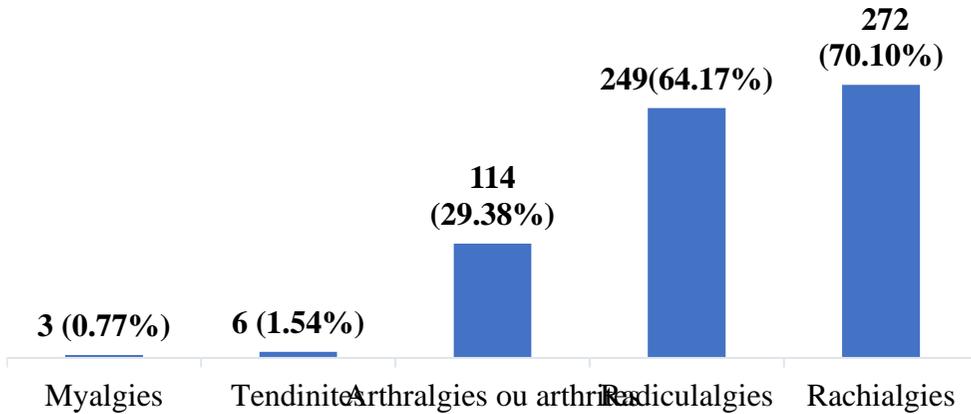


Figure 2. Répartition des patients selon le motif d’utilisation des AINS

Les rachialgies comprenaient la lombalgie (86,80%), dorsalgie (22,40%), cervicalgie (7,70%), fessalgie (0,40%). Les douleurs étaient aiguës (8,00%), subaiguës (16,50%) et chroniques (75,50%), mécaniques (63,70%) et inflammatoires (36,30%) d’installation progressive (85,80%) et brutale (14,20%). Les patients avaient des douleurs d’intensité légère (2,80%), modérée (69,10%) et forte (28,10%). L’automédication était significativement associée à l’intensité de la douleur ($p=0,011$). Le Tableau II expose l’association entre les caractères de la douleur et l’automédication.

Tableau II. Association entre les caractères de la douleur et l’automédication

Caractère de la douleur	Automédication (+)	Automédication (-)	OR	P
Horaire				
Mécanique	247	80		0,239
Inflammatoire	141	38		
Mode de début				
Brutal	55	17		0,308
Progressif	333	46		
Evolution				
Aiguë	31	12		0,751
Subaiguë	64	20		
Chronique	293	86		
Intensité				
Légère	11	8	1,448	0,011
Modérée	268	83	(1,184-2,207)	
Sévère	109	27		

Les AINS les plus consommés appartenait à la famille des Arylcarboxyliques (89,2%) suivi des Oxicams (6,7%), Coxibs (6,7%), Fenamates (2,1%) et Salicylés (0,3%). Le Tableau III répartit les molécules d'AINS consommés.

Tableau III. Répartition selon les molécules d'AINS consommés

	Effectif	Pourcentage
Diclofénac	296	76,28
Ibuprofène	46	11,85
Acéclofenac	29	7,47
Ketoprofene	29	7,47
Piroxicam	30	7,70
Acide niflumique	08	2,06
Etoricoxib	14	3,60
Celecoxib	12	3,09
Acide acétylsalicylique	01	0,25

Nombreux sont les patients (75,20%) qui consommaient les AINS dans une courte durée (moins de 14 jours), comparativement à ceux qui les consommaient entre 14 et 30 jours (17%), entre 30-90 jours (6,40%), au-delà de 90 jours (1,90%). L'AINS en automédication n'avait aucune efficacité sur la douleur (11,30%), une efficacité partielle (79,90%) et complète (8,80%). La pharmacie (76%), la rue (51,5%), la pharmacie familiale (9,8%) et les tiers (9,3%) constituait les lieux d'approvisionnement en AINS. Les raisons motivant l'automédication sont mentionnées dans le tableau IV.

Tableau IV. Répartition selon les raisons de l'automédication

	Effectif	Pourcentage
Accessibilité (espace et temps)	259	66,85
Conseil d'un tiers	205	52,83
Efficace par expérience antérieure	165	42,5
Manque de moyens financiers	143	36,85
Délivrance sans ordonnance	112	28,9
Vente en détail	24	6,2
Identique à ceux vendu en pharmacie	14	3,6

Les patients étaient influencés par des amis (64,87%), publicité (20,48%), famille (14,63). Les patients avaient une satisfaction mitigée après la prise des AINS (64,70%) et jugeaient leur attitude d'automédication mauvaise (70,60%).

Discussion

Au plan socio-démographique

La fréquence hospitalière de consommation des AINS en automédication dans notre série (76,67%) concordait avec la situation décrite dans la littérature mondiale, variant entre 59% et 81,8% (excepté l'Occident)

et pouvait s'expliquer par le faible niveau d'accès aux soins ; d'où le recours facile à l'automédication (Ndol & al, 2013 ; Angbo-Effi & al, 2011 ; Sallam & al, 2009 ; Ngo & al, 2010 ; Al-Ghamdi & al, 2020 ; Dean & al, 2018).

La relative jeunesse de la population dans notre étude (52+/- 16 ans) était observée ailleurs en Afrique et en Asie (33 ans et 42,4 ans), contrairement à l'Occident où la population est vieillissante (Ndol & al, 2013 ; Sallam & al, 2009 ; Gobir & al, 2017 ; Makita-ikouaya & al, 2020 ; Shafie & al, 2018 ; Divya & al, 2016 ; Michele Dion & al, 2015 ; UNFPA, 2016). Nos patients étaient majoritairement scolarisés (85,10%) comme retrouvé dans la littérature (Ndol & al, 2013 ; Keltoum & al, 2021 ; Awad & al, 2006 ; Sallam & al, 2009 ; Shafie & al, 2018 ; Hesberta & al, 2012 ; Michele Dion & al, 2015 ; Lecocq-Verdin & al, 2014 ; Gupta & al, 2011 ; Ouane, 2004). Ces patients qui semblaient instruits s'accordaient à se soigner seuls.

Il y avait une association significative entre le niveau d'études et la pratique de l'automédication dans notre étude ($P=0,046$). Le NSE bas dans notre étude (77,30%) était retrouvé dans la littérature subsaharienne et asiatique et pourrait être lié aux conditions économiques modestes de ces pays (Awad & al, 2006 ; Angbo-Effi & al, 2011 ; Shafie & al, 2018 ; Gupta & al, 2011). L'automédication offre une « fausse » alternative bon marché aux personnes n'ayant pas les moyens d'honorer une consultation.

Dans notre étude, il y avait une association significative entre le niveau socio-économique et l'automédication ($P=0,039$). La catégorie socio-professionnelle majoritaire était celle du secteur informel (35,80%). Le même constat a été fait en Afrique subsaharienne où l'économie est dominée par le secteur informel (Souaga & al, 2000 ; Gobir & al, 2017 ; Ouane, 2004 ; Hamani, 2005). Dans ce secteur, les médicaments de la rue se développent plus facilement, les AINS sont accessibles et en vente libre. Toutefois, la catégorie socio-professionnelle n'était pas liée à l'automédication dans notre étude.

Au plan clinique

Les AINS étaient consommés en majorité pour des rachialgies (70,10%) dont la lombalgie était la plus fréquente (86,8%) comme observée dans la littérature africaine et occidentale dans des proportions allant de 17,20% à 40,30% (Ouédraogo & al, 2015 ; Anger, 2019 ; Guilliano, 2019 ; Sivry, 2014 ; Sinclair & al, 2000). C'est le premier motif des consultations en rhumatologie (Diomande & al, 2013 ; Koffi-Tessio & al, 2021). Dans notre étude, l'intensité de la douleur était modérée (69,10%) tandis que les littératures africaine et asiatique rapportaient une majorité des patients avec des douleurs d'intensité forte (Ouédraogo & al, 2015 ; Chindhalore & al, 2020). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que notre étude regroupait les pathologies rhumatismales qui dans leur majorité sont d'installation

progressive dans le temps et généralement mieux tolérées. L'intensité de la douleur était associée à l'automédication ($P=0,011$).

Au plan thérapeutique

Le diclofénac était l'AINS le plus consommé dans notre étude (76,28%) comme dans des études réalisées en RDC (Ndol & al, 2013) en RDC et en Algérie (Keltoum & al, 2021). Une étude réalisée dans notre contexte en 2013 par Diomandé et al avait montré que le kétoprofène dominait à cette époque (Diomandé & al, 2013). En Asie, le diclofénac dominait également de même qu'en Amérique du Sud avec respectivement 14% et 22% (Chindhalore & al, 2020 ; Fuentes&al,2008). En Occident, l'ibuprofène occupait la 1ère place (Sivry, 2014 ; Néant, 2017 ; Nunes & al, 2016). Cette différence pourrait s'expliquer par la grande disponibilité, accessibilité du diclofénac dans notre contexte aussi bien dans les officines que dans les « pharmacies par terre ». Les pharmacies (76%) et la rue (51,5%) constituaient les principaux lieux d'approvisionnement en AINS. Ce qui était retrouvé dans les études africaines et asiatiques (Jaleta & al, 2016 ; Osemene & al, 2012 ; Ouédraogo & al, 2015 ; Keltoum & al, 2021 ; Souaga & al, 2000 ; Shafie & al, 2018 ; Guilliano,2020 ; Néant, 2017 ; Ocan & al ;2014 ; Suleman & al, 2009 ; Phalke & al, 2006). Dans les pays en voie de développement, la vente à la sauvette des médicaments dans les abords des rues, dans les marchés, les cars de transports sont courants avec un risque d'usage de médicaments contre-faits, périmés ou mal conservés. L'accessibilité (mauvais accueil par le personnel soignant, temps important de réception, personnel insuffisant), le conseil d'un tiers, l'efficacité sur la base des expériences antérieures et le manque de moyens financiers, étaient les principales raisons du recours à l'automédication évoquées par les patients. Ceci concordait avec la littérature (Ouédraogo & al, 2015 ; Keltoum & al ; Souaga & al,2000 ; Sallam & al, 2009 ; Ngo & al, 2010 ; Shafie & al, 2018 ; Divya & al, 2016 ; Sivry, 2014 ; Guilliano, 2019 ; Fuentes & al, 2008 ; Suleman & al, 2009 ; Phalke & al, 2006). En Afrique, la vie en communauté très forte pourrait expliquer l'influence de l'entourage dans l'automédication. Aussi, les patients devant les longues files d'attente en consultation et le nombre de médecins insuffisant font recours à une solution individuelle afin de gagner du temps.

Conclusion

La fréquence de consommation des AINS en automédication est très élevée à Abidjan. Le niveau d'études, le NSE et l'intensité de la douleur sont les facteurs déterminant la pratique de l'automédication aux AINS chez les patients.

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. Agence nationale de sécurité du médicament (ANSM). Rappel des règles de bon usage des anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS). (2013) Journal Européen des Urgences et de Réanimation ; 25(3–4):197–200.
2. Awad, AI., Eltayeb, IB., Capps, PA. (2006). Self-medication practices in Khartoum State, Sudan. *Eur J Clin Pharmacol*;62(4):317–24.
3. Angbo-Effi, KO., Kouassi, DP., Yao, GHA., Douba, A., Secki, R., & Kadjo, A. (2011). Facteurs déterminant la consommation des médicaments de la rue en milieu urbain. *Santé Publique*;23(6):455–64
4. Al-Ghamdi, S., Alfauri, TM., Alharbi, MA., Alsaihati, MM., Alshaykh, MM., Alharbi, AA., & al. (2020) Current self-medication practices in the kingdom of Saudi Arabia: An observational study. *Pan Afr Med J*;37(51):1–16.
5. Anger V. (2019). Automédication par anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) : état des lieux des connaissances et des pratiques de patients dans la Somme en 2018. Thèse Med. Amiens : Univ Picardie Jules Verne; 68p.
6. Blain, H., Jouzeau, JY., Netter, P., & Jeandel, C. (2000). Les anti-inflammatoires non stéroïdiens inhibiteurs sélectifs de la cyclooxygénase 2. Intérêt et perspectives. *Rev Med Interne* ; 21(11):978–88.
7. Chindhalore, CA., Dakhale, GN., & Giradkar AB. (2020). Comparison of self-medication practices with analgesics among undergraduate medical and paramedical students of a tertiary care questionnaire - based study. *J Educ Health Promot* ;9:309.
8. Commission économique pour l'Afrique. (2016). Profil démographique de l'Afrique. Addis-Abéba: UNFPA ; 1-78.
9. Diomandé, M., Bamba, A., Traoré, A., Kpami, Y., Coulibaly, Y.,

- Coulibaly, A., Djaha, KJM., Gbané, M., Ouattara, B., Daboiko, JC., & Eti, E. (2020). Données épidémiologiques en hospitalisation rhumatologique à Abidjan (Côte d'Ivoire). *Revue Africaine de Médecine Interne* ;7(1-2):22-30.
10. Dean J, Lugo M. (2018). *Poverty and shared prosperity 2018*. Washington : World bank Group ; 201 p.
 11. Divya, M., Bharatesh, S., & Vasudeva, G. (2016). Self-medication among adults in urban Udupi Taluk, Southern India. *Int J Med Public Heal*;6(3):126-9.
 12. Diomandé, M., Ouali, B., Eti, E., Kouakou, ESCL., Brou, K., Gbané, M., Djaha, M., Ouattara, B., & Kouakou, MN. (2013). Indications, efficacité et tolérance des anti-inflammatoires non stéroïdiens : à propos de 602 prescriptions au service de rhumatologie du CHU Cocody d'Abidjan. *Rev Cames Santé* ;1(2): 93-8.
 13. Fuentes, K., Zapata, & Lorenzo V. (2008). Analysis and quantification of self-medication patterns of customers in community pharmacies in southern Chile. *Pharm World Sci*;30:863-8.
 14. Guilliano A. (2020). Enquête sur la connaissance des anti-inflammatoires non stéroïdiens consommés en automédication menée auprès de 203 patients reçus au service de consultation générale de l'hôpital de l'université d'État d'Haïti au cours du mois de septembre 2019. Thèse Med. Port-au-Prince : Univ Haïti ; 69p.
 15. Gobir, A., & Sambo, SSB. (2017). Assessment of pattern of non-steroidal anti-Inflammatory drugs (NSAIDS) use among residents of a north central nigerian city. *Trop J Heal Sci*;24(4):1-6.
 16. Gupta, P., Bobhate, PS., & Shrivastava, SR. (2011). Determinants of self medication practices in an urban slum community. *Asian J Pharm Clin Res*;4(3):54-7.
 17. Hamani A. (2005). Les médicaments de la rue à Niamey : Modalités de vente et contrôle de qualité de quelques médicaments anti-infectieux. Thèse Med. Bamako : Univ Bamako; 140p.
 18. Hesberta, A., Louisa, V., Curisb, E., Briotc, K., Gossecc, L., Poireaudeaud, S., & al. (2012). L'automédication en rhumatologie. *Pharm Hosp Clin* ;47:S11-S95.
 19. Hounsa, A., & Kouadio, PDM. (2010). Automédication par les antibiotiques provenant des pharmacies privées de la ville d'Abidjan en Côte d'Ivoire. *Med Mal Infect*;40:333-40.
 20. Jaleta, A., Tesema, S., & Yimam, B. (2016). Self-medication practice in Sire town, west Ethiopia : a cross-sectional study. *Cukurova Med J*;41(3):447-52.
 21. Keltoum, T., & Amina, N. (2021). Automédication par les anti-inflammatoires non stéroïdiens. *Mémoire Med. Guelma* : Université 8

- Mai 1945 ; 95p.
22. Koffi-Tessio, V., Oniankitan, S., Hé, C., Atake, A., Kakpovi, K., Yibe, F., Mba, E., Fianyoy, E., Houzou, P., Oniankitan, O., & Mijiyawa M. (2021). Profil épidémio-clinique des patients en primo-consultation rhumatologique au CHU Sylvanus Olympio (Lomé-Togo) Rhum Afr Franc; 4 (1) : 1 – 6.
 23. Lecocq-Verdin AL. (2014). Automédication par AINS : avantages et inconvénients. Thèse Pharm. Rouen : Univ Rouen ; 174p.
 24. Michele Dion M. (2015). Le vieillissement. L'Europe en Formation ; 3 (377) : 46-60.
 25. Makita-ikouaya E. (2020). Les déterminants du recours à l'automédication chez les malades vivant dans la commune de libreville (Gabon). Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement ;1:148–58.
 26. Matoukova, P., Dosedel, M., Růžková, B., & Kubena, A. (2013). Information and awareness concerning ibuprofen as an ingredient in over the counter analgesics: A questionnaire-based survey of residents of retirement communities. Acta Pol Pharm;70(2):333–8.
 27. Ndol, FMI., Bompeka, FL., Dramaix-Wilmet, M., Meert, P., Malengreau, M., & Mangani NN. (2013). Self-medication among patients admitted to the emergency department of Kinshasa university hospital. Santé Publique;25(2):233–40.
 28. Ngo, SNT., Stupans, I., Leong, WS., & Osman M. (2010). Appropriate use of non-prescription ibuprofen: a survey of patients perceptions and understanding. Int J Pharm Pract;18(1):63–5.
 29. Néant R. (2017). Effets indésirables des anti-inflammatoires non stéroïdiens et automédication : quel est l'impact dans le temps d'un outil d'information écrite sur les connaissances des patients ?. Thèse Med. Bourgogne : Univ Bourgogne; 73p.
 30. Nunes, AP., Costa, IM., & Costa FA. (2016). Determinants of self-medication with NSAIDs in a Portuguese community pharmacy. Pharmacy Practice ;14(1):1–9.
 31. Ocan, M., Bwanga, F., Bbosa, GS., Bagenda, D., Waako, P., Ogwal-J., & al. (2014). Patterns and predictors of self-medication in northern Uganda. PLoS One ;9 (3) : 1–7.
 32. Ouane M. (2004). Analyse de la dispensation des anti-inflammatoires en milieu officinal à Bamako : cas de 30 officines. Thèse Med. Bamako : Univ Bamako; 77p.
 33. Osemene, KP., & Lamikanra, A. (2012). A study of the prevalence of self-medication practice among university students in southwestern Nigeria. Trop J Pharm Res;11(4):683–9.
 34. Ouédraogo, D., Tiendrebeogo, JWZ., Zongo, E., Kakpovi, KG.,

- Kaboré F., Drabo, JY., & al. (2015). Prevalence and factors associated with self-medication in rheumatology in Sub-Saharan Africa. *Eur J Rheumatol*;2(2) : 52–6.
35. Phalke, V., Phalke, B., & Durgawale, M. (2006). Self-medication practices in rural Maharashtra. *Indian J Community Med* ;31(1):35-6
 36. Rashid, M., Chhabra, M., Kashyap, A., Undela, K., & Gudi, SK. (2020). Prevalence and predictors of self-medication practices in India : a systematic literature review and meta-analysis. *Curr Clin Pharmacol* ;15(2):90–101.
 37. Shafie, M., Eyasu, M., Muzeyin, K., Worku, Y., & Martín-Aragón, S. (2018) Prevalence and determinants of self-medication practice among selected households in Addis Ababa community. *PLoS One*;13(3):1–20.
 38. Suleman, S., Ketsela, A., & Mekonnen Z. (2009). Assessment of self-medication practices in Assendabo town, Jimma zone, southwestern Ethiopia. *Res Soc Adm Pharm*;5(1):76–81.
 39. Sivry P. (2014). Anti-Inflammatoires non stéroïdiens consommés en automédication evaluation du niveau de connaissance de 334 patients de cabinets de médecine générale des Alpes-Maritimes. Thèse Med. Nice : Univ Nice Sophia-antipolis; 66p.
 40. Sinclair, HK., Bond, CM., & Hannaford, PC. (2000). Over-the-counter ibuprofen: how and why is it used?. *Int J Pharm Pract*;8(2):121–7.
 41. Souaga, K., Adou, A., Amantchi, D., Kouame, P., & Angoh, Y (2000). L'automédication au cours des affections bucco-dentaires en milieu urbain ivoirien. Résultats d'une enquête dans la région d'Abidjan. *Odontostomatol Trop* ;23(90):29–34.
 42. Sallam, SA., Khallafallah, NM., Ibrahim, NK., Okasha, AO. (2009). Pharmacoepidemiological study of self-medication in adults attending pharmacies in Alexandria, Egypt. *East Mediterr Heal J*;15(3):683–91.
 43. Wirth, H., Hürlimann, R., & Flückiger, T. (2006). Les AINS et les inhibiteurs de la COX-2: principaux effets indésirables. *Forum Médical Suisse*;6(12):284–90.
 44. World health Organization (WHO). Guidelines for the regulatory assessment of medicinal products for use in self medication. Genève : WHO ; 2000 : 30p.
 45. Wijesinghe, P., Jayakody, R., & Seneviratne, R. (2012). Prevalence and predictors of self-medication in a selected urban and rural district of Sri Lanka. *WHO South-East Asia J Public Heal*;1(1): 28-4

Perception des Exploitants Familiaux Producteurs de Maïs sur les Perturbations Climatiques dans l'Hinterland de Lubumbashi : Région du Haut-Katanga, RDC

Laurent Kabala Kazadi

John Tshomba Kalumbu

Département d'Economie Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi-RD Congo

Robert Monga Ilunga Dikoshi

Département de Gestion de Ressource Naturelle et Renouvelable, Unité de
recherche en en Agrométéorologie et évaluation des terres, Faculté des
Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, Lubumbashi-RD Congo

Augustin Nge Okwe

Département d'Economie Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi-RD Congo

Moïse Kalambaie

Département d'Economie Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques,
Université Pédagogique Nationale, Kinshasa-RD Congo

Jules Nkulu Mwine Fyama

Département d'Economie Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi-RD Congo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n9p250](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p250)

Submitted: 03 December 2023

Accepted: 25 March 2024

Published: 31 March 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Kazadi L.K., Kalumbu J.T., Dikoshi R.M.I., Okwe A.N., Kalambaie M. & Fyama J.N.M. (2024). *Perception des Exploitants Familiaux Producteurs de Maïs sur les Perturbations Climatiques dans l'Hinterland de Lubumbashi : Région du Haut-Katanga, RDC*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (9), 250. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p250>

Résumé

Cette étude explore la manière dont les perturbations climatiques sont perçues par les agriculteurs familiaux qui produisent du maïs, notamment dans l'Hinterland de Lubumbashi. L'objectif de ce travail est de comprendre comment les exploitants familiaux de la région du Haut-Katanga en République Démocratique du Congo perçoivent les dérèglements climatiques et leurs impacts. Lors de discussions avec des agriculteurs familiaux de cinq

villages, une approche d'enquête directe guidée par un questionnaire a évalué les niveaux de connaissances et les perceptions des parties prenantes sur le dérèglement climatique, ses causes potentielles et ses impacts apparents. Les données collectées ont été traitées et analysées statistiquement à l'aide du programme SPSS V25.0. Les résultats montrent que 95 % des agriculteurs percevaient les perturbations climatiques caractérisées par une reprise tardive des précipitations, des périodes de sécheresse plus longues qu'il y a plus de dix ans, une hausse des températures diurnes moyennes, des jours de plus en plus ensoleillés et une baisse du niveau d'eau des puits et des rivières. Les agriculteurs conviennent que ces perturbations ont un impact sur la productivité des cultures de maïs et que les pratiques actuelles telles que les feux de brousse, l'agriculture sur brûlis, la jachère, etc. sont non seulement peu durables mais peuvent également conduire à un dérèglement climatique. En conséquence, les agriculteurs de l'Hinterland de Lubumbashi sont témoins des perceptions climatiques et des effets qu'elles peuvent infliger au secteur. Cette étude montre que la perception des acteurs du dérèglement climatique n'entraîne pas de changements dans leurs pratiques agricoles actuelles en proportion des effets perçus et subits.

Mots-clés: Perception, Perturbations climatiques, Exploitants familiaux, Hinterland de Lubumbashi, Haut-Katanga, RDC

Perceptions of Maize-Producing Family Farmers on Climatic Disturbances in the Lubumbashi Hinterland: Haut-Katanga Region, DRC

Laurent Kabala Kazadi

John Tshomba Kalumbu

Département d'Economie Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi-RD Congo

Robert Monga Ilunga Dikoshi

Département de Gestion de Ressource Naturelle et Renouvelable, Unité de
recherche en en Agrométéorologie et évaluation des terres, Faculté des
Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, Lubumbashi-RD Congo

Augustin Nge Okwe

Département d'Economie Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi-RD Congo

Moïse Kalambaie

Département d'Economie Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques,
Université Pédagogique Nationale, Kinshasa-RD Congo

Jules Nkulu Mwine Fyama

Département d'Economie Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques,
Université de Lubumbashi, Lubumbashi-RD Congo

Abstract

This study examines how climate disruptions are perceived by family farmers who produce maize, particularly in the Hinterland of Lubumbashi. This work aims to understand how family farmers in the Haut-Katanga region of the Democratic Republic of Congo perceive climate disruptions and their impacts. Through direct interviews with family farmers in five villages using a guided questionnaire, the study evaluated their knowledge and perception of climate disruptions, potential causes, and visible impacts. The collected data was statistically processed and analyzed using SPSS V25.0. The results show that 95% of farmers perceived climate disruptions characterized by delayed rainfall, longer drought periods compared to over a decade ago, increased average daytime temperatures, increasingly sunny days, and decreased water levels in wells and rivers. Farmers agree that these disruptions impact maize crop productivity and that current practices such as bushfires, slash-and-burn agriculture, fallow fields, etc. are unsustainable and could exacerbate climate disruptions. Therefore, family farmers in the Hinterland of Lubumbashi witness the climate perceptions and the effects they can inflict on their sector. This study reveals that the actors' perception of climate disruption does not

result in changes in their current agricultural practices proportional to the perceived and experienced effects.

Keywords: Perception, Climate Disruptions, Family Farmers, Hinterland of Lubumbashi, Haut-Katanga, DRC

1. Introduction

Les impacts négatifs du dérèglement climatique deviennent de plus en plus inquiétants pour les exploitants agricoles du monde en général et ceux particulièrement des pays en développement en raison des capacités d'adaptation voire de résilience limitées (Boenventura, 2018). A cette incapacité, s'ajoute la dépendance du système des productions agricoles familiales au climat et à bien d'autres paramètres tant techniques que fonctionnels dont dépend la récolte (Mushagalusa *et al.*, 2021 ; Cirad, 2014 ; Bélières *et al.*, 2014). Cela implique des efforts supplémentaires afin de répondre de manière satisfaisante à l'accroissement démographique (Sabaï *et al.*, 2014 ; Sadia, 2014).

Les émissions de gaz à effet de serre entraînent la modification de la composition de l'atmosphère, à la base du dérèglement climatique qui affecte l'ensemble du secteur agricole, en particulier l'agriculture familiale (Kabore *et al.*, 2019). Ceci impacte négativement la production agricole à travers des événements tels que : des précipitations irrégulières, des moyennes de température inhabituelles et des sécheresses (Omerkhil *et al.*, 2020 ; Kasongo et Mosombo, 2017 ; Chanzy *et al.*, 2015 ; Caquet, 2014)

Par ailleurs, la République Démocratique du Congo dispose d'un potentiel en ressources naturelles, qui constitue un atout de résilience pour son agriculture familiale face au changement climatique (MEDD, 2015 ; Lunza, 2013), mais il est important de comprendre comment allouer pleinement toutes ses ressources, afin de promouvoir le développement économique (Banque mondiale, 2011). Le secteur agricole de la République démocratique du Congo, notamment dans la province du Haut-Katanga, demeure parmi les plus importants au monde car, dominé par les exploitations agricoles familiales (FAO, 2014). Ces exploitations agricoles fournissent des revenus considérables aux familles d'une part et assurent le confort des familles agricoles d'autre part (Mushagalusa *et al.*, 2015 ; FAO, 2014 ; Kitsali, 2013 ; OCDE/CSAO, 2013). Cependant, cette forme d'agriculture qui constitue la base des moyens de subsistance de 70 % de la population du pays (Tshomba, 2019) demeure en fait, rudimentaire avec des pratiques sur brûlis et dépendante de la répartition des pluies, ce qui dénote une faible performance rendant l'agriculture familiale incapable de s'auto-suffire en aliments de base dont le maïs (Lunza, 2013 ; Kitsali, 2013).

Plusieurs études mettent en évidence les nombreuses inquiétudes autour des conséquences néfastes du changement climatique sur l'environnement et les activités agricoles, car ces conséquences déplorables pourraient avoir un impact sur la sécurité alimentaire mondiale (PNA FAO, 2022 ; OECD, 2022). Selon Soungalo et al (2015), les événements climatiques extrêmes mettent en péril les équilibres écologiques pouvant induire la dégradation des ressources naturelles. Le rapport de Devp (2016), enchérit que ces événements sont attribuables à 90% aux actions anthropiques dont 13% reviennent à l'agriculture. D'où l'interpellation sur l'importance de la meilleure politique d'adaptation, considérant que l'agriculture contribue par ses pratiques aux perturbations climatiques, et pourrait également fonctionner comme puits de carbone (Broudic et Razafindrianilana, 2020 ; GIEC, 2014 ; Cissé, 2014 ; Gnanglé, 2012).

En effet, la prise de conscience par le biais de la perception de l'ampleur du dérèglement climatique et la menace qu'il présente à l'égard du secteur agricole familial, constitue le préambule dans la démarche d'une bonne gestion voire la promotion des meilleures politiques d'adaptation ou de résilience (Kasongo et Sombo, 2017). En outre, l'imprégnation de la relation interactionnelle entre le climat et l'agriculture, doit à tout prix définir les modes d'exécution des activités agricoles (Hathie *et al*, 2015 ; Kitsali, 2013). La présente étude cherche à répondre aux préoccupations suivantes : comment les exploitants familiaux de l'Hinterland de Lubumbashi perçoivent-ils les perturbations climatiques ? et quelle incidence la perception a sur les pratiques culturelles actuelles ? L'étude a fait recours aux interviews lors des enquêtes et analyses économétriques des données collectées en vue de vérifier les hypothèses telles que : le profil socioéconomique et démographique de l'exploitation influencerait la perception des ménages vis-à-vis de perturbations climatiques (i) ainsi la perception des perturbations climatiques au sein d'une exploitation agricole familiale en déterminerait relativement les conséquences et les stratégies d'adaptation (ii).

2. Matériels et Méthodologie

2.1. Milieu de l'étude

L'étude a été réalisée entre Septembre 2019 et mars 2020, dans l'Hinterland de la ville de Lubumbashi, spécifiquement dans cinq sites à savoir : **Kifita** (11°27'16.30"S de Lat. ; 27°32'74.60"E de Long. et 1248,6m d'Alt.), **Kiswishi** (11°32'13.90''S de Lat. ; 27°28'5.07"E de Long et 1246m d'Alt.), **Mukoma** (11°39'11.79"S de Lat. ; 27°19'26.21"E de Long et 1223m d'Alt.), **Sambwa** (11°47'29.92"S de Lat. ; 27°38'38.29"E de Long et 1531 d'Alt.) et **Sela** (11°20'23.00"S de Lat. ; 27°36'20.40"E de Long. et 1219,3m d'Alt.).

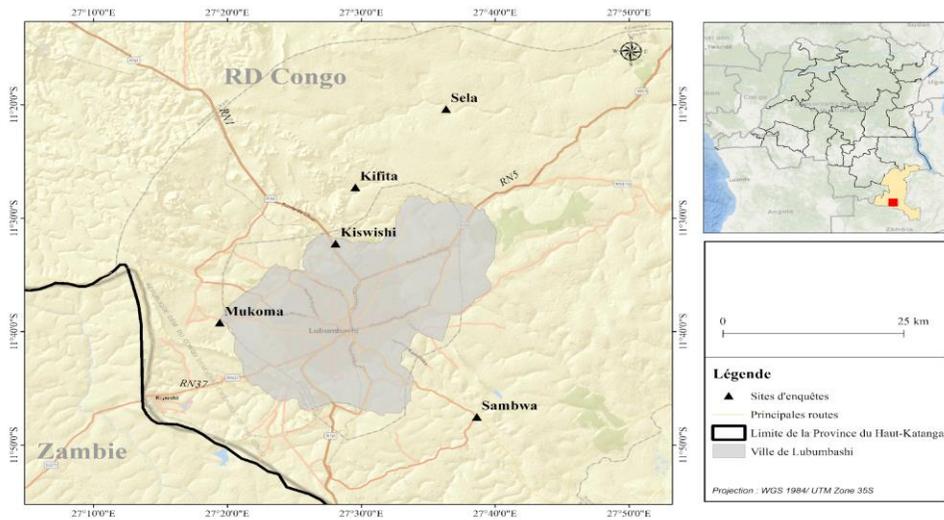


Figure 1. Sites d'enquêtes dans région Hinterland de Lubumbashi

2.2. Méthodologie

Cette étude a recouru à l'approche quantitative basée sur la technique d'interviews directes avec les exploitants lors les enquêtes. Les échanges ont été guidés par un questionnaire préalablement établi dont le contenu se rapportait au profil socioéconomique de l'exploitation familiale (genre, âge, niveau d'étude, statut civil...), à la perception et caractéristiques des perturbations climatiques (pluviométries, Températures, niveau de chaleur, durée de sécheresse...) et également sur les techniques culturelles récurrentes. La taille de l'échantillon (**N**) a été définie par une approche non probabiliste. Selon Cochran ; $N = \frac{(z)^2 \times p \times (1-p)}{(\alpha)^2}$. Avec **z** : degré de confiance (1,96) ; **p** : Proportion des exploitants agricoles familiaux dans les site d'enquêtes, ayant également des connaissances sur le changement climatique (0,85) et **α** : marge d'erreur (0,05). Cela étant, 223 exploitants ont fait l'objet des interviews lors des enquêtes à raison de 50 exploitants à Kifita, 50 à Kiswishi, 49 exploitants à Sambwa et 37 exploitants respectivement à Mukoma et Sela. Par ailleurs, les cinq sites retenus pour cette étude, étant à vocation agropastorale et minière, deux raisons ont principalement motivé leur choix notamment : la proximité d'avec la ville de Lubumbashi (à moins de 50 Km) avec une facile accessibilité d'une part, et l'évidence d'être sous la couverture de deux stations météorologiques locales dont celle de Luano et de Kipopo, d'autre part.

En effet, la perception sur la variabilité des paramètres tels que : la température, la pluviométrie, l'ensoleillement, le vent, le niveau d'eau, la disparition et/ou la rareté des espèces végétales et animales ; ont constitué les variables expliquées. Tandis que l'âge, le genre, l'expérience agricole, les

techniques culturelles ont été considérés comme variables explicatives. Les données relatives à la perception des exploitants agricoles sur le changement climatique ont été collectées, encodées et traitées statistiquement grâce au tableur Excel (2016) et le logiciel SPSS V25.0. Les analyses descriptives et de corrélation avec le test de Chi carré (X^2), ont permis d'analyser ces données et d'évaluer la perception et les connaissances des acteurs sur le dérèglement climatique. Les variables climatiques utilisées dans cette étude comme données secondaires, ont été obtenues des bases des données des stations météorologiques locales (station de Kipopo et de Luano) pour une période allant de 1996 à 2016, et ces dernières ont permis d'apprécier la perception faite par les différents exploitants enquêtés.

3. Résultats et discussion

3.1. Situation Climatique de la ville et l'Hinterland de Lubumbashi entre 1996 et 2016

Cette situation relève de l'analyse des données secondaires de stations météorologiques couvrant la ville de Lubumbashi et son Hinterland dans un rayon de 50 Km environ. L'analyse de ces données prélevées au cours de deux décennies (1996 – 2016) a au fait, servi de concilier et d'apprécier en effet, la véracité dans la perception faite par les exploitants. Ces données portaient sur la pluviométrie, la température, le taux d'humidité et la vitesse de vent.

Le graphique 2 ci-après renseigne remarquablement que les **Précipitations** moyennes annuelles de la ville de Lubumbashi, ont été caractérisées par une forte variabilité au cours de deux dernières décennies, d'où une tendance en dents de scie, avec l'année 2005 étant la moins pluvieuse de toutes les années.

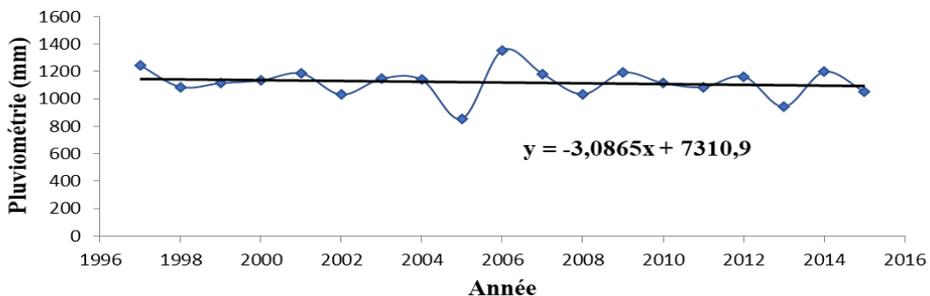


Figure 2. Evolution de Pluviométries totales annuelles à Lubumbashi (1996-2016)

Cependant, les **Températures** moyennes annuelles quant à elles, ont révélé des différences interannuelles oscillatoires entre 1996 et 2008 avec une tendance croissante à partir de l'année 2009 à 2012. Il faut noter qu'au regard

de l'allure tendantielle de la pente de la droite de températures moyennes annuelles, laisse déduire que la ville a connu un changement climatique de l'ordre $\pm 0,025$ degré Celsius. Et la valeur la plus élevée était enregistrée en 2012 tandis que les valeurs de températures moyennes les plus basses ont été observées en 2013 et 2014. Graphique (3)

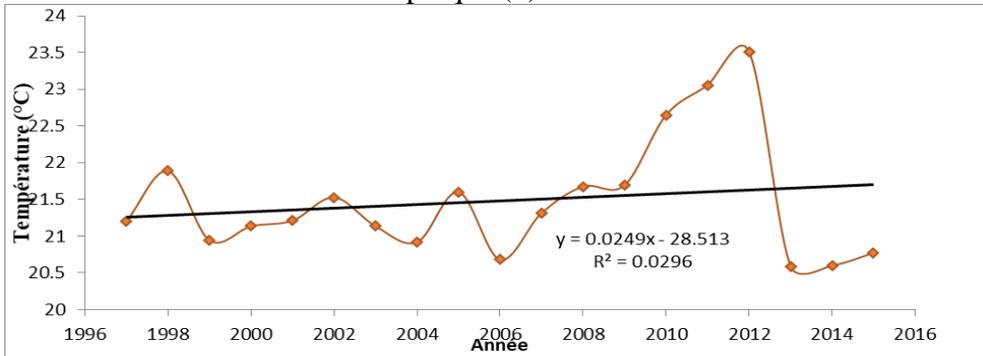


Figure 3. Evolution de températures moyennes annuelles (1996-2016)

Ensuite, la droite tendancielle des moyennes annuelles de l'Humidité relative, a révélé une situation presque stable. Cependant, une faible variabilité a été observée à partir de l'année 2004.

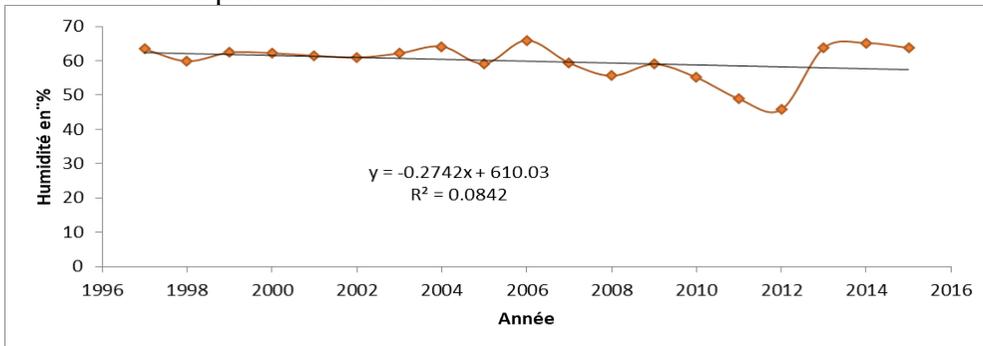


Figure 4. Evolution de taux moyens annuels de l'Humidité relative à Lubumbashi (1996-2016)

Enfin, le graphique 5 suivant ; illustre la vitesse du vent. Cette dernière a révélé une légère augmentation et de faible variabilité constatée de 2006 à 2010 Graphique (7).

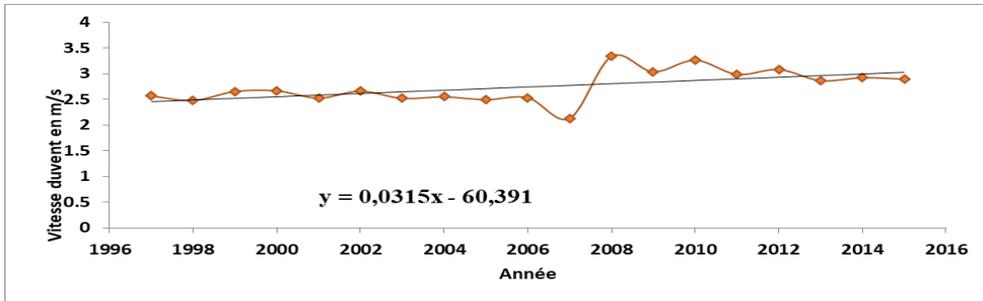


Figure 5. Evolution de vitesses moyennes annuelles de vent à Lubumbashi (1996-2016)

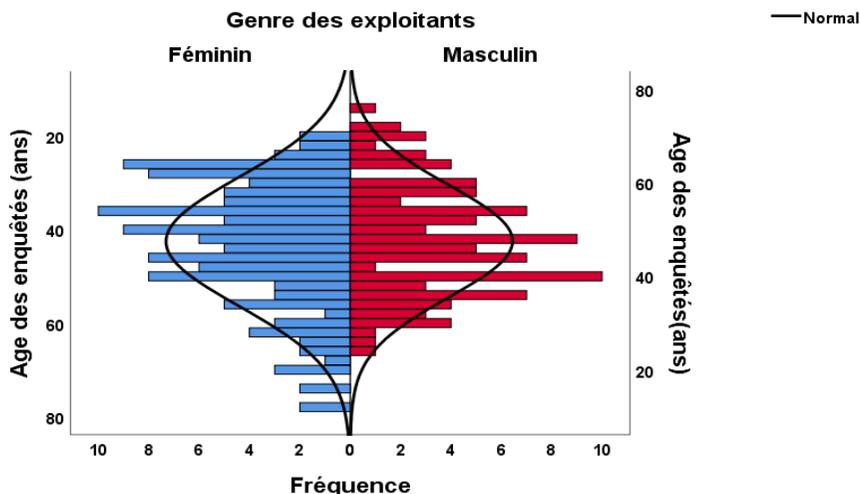
Cette situation décrite précédemment, démontre de manière globale qu'il y a eu une variabilité climatique caractérisée par des perturbations remarquables des paramètres climatiques considérés. Ce qui ouvre la brèche à l'évaluation de la perception des exploitants et les facteurs qui en déterminent.

3.2. Perception climatique selon le profil sociodémographique des exploitations

3.2.1. Age et Genre des exploitants

La figure 6 ci-dessous révèle la pyramide d'âge des exploitants dont la moyenne se trouvait dans l'intervalle entre 20 et 78 ans soit $44,7 \pm 13$ ans. La moyenne d'âge était de $47,5 \pm 12$ et $42,5 \pm 13$ ans respectivement pour le genre masculin et féminin. 95% des enquêtés, percevaient les perturbations climatiques. Toutefois, cette dernière était faiblement corrélée à la variable âge des exploitants ($p=0,04$), avec une légère domination du genre masculin, contrairement au facteur genre.

Figure 6. Pyramide de la répartition d'âge selon le genre des exploitants



Selon Zaatra (2021), la variable l'âge des exploitants en général et particulièrement celui du chef de ménage, constitue certainement un déterminant de résilience et/ou de vulnérabilité aux chocs climatiques subis par les exploitations familiales. De plus, les caractéristiques sociodémographiques contribuent bien évidemment à la fragilité des exploitations familiales face aux bouleversements climatiques (Fatemi et *al.*, 2017), d'où la considération selon laquelle ; le profil socioéconomique, le genre, l'état physique etc., concourent à la vulnérabilité des exploitants familiaux (Neset et *al.*, 2019). Mferé (2020), renseigne que la perception du changement climatique est expliquée par certaines variables notamment : l'âge, le niveau de formation ainsi que les actifs agricoles de l'exploitation. Donc, la perception de perturbation ou de changement climatique est un fait relatif au statut de l'exploitant (Oumarou et *al.*, 2017) et que la diversité de points de vues entre exploitants est une conséquence logique de la variabilité de l'âge des acteurs dont les plus âgés perçoivent autrement que ceux à une trentaine d'âge (Gnanglé et *al.*, 2012), car cette variable insinue une dimension de maturité dans la perception et la prise de décision (Oumarou et *al.*, 2017).

3.2.2. Niveau d'instruction des exploitants

Au regard de la figure (7) ci-dessous, l'échantillon était majoritairement représenté par les exploitants de niveau secondaire (53%), suivis de ceux de niveaux primaire et universitaire à respectivement 31% et 3%. Tandis que 43% étaient sans niveau de formation. En effet, le niveau de formation des exploitants influençait significativement la perception du dérèglement climatique dans la région cible ($p : 0,002$).

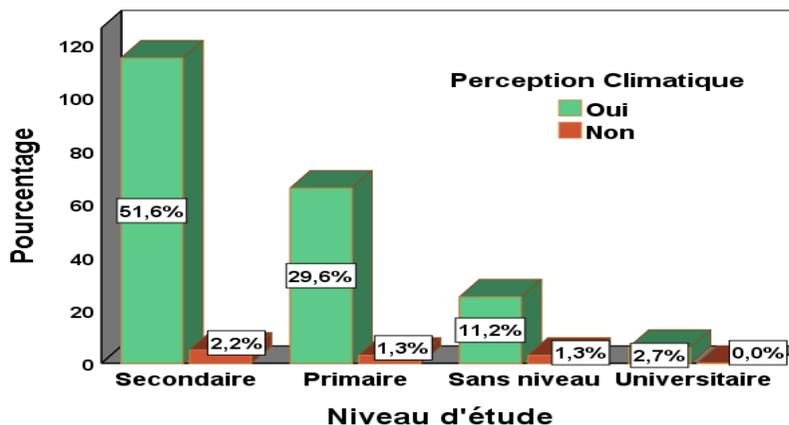


Figure 7. Perception Climatique selon l'instruction des exploitants

Les résultats ci-dessus corroborent ceux de plusieurs chercheurs (Riquet et *al.*, 2017 ; Pamalba et *al.*, 2019). Dans les recherches précédemment

citées, il a été démontré que le niveau d’instruction des exploitants familiaux était un facteur très déterminant dans l’organisation et la gestion de leurs exploitations, dans le fonctionnement économique de leurs ménages ainsi que le niveau de pauvreté de ce dernier. Ce qui pourrait influencer même les capacités d’adaptation, de couverture voire d’innovation et de surcroît, entrainer positivement l’aptitude de gestion du bien-être du ménage. Certes, le niveau de connaissance (formation) des exploitants est un des facteurs psychologiques qui influenceraient le jugement et le processus d’adaptation au changement climatique (Zaatra, 2021). En général, le niveau primaire et ceux n’ayant pas atteint le bout du cycle secondaire restent les niveaux les plus représentés dans les exploitations agricoles familiales du monde en général et d’Afrique particulièrement (Hathie *et al.*, 2015).

3.2.3. Expérience agricole et Superficies emblavées

Le tableau suivant résume la perception climatique en fonction de l’expérience professionnelle et les superficies exploitées au cours de deux années de référence (2015 et 2019)

Tableau 1. Perception climatique en fonction de l’Expérience et les superficies emblavées

Variabes	Moyennes ± Écart-type	(p-value)
Expérience (an)	13,7±0,7	0,007 < 0,05
Superficies 2015 (m ²)	17030,2±1097,9	0,002 < 0,05
Superficie 2022 (m ²)	11273,9±724,3	

Source : Enquêtes, 2020

Le tableau 1, renseigne pour l’ensemble de l’échantillon que l’expérience des exploitants s’évaluait à 13,7±0,7 ans en moyenne avec un maximum allant à plus 45 ans. Cette étude a prouvé que la perception climatique était fonction de l’expérience agricole (p=0,007). En outre, les superficies emblavées entre 2015 et 2019 (deux années de référence), ont révélé dans cette étude, une variation significative. Soit une baisse de superficie cultivée en moyenne de 5811,2±1159,5m². Cette variation dégressive était vraisemblablement corrélée à la perception des Perturbations Climatiques dans l’hinterland de Lubumbashi (p : 0,002).

Zaatra (2021), a révélé que l’expérience constitue une forme de repère dans le contexte de changement climatique afin non seulement de guider sa perception mais également d’envisager de précautions de résilience et d’atténuation des impacts climatiques. C’est également un moyen de survie et de faire face pour les ménages agricoles, aux diverses variabilités climatiques grâce aux maîtrises techniques et savoir-faire, leur permettant de contrôler certaines spécificités dont les paramètres du climat (Tesso, 2013). D’où l’ancienneté agricole, l’âge, la Surface Agricole Utilisée, le mode de gestion de l’exploitation, etc., traduisent l’engagement des exploitants à recourir aux mesures d’acclimatation du secteur (Agossou *et al.*, 2012). Au-delà de la

lecture, dans la région de Zondoma au Burkina Faso, certains vieux exploitants se servent de leur expérience afin de prédire sur les évènements climatiques futurs.

Selon Nkulu (2010), les exploitations familiales demeurent traditionnellement fonction de petites tailles dont en moyenne 4,6 actifs agricoles et une moyenne d'environ 1 hectare de surface cultivée avec des extrêmes compris entre 52 ares et 4 hectares. À l'instar de la zone agricole de Sambwa, les superficies moyennes exploitées variaient entre 0,7ha et 1,5ha pour la spéculation de maïs (Kitsali, 2013 ; Chevalier, 2015). Certes, comme partout ailleurs dans les pays en développement, l'agriculture étant demeurée extensive (Broudic et Razafindrianilana, 2020 ; Zoé, 2019 ; Pedrono *et al.*, 2015 ; Brondeau, 2014 ; Geral *et al.*, 2013 ; Kitsali, 2013; Tardieu, 2011 ; Nkulu, 2010), la diminution progressive de superficies moyennes emblavées dans l'Hinterland de Lubumbashi, est un fait qui porterait ses fruits directement sur une baisse de production et indirectement sur le revenu net (profits) de la production. Cependant, l'extensification est considérée comme étant l'une des meilleures stratégies d'adaptation au changement climatique (Vodounou *et al.*, 2016).

3.3. Perception à travers les paramètres climatiques et Causes de perturbations

3.3.1. Paramètres climatiques perçus selon les sites

Le tableau 2 ci-dessous donne la perception des exploitants partants de quelques variables climatiques observées dans la région cible de l'étude.

Tableau 2. Paramètres météorologiques de perception

Effectif (%) par sites d'enquêtes						
Variables climatiques	Kifita	Kiswishi	Mukoma	Sambwa	Sela	Total
Jours Ensoleillés	50 (100%)	50 (100%)	34 (91,9%)	38 (77,6%)	36 (97,3%)	208 (93,3%)
Hautes températures	35 (70%)	44 (88%)	33(89, 2%)	34 (69,4%)	34(91,9 %)	180 (80,7%)
Longue Sècheresse	31 (62%)	26 (52%)	20 (54,1%)	48 (98%)	26 (70,3%)	151 (67,7%)
Pluies + plus de Vent	18 (36%)	42 (84%)	37 (100%)	36 (73,5%)	18 (48%)	151 (67,7%)
Pluies Tardives	31 (62%)	26 (52%)	18 (48%)	48 (98%)	27 (73%)	150 (67,3%)
Baisse Niveau d'eau	36 (72%)	37 (74%)	29 (78%)	29 (59,2%)	18 (48%)	149 (66,8%)
Pluie dure longtemps	25 (50%)	29 (58%)	18 (48%)	37 (75%)	26 (70%)	135 (60,5%)
Pluies avec Tonnerre	28 (56%)	23 (46%)	20 (54,1%)	33 (67,3%)	16 (43,2%)	120 (53,8%)
Maisons détruites	25 (50%)	29 (58%)	8 (21%)	35 (71,4%)	20 (54,1%)	117 (52,5%)
Cultures détruites	13 (26%)	15 (30%)	21 (56,8%)	31 (63,3%)	10 (27%)	90 (40,4%)

Source : Enquêtes, 2020

La lecture du tableau 2 révèle que les perturbations climatiques perçues par les exploitants faisant constat : des *Jours avec plus de soleil* (93,3%), d'une *Hausse des températures moyennes annuelles* (80,7%), des reprises *Tardives*

des pluies (67,3%) avec des Longues périodes de sécheresse (67,7%). En effet, des Longues pluies (61,9%) sont accompagnées de plus de vents (67,7) et de Tonnerre (53,4) entraînant ainsi la destruction des maisons (51,4%) et de cultures (40,4%), sans oublier la baisse de niveau d'eau observée (66,8%). Ces assertions avaient une haute vraisemblance entre les villages ($p : 0,002$) et $r=0,765$.

Il y a plus d'une décennie, les prévisions climatiques de la République Démocratique du Congo en général, préconisaient une tendance progressivement dégressive des pluviométries annuelles tandis que les températures annuelles seraient ascendantes considérablement (Ministère de l'environnement, 2015). Une situation plus remarquable dans les régions du Kivu et du Grand Katanga (OIM, 2017). Selon Oumarou et al (2017), les perceptions de paysans sur la variabilité pluviométrique donne lieu à sept types de pluviométries notamment : *baisse du cumul pluviométrique, fortes pluies, déficit des jours pluvieux, démarrage tardif des pluies, fin précoce des pluies, poches de sécheresse, et inondations*. Quant à Peach-Brown et al (2013), cette perception concerne presque généralement la majorité des pays de la région de l'Afrique centrale. Par ailleurs, les perceptions locales de la manifestation du dérèglement climatique en Afrique, se caractérisent par : le retard dans la reprise de pluies, les poches de sécheresse au cours de la saison de pluies voire une mauvaise répartition des pluies, les vents sont très violents, une chaleur en excès (Sabaï et al., 2014 ; Sadia, 2014 ; Yegbemey et al., 2014 ; Yanon et Ndiaye, 2013 ; Gnanglé et al., 2012 et Chipo et al., 2012). Une situation également perçue

Par ailleurs, les exploitants ont évoqué un bon nombre des pratiques agricoles récurrentes susceptibles d'accentuer les Perturbations climatiques comme le résume le tableau ci-après :

Tableau 3. Pratiques susceptibles d'accentuer les perturbations climatiques

Causes récurrentes	Effectif	Pourcentage
Déboisement	203	90,2
Feu de brousse	181	80,4
Agriculture itinérante	158	70,2
Causes naturelles	144	64
Non-respect de divinités	94	41,8

Source : Enquêtes, 2020

Les résultats du tableau 3 montrent que le déboisement (90,2%) et le feu de brousse (80,4%) étaient perçues par la majorité d'enquêtés comme principales pratiques concourant au dérèglement climatique suivies de l'augmentation de superficies cultivées. A ces pratiques, s'ajoutaient également le fait que les perturbations climatiques demeurent une conséquence naturelle d'une part (64%) ou résultant du non-respect des divinités (41,8%). Le déboisement, le feu de brousse comme l'expansion de

surfaces culturelles, contribueraient de façon notable au réchauffement climatique en relâchant le carbone stocké dans la biomasse au niveau de l'atmosphère sous forme de CO₂ (Pepin, 2020).

Selon Kitsali (2013), la sécurité alimentaire des exploitants agricoles familiaux dépendrait prioritairement de la qualité de leurs techniques culturelles. A Nkulu (2010) d'enclamer que le progrès technique et l'emploi de ressources de production rudimentaires, impliqueraient une faible productivité agricole. Ce qui entraînerait par conséquent, un piètre revenu agricole et conditions de vie bien préoccupantes. D'où l'amélioration des pratiques culturelles demeure rationnellement utile afin de réaliser des excellents rendements ne comptant pas seulement sur la nature (Hathie *et al.*, 2015).

Toutefois, l'agriculture familiale dans l'hinterland de Lubumbashi était à caractère rudimentaire suite aux types de techniques culturelles utilisées. L'agriculture sur brulis, la rotation et l'association des cultures (Haricot-Maïs, Arachide-Maïs etc.) ainsi que la mise en Jachère étaient les techniques dominantes (tableau 4).

Tableau 4. Description des techniques culturelles des exploitants

Techniques culturelles	Fréquence	Pourcentage (%)
Agriculture sur brulis	188	84,3
Association des cultures	188	84,3
Rotation de cultures	138	61,9
Jachère	99	44,4

Source : Enquêtes, 2020

Il ressort du tableau 4 que l'agriculture sur brulis et l'association des cultures étaient pratiquées respectivement à 84,3% ; cependant, certains recouraient à la rotation des cultures (61,9%) ou encore la mise en jachère (44,4%). Ces réponses étaient vraisemblablement significatives aux sites d'enquêtes ($p : 0,000$; $r=0,92$). Certes, dans la considération du changement climatique, l'agriculture est un secteur-couteau à double tranchant. En effet, elle est un facteur d'atténuation des effets du changement climatique et d'amélioration directe des rendements (revenu net agricole) d'une part et contribue à l'émission des Gaz à Effets de Serre d'autre part (OCDE, 2016). Ce qui révèle bien évidemment la part de responsabilité dans l'altération de fertilité des sols par l'homme (Sadia, 2014) et nécessitent ainsi la promotion des pratiques agricoles innovatrices voire conservatrices de patrimoines écosystémiques (Vodounou *et al.*, 2016 ; Pepin, 2020). Cela est à considérer comme étant des nouvelles opportunités à capitaliser (OCDE, 2016 ; Yegbemey *et al.*, 2014) grâce à une bonne dose des techniques absorbant les difficultés, via l'excellente gestion des résidus de récoltes (Oumarou *et al.*, 2017 ; Sabäi *et al.*, 2014) et une adaptation dans la rotation et association des cultures dans une configuration tout à fait réorientée, sachant que les mauvaises techniques culturelles associées à la dégradation des terres, érigent

certainement un considérable obstacle au développement du secteur agricole. Dans les régions du Mali, les exploitations agricoles familiales ont opté pour les modifications des pratiques culturales notamment ; l'apport de fumure, la rotation des cultures, la Jachère, la culture intercalaire, etc. misant ainsi l'amélioration des terres et l'augmentation des productions voire prévenir les altérations des potentiels des terres et l'infertilité des sols (Mejias et Lagana, 2019 ; Zaatra, 2021).

3.3.2. Constellation de la perception de perturbations climatiques

Au regard du graphique d'analyse à Composantes multiples ci-dessous (figure 8), l'augmentation de surfaces culturales, le non-respect du calendrier, l'arrivée tardive des pluies, longue période de sécheresse, augmentation de températures la pluie avec plus de tonnerre en même temps que les pratiques telles que: le feu de brousse, le Déboisement, la rotation des cultures etc. étaient de variables significativement liées à la perception de perturbations climatiques au sein des exploitations agricoles familiales de hinterland de Lubumbashi.

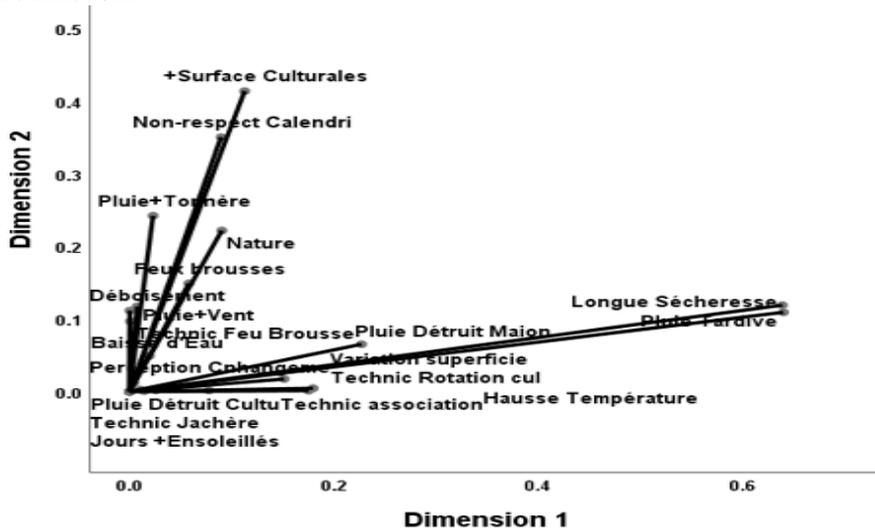


Figure 8. Analyse à Composantes Multiples de la perception des perturbations climatiques

En effet, cette perception de perturbations climatiques (ou changement climatique) pour les autres, s'est avérée sans équivoque une évidence dans plusieurs régions du continent africain (Oumarou *et al*, 2017 ; Melinda *et al*, 2018, Tarsiguel, 2020 ; Zaatra, 2021 ; Sabai *et al*, 2014 ; Mféré, 2020). Ces sources renseignent également que cette phosphorescence du climat constituerait déjà une gamme de risques du secteur agricole et de l'humanité (Zaatra, 2021), dont l'ampleur de ces derniers varient selon les régions (Tiwa, 2019 ; Yegbemey *et al*, 2014 ; Agossou *et al.*, 2012). Une détérioration de

l'environnement à laquelle l'homme se retrouve avec une part de responsabilité l'impliquant considérablement (GIEC, 2014). Toutefois, il est évidemment considéré que les pratiques agricoles et l'environnement, pourraient prioritairement être l'une des pistes d'affermissement de la résilience (Melinda, 018 ; Mejias, 2019 ; Tiwa, 2019 et Tarsiguel, 2020).

Conclusion

Partant des données météorologiques prélevées par les stations de la place et la perception des exploitants, les perturbations climatiques se sont avérées une évidence. Les perturbations climatiques étant perçues à 95% par les exploitants familiaux, se sont caractérisées par la manifestation des faits déplorablement notamment ; des pluies tardives, prenant parfois plus de temps, accompagnées de plus de vent détruisant les maisons et les cultures. Le décalage de la période de pluie, a allongé le temps de sécheresse, occasionnant ainsi des journées plus ensoleillées et de hautes chaleurs sans oublier la baisse de niveau d'eau de rivières voire puits.

Les pratiques actuelles des exploitants demeurant rudimentaires, contribuent également à la dégradation climatique. Les résultats sur la situation de perception climatique par les exploitants familiaux, devraient orienter la mise en place des politiques d'adaptation et/ou de résilience face aux impacts des perturbations climatiques. En effet, les exploitants devraient comprendre que la modification de leurs pratiques devra être une réponse à la perception et à l'ampleur des risques liés au changement climatique. Ainsi, il est envisageable que les actions à promouvoir par les parties prenantes, correspondent à la perception afin de garantir une exploitation durable.

Cette étude n'a fait l'objet d'aucun conflit d'intérêts lors de son effectivité. Toutes les données jugées utiles ont été incluses dans le contenu de l'article. Bien que la recherche n'ait pas bénéficié d'un financement particulier, soulignons l'accompagnement du Professeur Ordinaire ; Emery KASONGO LENGGE, d'avoir mis à notre disposition une base de données climatiques collectées par les stations de la région d'étude, en raison de quoi, nous lui exprimons toute notre gratitude. Les interviews ont été grâce au consentement observant les normes de l'éthiques et respectant le principe d'Helsinki.

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.

Références:

1. Banque Mondiale (BM). (2011) *Democratic Republic of Congo Overview*. <http://www.worldbank.org/en/country/drc/overview>
2. Abderraouf Zaatra. (2021) *Vulnérabilité des exploitations agricoles et préférences d'adaptation au changement climatique dans le territoire du Pays Haut Languedoc et vignoble (PHLV)*. 2 éd. Thèse de doctorat en sciences économiques : Université de Montpellier (France).
3. African Economic Outlook (AEO). (2011) *Congo, Democratic Republic*.
<http://www.africaneconomicoutlook.org/en/countries/central-africa/congo-democratic-republic/>.
4. AGOSSOU, D.S.M., TOSSOU, C.R., VISSOH, V.P., & AGBOSSOU, K.E. (2012) Perception des perturbations climatiques, savoirs locaux et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles béninois. *African Crop Science Journal, Vol. 20, Issue Supplement s2*, pp. 565 – 588.
5. Agronomes et Vétérinaires Sans Frontière (AVSF). (2009) Les agricultures, paysanneries victimes et acteurs incontournables de la lutte contre le changement climatique. www.asvf.org/Association.
6. Barbier, J.-M., Baur, C., Bertuzzi, P., Brondeau, A., Couderc, V., Courbet, F., Curt, T., Dalstein-Richier L., Davi H., Delmotte S., Dobremez L., Dupuy J-L., Fader M., Farnet A-M. D-Silva., & Ferreira O. (2016) *Les effets du changement climatique sur l'agriculture et la forêt en Provence-Alpes-Côte d'Azur*, Les cahiers du GREC-PACA, Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), 40 pages.
7. Bélières, J.-F., Bonnal, P., Bosc, P.M., Losch, B., Marzin, J., & Sourisseau, J.-M. (2014) *Les agricultures familiales du monde. Définitions, contributions et politiques publiques*. Éd. Montpellier : CIRAD-AFD
8. Boaventura Monjane. (2018) UGANDA : Adaptation aux changements climatiques et renforcement de la résilience des exploitations familiales. * <https://Viacampesina.org>.
9. Bosc, P. (2014) L'agriculture familiale : Définition, caractéristiques et implications pour les politiques, Cirad, 18 p.
10. Brondeau Florence. (2014) Comment sécuriser l'accès au foncier pour assurer la sécurité alimentaire des populations africaines : éléments de réflexion. [VertigO] *La revue électronique en sciences de l'environnement, 14, (1)*,
11. Caquet Thierry. (2014) Des systèmes innovants face au changement climatique, INERA Dept EFPA/MP ACCAF, Sciences & Impact. APCA-ADEME, Paris, France, 16 p.

12. Caroline, Broudic., & Tsiory, Razafindrianilana. (2020) Adaptation aux changements climatiques des populations rurales du sud-ouest de madagascar. <https://www.actioncontrelafaim.org.com>
13. Chanzy, A., Martin, G., Colbach, N., Gosme, M., Launay, M., Loyce, C., Métais, A., & Novak, S. (2015) "Adaptation des cultures et des systèmes de culture au changement climatique et aux nouveaux usages", *Institut National de la Recherche Agronomique, Centre de Recherche Val de Loi, Orléans, France, www.ea.inra.fr*,5p
14. Chevalier Pascal. (2014) *L'agriculture familiale de Podlasie polonaise : anachronisme ou potentiel ignoré ?* In : *Diversité des agricultures familiales : Exister, se transformer, devenir* [en ligne]. Versailles : Éditions Quæ, 2014 (généré le 22 juin 2023). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/quæ/29500>>;. ISBN : 9782759230235.
15. Chipso, P.M., Njukib, J., Paidamoyo, E.M., Temba, F.M., & Nanjad, D. (2012) Climate variability and change or multiple stressors? farmers' perceptions of threats to livelihoods in Zimbabwe and Zambia. *Journal of environmental management* 102, 9-17. 8 p.
16. Cirad. (2014) Les agricultures familiales, une chance pour la planète. En <http://www.cirad.fr/content/download/8648/95588/pdf%8E>, URL : <http://www.cirad.fr/content/download/8648/95588/pdf%8E>, Consulté 16 Février 2020.
17. Développement et Paix. (2016) Promouvoir la réflexion des citoyennes et citoyens sur la gouvernance et la Démocratie en République Démocratie du Congo (RDC) « Rapport annuel » [www.devporg/fr/Rapport Annuel/](http://www.devporg/fr/Rapport%20Annuel/)
18. FAO. (2022) Plan national d'adaptation aux changements climatiques du Bénin. Coopération. <https://www.fao.org>
19. FAO., 2014. (www.fao.org/family-farming-2014/fr)
20. Fatemi, F., Ardalan, A., Aguirre, B., Mansouri, N., & Mohammadfam, I. (2017) Social vulnerability indicators in disasters : findings from a systematic review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 22, p. 219-227. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.09.006>
21. Gerald, C., Nelson, L., Hugo, V., Ronald D., Sandsc, P.H., Ahammadd, H., Derynge D., & Elliottf, J. (2013) Climate change : Impact on agriculture and costs of adaptation. *Food Policy Report 21. Washington, D.C. International Food Policy Research Institute (IFPRI)*. <http://www.ifpri.org/publication/climate-change-1>
22. GIEC. (2014) Changements climatiques 2014 : « Rapport de synthèse ». Genève (Suisse): GIEC. 161 p. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf

23. Gnanglé, P.C., Yabi, J.A., Yegbemey, R.N., Glélé, K.L.R., & Sokpon, N. (2012) Rentabilité économique des systèmes de production des parcs à karité dans le contexte de l'adaptation au changement climatique du Nord-Bénin, *African Crop Science Journal*. Vol. 20, Issue Supplément S2, pp. 589 – 602.
24. Gutu Tesso. (2013). Individual level vulnerability to climate change impact among crop dependent communities of western Ethiopia. *Journal of Agricultural Economics and Development*, September 2013, vol. 2,n.9,p.356-370
<https://pdfs.semanticscholar.org/5eed/ae29f8a3577a823eb6179783587e34b9ca4c.pdf>
25. Hathie, I., Wade I., Ba, S., Niang, A., Niang, M., Kesso, S.M., Ndione, C.Y. & Ba, C.O. (2015) Emploi des jeunes et migration en Afrique de l'Ouest (EJMAO) ; IPAR - Kër Jacques Faye, Immeuble Ousmane Kane, VDN-Foire, BP 16788 Dakar-Fann Tél : (221) 33 869 0079 - Fax : (221) 33 868 0538 - Email: ipar@ipar.sn - web: www.ipar.snTshomba *et al*, 2013 ;
26. Ina Meyer & Franz Sinabell. (2011) L'agriculture face au changement climatique. Rapport de synthèse de la CIPRA ; CIPRA International Im Bretsch 22, L-9494 Schaan T. +423 237 53 53 F. +423 237 53 54, Aout 2011. 30p.
27. Kabore, P., N. Bruno, P. Ouoba, A. Kiema, L. Some et A. Ouedraogo. (2019) Perceptions du changement climatique, impacts environnementaux et stratégies endogènes d'adaptation par les producteurs du Centre-nord du Burkina Faso », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, Volume 19 Numéro 1 | mars 2019, URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/24637> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.24637>
28. Kasongo Ngomba Yashele & Nsombo Mosombo Blandine. (2017) Perception paysanne des impacts de la variabilité climatique autour de la station de l'INERA/Kipopo dans la province du Katanga en République Démocratique Congo », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, Volume 17 numéro 3 | décembre 2017, mis en ligne le 15 décembre 2017, consulté le 21 juin 2023.
URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/18873> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.18873>
29. Kitsali Katungo Jean-Hélène. (2013) *Modèle de fonctionnement des exploitations familiales pour le développement agricole rural du Katanga, cas de la zone agricole de Sambwa*. 2 éd. Thèse de doctorat en sciences économiques : Université de Lubumbashi (RDC).

30. Lunze L.D., 2013. Gestion durable des sols en République Démocratique du Congo : état actuel, priorités et besoins. *Global Soil Parthnership » En Afrique Central et de l'Ouest, Accra, Ghana, 2013.*
31. Megan B., 2017. Approche migration et environnement en République Démocratique du Congo 2014 – 2017); IOM : Organisation internationale de Migration. *Refuge 33, 97, 2017*
32. Mejias, M.P., & Lagana, M.H. (2019) Evaluation de la résilience climatique des petits exploitants agricoles au Mali. *Rome, FAO. 52 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO*
33. Ministère de l'Environnement et Développement Durable. (2015) 3^{ème} Communication à la convention cadre sur le changement climatique « Rapport annuel » Ministère de l'agriculture : RDC (Février 2015).
34. Mushagalusa B.A., Momba, N.J., Kasanda, M.N., & Nkulu, M.F.J. (2015) Caractéristiques de l'agriculture familiale dans quelques villages de Kipushi: Enjeux et perspectives pour la sécurité alimentaire. *International Journal of Innovation and Applied Studies 10 (4), 1134,*
35. Mushagalusa, Balasha, A., Kitsali, Katungo, J.-H., Murhula, Balasha, B., Hwali., Masheka, L., Bitagirwa, Ndele, A., Cirhuza, V., Assumani, Buhendwa, J.-B., Akilimali, I., Cubaka, N. & Bismwa, B. (2021) Perception et stratégies d'adaptation aux incertitudes climatiques par les exploitants agricoles des zones marécageuses au Sud-Kivu. *Vertigo, 21(1), 1–30.* <https://doi.org/10.4000/vertigo.31673>.
36. Neset, T.-S., Wiréhn, L., Opach, T., Glaas, E., & Linnér, B.-O. (2019) Evaluation of indicators for agricultural vulnerability to climate change: the case of Swedish agriculture. *Ecological Indicators, 2019/10/01, vol. 105, p. 571-580.* <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.042>
37. Nkulu Mwine Fyama Jules. (2010) *Dynamique agraire des exploitations agricoles familiales dans l'hinterland minier du Katanga et perspectives pour une politique d'appui.* 2 éd. Thèse de doctorat en sciences agronomiques : Université de Lubumbashi (RDC).
38. Ntamwira J, Ocimati W, Blomme G, Lubobo AK, Mwarabu Lolonga Pyame D and Dhed'a Djailo B. (2023) Innovative agroecological practices can restore degraded farmlands and revive crop yields. *Front. Sustain. Food Syst.* 7:1017341. doi: 10.3389/fsufs.2023.1017341.
39. Nyembo, K.L., Banza, M.J., Salima, B.S.N., Tshipama, T.D., Kiluba, K.M., Mpoyo, M.G., & Muteba, K.M. (2015) Les faibles doses d'engrais azotés ne permettront pas d'optimiser le rendement des nouvelles variétés de maïs dans la région de Lubumbashi (RD Congo). *y IP address 192.168. 10.4 on 2022/12/26.*

40. OCDE/CSAO. (2013) Peuplement, marché et sécurité alimentaire. *Cahiers de l'Afrique de l'Ouest de l'OCDE/CSAO* : <https://www.oecd.org/fr/csao/publications/poa.htm> :
41. OECD. (2022) L'essentiel : Gérer les risques climatiques et faire face aux pertes et aux dommages, Editions OECD, Paris, <https://doi./10.1787/55ea1cc9-en>.
42. Omerkhila, N, C. Tara, V. Donatella, M. Juha et P. Rajiv. (2020) Climate change vulnerability and adaptation strategies for smallholder farmers in Yangi Qala, Ecological Indicators 110,105863
43. Ouédraogo Matthieu. (2012) *Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso*, *Journal of Agriculture and Environment for International Development-JAEID-2012*, 106 (1).
44. Ouédraogo, M., Dembélé, Y., & Somé, L. (2010) Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso, *Science et Changements planétaires. Sécheresse. John Libbey Eurotext.*, 21(2) ,87-96.
45. Peach-Brown, H.C., Smit B., Olufunso, A.S., Sonwa J.D., & Ngana, F. (2013) Institutional perceptions, adaptive capacity and climate change response in a post-conflict country: a case study from Central African Republic. *Climate and Development* 5 (3), 206-216, 10 p
46. Pedrono, M., Locatelli, B., Ezzime, B.-D., Pesche, D., Morand, S., & Binot, A. (2015) Les services écosystémiques face au changement climatique. In: Toquebiau E. *Changement climatique et agricultures du monde*. Collection *Agricultures et défis du monde*, Cirad-AFD. Editions Quae, p 236-245
47. Pierre, V., Vissoh, R.C., Tossou, H.D., Guibert, H., Codjia, C.O., Vodouhe, D.S., & Agbossou, K.E (2012) Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements climatiques : le cas des communes d'Adjohoun et de Dangbo au Sud-Est Bénin. *Cahiers d'Outre-Mer*, (260), 479-492. Melinda *et al*, 2018
48. Programme des Nations Unies +6.pour Développement. (2010) Quelles contraintes lever pour lutter efficacement contre la pauvreté au Katanga « *Rapport annuel du séminaire* ». Lubumbashi (3 Mai 2010).
49. Riquet, C., Musiine, D., & Marita, C. (2017) National Survey and Segmentation of smollholder Households in Côte d'Ivoire. *CGAP :Washington, DC, USA*
50. Sabaï, K., Dagbenonbakin, G., Agbangba, C.E., Souza, J.-F., Kpagbin, G., Azontondé, A., Ogouwalé, E., Tinté, B., & Sinsin, B. (2014) Perceptions locales de la manifestation des changements climatiques et mesures d'adaptation dans la gestion de la fertilité des sols dans la Commune de Banikoara au Nord-Bénin. *J. Appl. Biosci.* 7418.

51. Sadia Chérif. (2014) Construire la résilience au changement climatique par les connaissances locales : le cas des régions montagneuses et des savanes de Côte d'Ivoire. *FMSH-WP-2014-83*.
52. Sénéchal, Caroline. (2017). Compte rendu de [Dufour, M. (2017). Guide d'entraînement pour apprivoiser son lion : apprendre à calmer son lion intérieur et à communiquer sainement. Québec, Québec : Éditions Midi trente]. Revue de psychoéducation, 46(2), 460–461. <https://doi.org/10.7202/1042261ar>
53. Soungalo, S., Kadeba, A., Nacoulma, B.M.I., Salifou, T., 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. *Journal of Applied Biosciences* 87:8047– 8064
54. Tardieu Henri. (2011). Eau, alimentation et développement : s'adapter aux changements globaux. *Cahier. Agricole* 20 : 5-7. doi : 10.1684/agr.2011.0478
55. Tarsiguel Laura. (2020) Étude sur les perceptions et adaptations des agriculteurs biologiques du Morbihan face au changement climatique. *Agronomie. dumas-03917892* <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03917892>
56. Tiwa Dany F.A. (2017) Changement climatique et conflits de genre dans l'agriculture paysanne dans l'Ouest Cameroun : cas de Batcham. *[VertigO]La revue électronique en sciences de l'environnement*, 17 (3).
57. Tshomba, K., M. Nkulu, M. Kalambaie et P. Lebailly P. (2019) Analyse des effets des Programmes de subventions sur la performance des cultures céréalières (Maïs *Zea mays* L. et Riz *Oriza* sp.) en R. D. Congo et en Zambie, *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 2,2, pp. 39-48.
58. United States Agency for International Development (USAID), Climate risk in Democratic Republic of Congo : Country risk profile, 6 p.
59. Vodounou K. Jean Bosco et Onibon Doubogan Yvette. (2016) Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 794, mis en ligne le 15 novembre 2016, consulté le 09 juin 2019. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/27836> ; DOI : 10.4000/cybergeo.27836

60. Wolf Mferé. (2020) Analyse Econometrique de la Perception et de l'Adaptation aux Risques Liés au Changement Climatique chez les Exploitants Agricoles du Congo-Brazzaville. Juillet 2020 / No. 694
61. www.ifpri.org, *Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation. Food Policy Report 21. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI).*
<http://www.ifpri.org/publication/climate-change-1>
62. Wymann, V.D., Romeo, S.R., Vita, A., Wurzinger M., & Kohler, T. (2013) L'agriculture de montagne est une agriculture familiale - Une contribution des régions de montagne à l'Année internationale de l'agriculture familiale 2014. Rome, Italy: FAO, CDE, BOKU, pp. 100
63. Yakouba Oumarou., Abdoul-Aziz Saïdou., Ali Madi., Félix Watang Zieba., & Fokou Yemata Oberline. (2017) Perception paysanne des perturbations pluviométriques et stratégies d'adaptation dans les systèmes de culture à sorgho repique en zone soudano-sahélienne du Cameroun. *Afrique Science. 13(4)(2017) 50 - 65*
64. Yanon, G., & Ndiaye, A. (2013) Diminution observée des ressources en eau, une conséquence de la variabilité climatique ? Étude basée sur une approche participative à Bambey (Sénégal). *Geo-Eco-Trop.*, 2013, 37, 1 : 149-156
65. Yegbemey, R.N., Yabi, J.A., Aïhounon, G.B & Paraïso, A. (2014) Modélisation simultanée de la perception et de l'adaptation au changement climatique : cas des producteurs de maïs du Nord Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cah Agric 23 : 177-87.* doi : 10.1684/agr.2014.0697.
66. Zoé Brusselmans. (2019) Analyse prospective de l'agriculture céréalière au Burkina Faso à l'horizon 2050. *Faculté des bioingénieurs, Université catholique de Louvain, 2019. Prom. : Baret, Philippe.* <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:19634OCDE/FAO.>, (2016). Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2016-2025.éd. Paris : OCDE (http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-fr).