

# **European Scientific Journal, *ESJ***

***June 2025***

**European Scientific Institute, ESI**

*The content is peer reviewed*

**ESJ Natural/Life/Medical Sciences**

***June 2025 edition vol. 21, No. 18***

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

ISSN: 1857-7431 (Online)

ISSN: 1857-7881 (Print)

---

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

Erik Erikson (1902-1994) was one of the great psychologists of the 20th century<sup>1</sup>. 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,

---

<sup>1</sup> Hopkins, J. R. (1995). Erik Homberger 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 Łódź, Poland

**Robert N. Diotalevi,**  
Florida Gulf Coast University, USA

**Daiva Jureviciene,**  
Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania

**Anita Lidaka,**  
Liepāja University, Latvia

**Rania Zayed,**  
Cairo University, Egypt

**Louis Valentin Mballa,**  
Autonomous University of San Luis Potosí, Mexico

**Lydia Ferrara,**  
University of Naples, Italy

**Byron A Brown,**  
Botswana Accountancy College, Botswana

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

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

**Cinaria Tarik Albadri,**  
Trinity College Dublin University, Ireland

**Mahammad A. Nurmamedov,**  
Shamakhy Astrophysical Observatory of the Ministry of Science and Education of the  
Republic of Azerbaijan

**Henryk J. Barton,**  
Jagiellonian University, Poland

**Saltanat Meiramova,**  
S.Seifullin AgroTechnical University, Kazakhstan

**Rajasekhar Kali Venkata,**  
University of Hyderabad, India

**Ruzica Loncaric,**  
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia

**Stefan Vladutescu,**  
University of Craiova, Romania

**Billy Adamsen,**  
University of Southern Denmark, Denmark

**Marinella Lorinczi,**  
University of Cagliari, Italy

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

**N. K. Rathee,**  
Delaware State University, USA

**Michael Ba Banutu-Gomez,**  
Rowan University, USA

**Adil Jamil,**  
Amman University, Jordan

**Habib Kazzi,**  
Lebanese University, Lebanon

**Valentina Manoiu,**  
University of Bucharest, Romania

**Henry J. Grubb,**  
University of Dubuque, USA

**Daniela Brevenikova,**  
University of Economics, Slovakia

**Genute Gedviliene,**  
Vytautas Magnus University, Lithuania

**Vasilika Kume,**  
University of Tirana, Albania

**Mohammed Kerbouche,**  
University of Mascara, Algeria

**Adriana Gherbon,**  
University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania

**Pablo Alejandro Olavegogeoascocoechea,**  
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 Gentzoglanis,**  
University of Sherbrooke, Canada

**Awoniyi Samuel Adebayo,**  
Solusi University, Zimbabwe

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

**Berenyi Laszlo,**  
University of Miskolc, Hungary

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

**Omar Arturo Dominguez Ramirez,**  
Hidalgo State University, Mexico

**Bupinder Zutshi,**  
Jawaharlal Nehru University, India

**Pavel Krpalek,**  
University of Economics in Prague, Czech Republic

**Mondira Dutta,**  
Jawaharlal Nehru University, India

**Evelio Velis,**  
Barry University, USA

**Mahbubul Haque,**  
Daffodil International University, Bangladesh

**Diego Enrique Baez Zarabanda,**  
Autonomous University of Bucaramanga, Colombia

**Juan Antonio Lopez Nunez,**  
University of Granada, Spain

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



**A. Zahoor Khan,**  
International Islamic University Islamabad, Pakistan

**Valentina Manoiu,**  
University of Bucharest, Romania

**Andrzej Palinski,**  
AGH University of Science and Technology, Poland

**Jose Carlos Teixeira,**  
University of British Columbia Okanagan, Canada

**Martin Gomez-Ullate,**  
University of Extremadura, Spain

**Nicholas Samaras,**  
Technological Educational Institute of Larissa, Greece

**Emrah Cengiz,**  
Istanbul University, Turkey

**Francisco Raso Sanchez,**  
University of Granada, Spain

**Simone T. Hashiguti,**  
Federal University of Uberlandia, Brazil

**Tayeb Boutbouqalt,**  
University, Abdelmalek Essaadi, Morocco

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

**Ismail Ipek,**  
Istanbul Aydin University, Turkey

**Olena Kovalchuk,**  
National Technical University of Ukraine, Ukraine

**Oscar Garcia Gaitero,**  
University of La Rioja, Spain

**Alfonso Conde,**  
University of Granada, Spain

**Jose Antonio Pineda-Alfonso,**  
University of Sevilla, Spain

**Jingshun Zhang,**  
Florida Gulf Coast University, USA

**Olena Ivanova,**  
Kharkiv National University, Ukraine

**Marco Mele,**  
Unint University, Italy

**Okyay Ucan,**  
Omer Halisdemir University, Turkey

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

**Matti Raudjarv,**  
University of Tartu, Estonia

**Cosimo Magazzino,**  
Roma Tre University, Italy

**Susana Sousa Machado,**  
Polytechnic Institute of Porto, Portugal

**Jelena Zascerinska,**  
University of Latvia, Latvia

**Umman Tugba Simsek Gursoy,**  
Istanbul University, Turkey

**Zoltan Veres,**  
University of Pannonia, Hungary

**Vera Komarova,**  
Daugavpils University, Latvia

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

**Pierluigi Passaro,**  
University of Bari Aldo Moro, Italy

**Georges Kpazai,**  
Laurentian University, Canada

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

**Michele Russo,**  
University of Catanzaro, Italy

**Nikolett Deutsch,**  
Corvinus University of Budapest, Hungary

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

**Brian Sloboda,**  
University of Maryland, USA

**Natalia Sizochenko**  
Dartmouth College, USA

**Marisa Cecilia Tumino,**  
Adventista del Plata University, Argentina

**Luca Scaini,**  
Al Akhawayn University, Morocco

**Aelita Skarbaliene,**  
Klaipeda University, Lithuania

**Oxana Bayer,**  
Dnipropetrovsk Oles Honchar University, Ukraine

**Onyeka Uche Ofili,**  
International School of Management, France

**Aurela Saliaj,**  
University of Vlora, Albania

**Maria Garbelli,**  
Milano Bicocca University, Italy

**Josephus van der Maesen,**  
Wageningen University, Netherlands

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

**Francisco Gonzalez Garcia,**  
University of Granada, Spain

**Mahgoub El-Tigani Mahmoud,**  
Tennessee State University, USA

**Daniel Federico Morla,**  
National University of Rio Cuarto, Argentina

**Valeria Autran,**  
National University of Rio Cuarto, Argentina

**Muhammad Hasmi Abu Hassan Asaari,**  
Universiti Sains, Malaysia

**Angelo Viglianisi Ferraro,**  
Mediterranean University of Reggio Calabria, Italy

**Roberto Di Maria,**  
University of Palermo, Italy

**Delia Magherescu,**  
State University of Moldova, Moldova

**Paul Waithaka Mahinge,**  
Kenyatta University, Kenya

**Aicha El Alaoui,**  
Sultan My Slimane University, Morocco

**Marija Brajcic,**  
University of Split, Croatia

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

**Belen Martinez-Ferrer,**  
Univeristy Pablo Olavide, Spain

**Rachid Zammar,**  
University Mohammed 5, Morocco

**Fatma Koc,**  
Gazi University, Turkey

**Calina Nicoleta,**  
University of Craiova, Romania

**Shadaan Abid,**  
UT Southwestern Medical Center, USA

**Sadik Madani Alaoui,**  
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

**Patrizia Gazzola,**  
University of Insubria, Italy

**Krisztina Szegedi,**  
University of Miskolc, Hungary

**Liliana Esther Mayoral,**  
National University of Cuyo, Argentina

**Amarjit Singh,**  
Kurukshetra University, India

**Oscar Casanova Lopez,**  
University of Zaragoza, Spain

**Emina Jerkovic,**  
University of Josip Juraj Strossmayer, Croatia

**Carlos M. Azcoitia,**  
National Louis University, USA

**Rokia Sanogo,**  
University USTTB, Mali

**Bertrand Lemennicier,**  
University of Paris Sorbonne, France

**Lahcen Benaabidate,**  
University Sidi Mohamed Ben Abdellah, Morocco

**Janaka Jayawickrama,**  
University of York, United Kingdom

**Kiluba L. Nkulu,**  
University of Kentucky, USA

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

**George C. Katsadoros,**  
University of the Aegean, Greece

**Elena Gavrilova,**  
Plekhanov University of Economics, Russia

**Eyal Lewin,**  
Ariel University, Israel

**Szczepan Figiel,**  
University of Warmia, Poland

**Don Martin,**  
Youngstown State University, USA

**John B. Strait,**  
Sam Houston State University, USA

**Nirmal Kumar Betchoo,**  
University of Mascareignes, Mauritius

**Camilla Buzzacchi,**  
University Milano Bicocca, Italy

**EL Kandoussi Mohamed,**  
Moulay Ismai University, Morocco

**Susana Borrás Pentinat,**  
Rovira i Virgili University, Spain

**Jelena Kasap,**  
Josip J. Strossmayer University, Croatia

**Massimo Mariani,**  
Libera Università Mediterranea, Italy

**Rachid Sani,**  
University of Niamey, Niger

**Luis Aliaga,**  
University of Granada, Spain

**Robert McGee,**  
Fayetteville State University, USA

**Angel Urbina-Garcia,**  
University of Hull, United Kingdom

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

**Marko Andonov,**  
American College, Republic of Macedonia

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

**Leyla Yilmaz Findik,**  
Hacettepe University. Turkey

**Vlad Monescu,**  
Transilvania University of Brasov, Romania

**Stefano Amelio,**  
University of Unsubria, Italy

**Enida Pulaj,**  
University of Vlora, Albania

**Christian Cave,**  
University of Paris XI, France

**Julius Gathogo,**  
University of South Africa, South Africa

**Claudia Pisoschi,**  
University of Craiova, Romania

**Arianna Di Vittorio,**  
University of Bari “Aldo Moro”, Italy

**Joseph Ntale,**  
Catholic University of Eastern Africa, Kenya

**Kate Litondo,**  
University of Nairobi, Kenya

**Maurice Gning,**  
Gaston Berger University, Senegal

**Katarina Marosevic,**  
J.J. Strossmayer University, Croatia

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

**Syed Shadab,**  
Jazan University, Saudi Arabia

**Koffi Yao Blaise,**  
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

**Mario Adelfo Batista Zaldivar,**  
Technical University of Manabi, Ecuador

**Kalidou Seydou,**  
Gaston Berger University, Senegal

**Patrick Chanda,**  
The University of Zambia, Zambia

**Meryem Ait Ouali,**  
University IBN Tofail, Morocco

**Laid Benderradji,**  
Mohamed Boudiaf University of Msila, Algeria

**Amine Daoudi,**  
University Moulay Ismail, Morocco

**Oruam Cadex Marichal Guevara,**  
University Maximo Gomes Baez, Cuba

**Vanya Katsarska,**  
Air Force Academy, Bulgaria

**Carmen Maria Zavala Arnal,**  
University of Zaragoza, Spain

**Francisco Gavi Reyes,**  
Postgraduate College, Mexico

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

**Patricia Randrianavony,**  
University of Antananarivo, Madagascar

**Roque V. Mendez,**  
Texas State University, USA

**Kesbi Abdelaziz,**  
University Hassan II Mohammedia, Morocco

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

**Ilknur Bayram,**  
Ankara University, Turkey

**Elenica Pjero,**  
University Ismail Qemali, Albania



**Gokhan Ozer,**  
Fatih Sultan Mehmet Vakif University, Turkey

**Veronica Flores Sanchez,**  
Technological University of Veracruz, Mexico

**Camille Habib,**  
Lebanese University, Lebanon

**Larisa Topka,**  
Irkutsk State University, Russia

**Paul M. Lipowski,**  
Holy Family University, USA

**Marie Line Karam,**  
Lebanese University, Lebanon

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

**Mohamed Berradi,**  
Ibn Tofail University, Morocco

**Visnja Lachner,**  
Josip J. Strossmayer University, Croatia

**Sangne Yao Charles,**  
University Jean Lorougnon Guede, Ivory Coast

**Omar Boubker,**  
University Ibn Zohr, Morocco

**Kouame Atta,**  
University Felix Houphouet Boigny, Ivory Coast

**Patience Mpanzu,**  
University of Kinshasa, Congo

**Devang Upadhyay,**  
University of North Carolina at Pembroke, USA

**Nyamador Wolali Seth,**  
University of Lome, Togo

**Akmel Meless Simeon,**  
Ouattara University, Ivory Coast

**Mohamed Sadiki,**  
IBN Tofail University, Morocco

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

**Gamal Elgezeery,**  
Suez University, Egypt

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

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

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

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

**Alla Manga,**  
University Cheikh Anta Diop, Senegal

**Lalla Aicha Lrhorfi,**  
University Ibn Tofail, Morocco

**Ruth Adunola Aderanti,**  
Babcock University, Nigeria

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

**Aka Koffi Sosthene,**  
Research Center for Oceanology, Ivory Coast

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

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

**Sophia Barinova,**  
University of Haifa, Israel

**Leonidas Antonio Cerda Romero,**  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador

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

**Aderewa Amontcha,**  
Universite d'Abomey-Calavi, Benin

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

**Rene Mesias Villacres Borja,**  
Universidad Estatal De Bolivar, Ecuador

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

**Qamil Dika,**  
Tirana Medical University, Albania

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

**Hariti Hakim,**  
University Alger 3, Algeria

**Emel Ceyhun Sabir,**  
University of Cukurova, Turkey

**Salomon Barrezueta Unda,**  
Universidad Tecnica de Machala, Ecuador

**Belkis Zervent Unal,**  
Cukurova University, Turkey

**Elena Krupa,**  
Kazakh Agency of Applied Ecology, Kazakhstan

**Carlos Angel Mendez Peon,**  
Universidad de Sonora, Mexico

**Antonio Solis Lima,**  
Apizaco Institute Technological, Mexico

**Roxana Matefi,**  
Transilvania University of Brasov, Romania

**Bouharati Saddek,**  
UFAS Setif1 University, Algeria

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

**Serigne Modou Sarr,**  
Universite Alioune DIOP de Bambey, Senegal

**Nina Stankous,**  
National University, USA

**Lovergine Saverio,**  
Tor Vergata University of Rome, Italy

**Fekadu Yehualashet Maru,**  
Jigjiga University, Ethiopia

**Karima Laamiri,**  
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

**Elena Hunt,**  
Laurentian University, Canada

**Sharad K. Soni,**  
Jawaharlal Nehru University, India

**Lucrezia Maria de Cosmo,**  
University of Bari “Aldo Moro”, Italy

**Florence Kagendo Muindi,**  
University of Nairobi, Kenya

**Maximo Rossi Malan,**  
Universidad de la Republica, Uruguay

**Haggag Mohamed Haggag,**  
South Valley University, Egypt

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

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

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

**Fernando Paulo Oliveira Magalhaes,**  
Polytechnic Institute of Leiria, Portugal

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

**Stefan Cristian Gherghina,**  
Bucharest University of Economic Studies, Romania

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

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

**Aristide Yemmafouo,**  
University of Dschang, Cameroon

**Gabriel Anibal Monzón,**  
University of Moron, Argentina

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

**Arburim Iseni,**  
State University of Tetovo, Republic of Macedonia

**Raoufou Pierre Radji,**  
University of Lome, Togo

**Juan Carlos Rodriguez Rodriguez,**  
Universidad de Almeria, Spain

**Satoru Suzuki,**  
Panasonic Corporation, Japan

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

**Russell Kabir,**  
Anglia Ruskin University, UK

**Nasreen Khan,**  
SZABIST, Dubai

**Luisa Morales Maure,**  
University of Panama, Panama

**Lipeng Xin,**  
Xi'an Jiaotong University, China

**Harja Maria,**  
Gheorghe Asachi Technical University of Iasi, Romania

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

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

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

**Bertin Desire Soh Fotsing,**  
University of Dschang, Cameroon

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

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

**Abdelfettah Maouni,**  
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

**Alina Stela Resceanu,**  
University of Craiova, Romania

**Alilouch Redouan,**  
Chouaib Doukkali University, Morocco

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

**Sufi Amin,**  
International Islamic University, Islamabad Pakistan

**Sanja Milosevic Govedarovic,**  
University of Belgrade, Serbia

**Elham Mohammadi,**  
Curtin University, Australia

**Andrianarizaka Marc Tiana,**  
University of Antananarivo, Madagascar

**Ngakan Ketut Acwin Dwijendra,**  
Udayana University, Indonesia

**Yue Cao,**  
Southeast University, China

**Audrey Tolouian,**  
University of Texas, USA

**Asli Cazorla Milla,**  
Universidad Internacional de Valencia, Spain

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

**Tabou Talahatou,**  
University of Abomey-Calavi, Benin

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

**Hamidreza Izadi,**  
Chabahar Maritime University, Iran

**Hanaa Ouda Khadri Ahmed Ouda,**  
Ain Shams University, Egypt

**Rachid Ismaili,**  
Hassan 1 University, Morocco

**Tamar Ghutidze,**  
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

**Emine Koca,**  
Ankara Haci Bayram Veli University, Turkey

**David Perez Jorge,**  
University of La Laguna, Spain

**Irma Guga,**  
European University of Tirana, Albania

**Jesus Gerardo Martínez del Castillo,**  
University of Almeria, Spain

**Mohammed Mouradi,**  
Sultan Moulay Slimane University, Morocco

**Marco Tulio Ceron Lopez,**  
Institute of University Studies, Mexico

**Mangambu Mokoso Jean De Dieu,**  
University of Bukavu, Congo

**Hadi Sutopo,**  
Topazart, Indonesia

**Priyantha W. Mudalige,**  
University of Kelaniya, Sri Lanka

**Emmanouil N. Choustoulakis,**  
University of Peloponnese, Greece

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

**Pinnawala Sangasumana,**  
University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka

**Abdelali Kaaouachi,**  
Mohammed I University, Morocco

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

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

**Amaya Epelde Larranaga,**  
University of Granada, Spain

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

**Saly Sambou,**  
Cheikh Anta Diop University, Senegal

**Daniela Di Berardino,**  
University of Chieti-Pescara, Italy

**Dorjana Klosi,**  
University of Vlore “Ismail Qemali, Albania

**Abu Hamja,**  
Aalborg University, Denmark

**Stankovska Gordana,**  
University of Tetova, Republic of Macedonia



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

**Maria Leticia Bautista Diaz,**  
National Autonomous University, Mexico

**Bruno Augusto Sampaio Fuga,**  
North Parana University, Brazil

**Anouar Alami,**  
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

**Vincenzo Riso,**  
University of Ferrara, Italy

**Janhavi Nagwekar,**  
St. Michael's Hospital, Canada

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

**Xi Chen,**  
University of Kentucky, USA

**Fateh Mebarek-Oudina,**  
Skikda University, Algeria

**Nadia Mansour,**  
University of Sousse, Tunisia

**Jestoni Dulva Maniago,**  
Majmaah University, Saudi Arabia

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

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

**Enriko Ceko,**  
Wisdom University, Albania

**Laura Fischer,**  
National Autonomous University of Mexico, Mexico

**Mauro Berumen,**  
Caribbean University, Mexico

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

**Maria Carlota,**  
Autonomous University of Queretaro, Mexico

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

**Bhupendra Karki,**  
University of Louisville, Louisville, USA

**Evens Emmanuel,**  
University of Quisqueya, Haiti

**Iresha Madhavi Lakshman,**  
University of Colombo, Sri Lanka

**Francesco Scotognella,**  
Polytechnic University of Milan, Italy

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

**Rawaa Qasha,**  
University of Mosul, Iraq

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

**Hani Nasser Abdelhamid,**  
Assiut University, Egypt

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

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

**Ilenia Farina,**  
University of Naples "Parthenope", Italy

**Luisa Zanolla,**  
Azienda Ospedaliera Universitaria Verona, Italy

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

**Adriana Burlea-Schiopoiu,**  
University of Craiova, Romania

**Fernando Espinoza Lopez,**  
Hofstra University, USA

**Ammar B. Altemimi,**  
University of Basrah, Iraq

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

**Davide Calandra,**  
University of Turin, Italy

**Nicola Varrone,**  
University of Campania Luigi Vanvitelli, Italy

**Luis Angel Medina Juarez,**  
University of Sonora, Mexico

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

**Sameer Algburi,**  
Al-Kitab University, Iraq

**Braione Pietro,**  
University of Milano-Bicocca, Italy

**Mounia Bendari,**  
Mohammed VI University, Morocco

**Stamatios Papadakis,**  
University of Crete, Greece

**Aleksey Khlopytskyi,**  
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

**Sung-Kun Kim,**  
Northeastern State University, USA

**Nemanja Berber,**  
University of Novi Sad, Serbia

**Krejsa Martin,**  
Technical University of Ostrava, Czech Republic

**Magdalena Vaverkova,**  
Mendel University in Brno, Czech Republic

**Jeewaka Kumara,**  
University of Peradeniya, Sri Lanka

**Antonella Giacosa,**  
University of Torino, Italy

**Paola Clara Leotta,**  
University of Catania, Italy

**Francesco G. Patania,**  
University of Catania, Italy

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

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

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

**Usama Konbr,**  
Tanta University, Egypt

**Branislav Radeljic,**  
Necmettin Erbakan University, Turkey

**Anita Mandaric Vukusic,**  
University of Split, Croatia

**Barbara Cappuzzo,**  
University of Palermo, Italy

**Roman Jimenez Vera,**  
Juarez Autonomous University of Tabasco, Mexico

**Lucia P. Romero Mariscal,**  
University of Almeria, Spain

**Pedro Antonio Martin-Cervantes,**  
University of Almeria, Spain

**Hasan Abd Ali Khudhair,**  
Southern Technical University, Iraq

**Qanqom Amira,**  
Ibn Zohr University, Morocco

**Farid Samir Benavides Vanegas,**  
Catholic University of Colombia, Colombia

**Nedret Kuran Burcoglu,**  
Emeritus of Bogazici University, Turkey

**Julio Costa Pinto,**  
University of Santiago de Compostela, Spain

**Satish Kumar,**  
Dire Dawa University, Ethiopia

**Favio Farinella,**  
National University of Mar del Plata, Argentina

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

**Salwa Alinat,**  
Open University, Israel

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

**Rasool Bukhsh Mirjat,**  
Senior Civil Judge, Islamabad, Pakistan

**Samantha Goncalves Mancini Ramos,**  
Londrina State University, Brazil

**Mykola Nesprava,**  
Dnoproptetrovsk State University of Internal Affairs, Ukraine

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

**Giacomo Buoncompagni,**  
University of Florence, Italy

**Elza Nikoleishvili,**  
University of Georgia, Georgia

**Mohammed Mahmood Mohammed,**  
University of Baghdad, Iraq

**Oudgou Mohamed,**  
University Sultan Moulay Slimane, Morocco

**Arlinda Ymeraj,**  
European University of Tirana, Albania

**Luisa Maria Arvide Cambra,**  
University of Almeria, Spain

**Charahabil Mohamed Mahamoud,**  
University Assane Seck of Ziguinchor, Senegal

**Ehsaneh Nejad Mohammad Nameghi,**  
Islamic Azad University, Iran

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

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

**Harouna Issa Amadou,**  
Abdou Moumouni University of Niger

**Achille Magloire Ngah,**  
Yaounde University II, Cameroun

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

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

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

**Oumar Bah,**  
Sup' Management, Mali

**Angelica Selene Sterling Zozoaga,**  
Universidad del Caribe, Mexico

**Josephine W. Gitome,**  
Kenyatta University, Kenya

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

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

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

**Desara Dushi,**  
Vrije Universiteit Brussel, Belgium

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

**Aziz Dieng,**  
University of Portsmouth, UK

**Ruth Magdalena Gallegos Torres,**  
Universidad Autonoma de Queretaro, Mexico

**Alami Hasnaa,**  
Universite Chouaid Doukkali, Maroc

**Emmanuel Acquah-Sam,**  
Wisconsin International University College, Ghana

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

**Hicham Chairi,**  
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

**Nouredine El Aouad,**  
University Abdelmalek Essaady, Morocco

**Samir Diouny,**  
Hassan II University, Casablanca, Morocco

**Gibet Tani Hicham,**  
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

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

**Abderrahim Ayad,**  
Abdelmalek Essaadi University, Morocco

**Sara Teidj,**  
Moulay Ismail University Meknes, Morocco

**Gbadamassi Fousséni,**  
Université de Parakou, Benin

**Bouyahya Adil,**

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

**Haounati Redouane,**

Ibn Zohr Agadir, Morocco

**Hicham Es-soufi,**

Moulay Ismail University, Morocco

**Imad Ait Lhassan,**

Abdelmalek Essaâdi University, Morocco

**Givi Makalatia,**

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

**Adil Brouri,**

Moulay Ismail University, Morocco

**Noureddine El Baraka,**

Ibn Zohr University, Morocco

**Ahmed Aberqi,**

Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

**Oussama Mahboub,**

Queens University, Kingston, Canada

**Markela Muca,**

University of Tirana, Albania

**Tessougue Moussa Dit Martin,**

Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Mali

**Kledi Xhaxhiu,**

University of Tirana, Albania

**Saleem Iqbal,**

University of Balochistan Quetta, Pakistan

**Dritan Topi,**

University of Tirana, Albania

**Dakouri Guissa Desmos Francis,**

Université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire

**Adil Youssef Sayeh,**

Chouaib Doukkali University, Morocco



**Zineb Tribak,**  
Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Morocco

**Ngwengeh Brendaline Beloke,**  
University of Biea, Cameroon

**El Agy Fatima,**  
Sidi Mohamed Ben Abdelah University, Morocco

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

**Nato Durglishvili,**  
University of Georgia, Georgia

**Abdelkrim Salim,**  
Hassiba Benbouali University of Chlef, Algeria

**Omar Kchit,**  
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

**Isaac Ogundu,**  
Ignatius Ajuru University of Education, Nigeria

**Giuseppe Lanza,**  
University of Catania, Italy

**Monssif Najim,**  
Ibn Zohr University, Morocco

**Luan Bektashi,**  
"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'Education et de la Formation d'Inezgane (CRMEF),  
Morocco

**Emmanuel Gitonga Gicharu,**  
Mount Kenya University, Kenya

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

**Foldi Kata,**  
University of Debrecen, Hungary

**Elda Xhumari,**  
University of Tirana, Albania

**Daniel Paredes Zempual,**  
Universidad Estatal de Sonora, Mexico

**Jean Francois Regis Sindayihebura,**  
University of Burundi, Burundi

**Luis Enrique Acosta Gonzlez,**  
University of Holguin, Cuba

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

**Maria Elena Jaime de Pablos,**  
University of Almeria, Spain

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

**Compaore Inoussa**  
Université Nazi BONI, Burkina Faso

**Dorothee Fegbawe Badanaro**  
University of Lome, Togo

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

**Compaore Inoussa**

Université Nazi BONI, Burkina Faso

**Dorothee Fegbawe Badanaro**

University of Lome, Togo

**Kouakou N'dri Laurent**

Alassane Ouattara University, Ivory Coast

**Jalila Achouaq Aazim**

University Mohammed V, Morocco

**Georgios Farantos**

University of West Attica, Greece

**Maria Aránzazu Calzadilla Medina**

University of La Laguna, Spain

**Tiendrebeogo Neboma Romaric**

Nazi Boni University, Burkina Faso

**Dionysios Vourtsis**

University of West Attica, Greece

**Zamir Ahmed**

Government Dehli Degree Science College, Pakistan

**Akinsola Oluwaseun Kayode**

Chrisland University, Nigeria

**Rosendo Romero Andrade**

Autonomous University of Sinaloa, Mexico

**Belamalem Souad**

University Ibn Tofail, Morocco

**Hoummad Chakib**

Cadi Ayyad University, Morocco

**Jozsef Zoltan Malik**

Budapest Metropolitan University, Hungary

**Sahar Abboud Alameh**

LIU University, Lebanon

**Rozeta Shahinaj**

Medical University of Tirana, Albania

**Rashidat Ayanbanke Busari**  
Robert Gordon University, UK

**Tornike Merebashvili**  
Grigol Robakidze University, Georgia

**Zena Abu Shakra**  
American University of Dubai, UAE

# Table of Contents:

<b>Assessing Climatic Variability in Data Scare Region of Morocco (UpperLarbaâ Basin): Drought Periods and Exceptional Precipitation Events from 1958 to 2023.....</b>	<b>1</b>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

*Brahim Bougdira*

*Badr Layan*

*Sadik El Yadari*

*Mohamed Ben Abbou*

*Nessraddine Adouk*

*Lahcen Benaabidate*

<b>Modelling Growth and Yield Components of Okra (Abelmoschus esculentus (L.) Moench) and Ayoyo (Corchorus olitorius (L.)) Using Multiple Regression.....</b>	<b>21</b>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

*Alhassan Abdul Latif Husein*

*Zakaria Issaka*

<b>Ré-implantation pulpaire de doigt sans anastomose microvasculaire : à propos de trois cas.....</b>	<b>40</b>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

*Abdourahmane Ouangre*

*T. Julien Savadogo*

*Nebon Delphine Bado*

*Sibiri Abdoul Karim Bouda*

*Olivier Zampou*

*Malick Diallo*

*Patrick W. H. Dakoure*



**Acacia senegal (L.) Willd., une espèce polyvalente dans la vie des communautés vivant autour des gommères au Niger.....49**

*Ali Abdoukadi Abdoulaye*

*Aichatou Assoumane*

*Abdoukadi Laouali*

*Bénédicte Favreau*

**Stratégies d'adaptations des producteurs rizicoles face aux changements climatiques dans la Région Menabe, Madagascar.....71**

*Aboudou Guillaume Tirihaja*

*Tahiana Andriaharimalala*

*Félicitée Rejo-Fienena*

**Suivi des Paramètres Physico-Chimiques des Eaux Souterraines du Bassin de l'Alima, affluent du Fleuve Congo : Campagnes de Grande Saison Sèche 2021 et 2022 dans les Districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji, République du Congo.....96**

*Noida Janesia Lebel Mouakoumbat*

*Chester Gatsé Ebotouhouna*

*Urbain Gampio Mbilou*

**Injections du plasma riche en plaquettes (PRP) dans la gonarthrose :  
expérience d'un service de médecine interne/rhumatologie en Afrique  
subsaharienne.....122**

*Adama Bah*

*Cheikh Ahmadou Bamba Diaw*

*Julien Djossou*

*Cheikh Wane Ndong*

*Aly Salane*

*Souhaibou Ndong*

**Connaissances, attitudes et pratiques des professionnels de santé en  
matière de cancer du col de l'utérus dans la commune de Parakou (Bénin)  
en 2024.....134**

*Achille Awadé Afoukou Obossou*

*Rachidi Imorou Sidi*

*Roger Klipézo*

*Marie-Claire Balle Pognon*

*Samiath Bakari*

*Sedjro Raoul Atade*

*Mahublo Vinadou Vodouhe*

*Koffi Féréra Yehouessi*

*Fanny Maryline Nouessèwa Hounkponou Ahouingnan*

*Kabibou Salifou*

**Etude de la co-circulation des virus Grippaux et SARSCoV-2 dans les sites sentinelles d'Infection Respiratoire Aigüe Sévère de la Grippe en République de Guinée (2023-2024).....152**

*Mamadou Bhoie Keita*

*Mamadou Aliou Sampou*

*Abdoulaye Oury Barry*

*Mamoudou Conde*

*Pierre Felano*

*Mafoudia Soumare*

*Bassala Traore*

*Pepe Tohonamou*

*Kaba Kourouma*

*Fodé Amara Traore*

**Perceptions des producteurs sur l'importance et les effets de l'agroécologie en maraîchage au Sud du Bénin.....170**

*Rodolphe Hedokingbe*

*Claude Ahouangninou*

*Jules Adé*

*Ibrahim El Ghazi*

*Yousra Ameziane*

*Martine Tachin*

*Marie-Paule Kestemont*

## Assessing Climatic Variability in Data Scarce Region of Morocco (UpperLarbaâ Basin): Drought Periods and Exceptional Precipitation Events from 1958 to 2023

***Brahim Bougdira***

Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco

***Badr Layan***

***Sadik El Yadari***

Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

***Mohamed Ben Abbou***

Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques of Fez,  
Annex Taza, Morocco

***Nessraddine Adouk***

Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco

***Lahcen Benaabidate***

Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n18p1](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p1)

Submitted: 18 January 2025

Accepted: 23 June 2025

Published: 30 June 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Bougdira, B., Layan, B., El Yadari, S., Abbou, M.B., Adouk, N. & Benaabidate, L. (2025). *Caractérisation*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (18), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p1>

### Abstract

The southern Mediterranean region is characterized by significant climatic variability, which profoundly affects precipitation patterns, a critical water resource. This region has been experiencing atypical weather events, including extreme precipitation and extended drought periods. The aim of this study is to investigate the climatic variability over data-scarce regions. To attend to this objective, we conducted a comprehensive statistical analysis within the upperLarbaâ basin, as a case study, situated at the edge of the Eastern Rif Mountains. Our research involved a thorough analysis of daily, monthly, and annual precipitation data spanning 65 years, from 1958 to 2023. The homogeneity test revealed a disturbance in the time series from the late 1970s to the early 1980s across all six rainfall stations used. Utilizing the

Moving Average and Inverse Distance Weighting (IDW) model, we identified variations in rainfall amounts, demonstrating a notable trend from the southwest to the northeast of the basin. Furthermore, correlation analysis between precipitation levels and the North Atlantic Oscillation (NAO) index showed an inverse relationship, particularly evident in the northwestern section of the watershed. The Evapotranspiration Moisture Index (EMI) showed that drought lasted between 33 and 36 years, with one-third of the samples considered normal drought and two cases labeled as severe based on the Standardized Precipitation Index (SPI). Our findings suggest that the Pearson type III distribution is the most appropriate for estimating the return periods of extreme precipitation in Taza, whereas the Gumbel distribution is better suited for Sebt Bouklal. We recorded precipitation levels of 45 mm in Taza and 54 mm in Sebt Bouklal for a 5-year return period. For a 100-year return period, the figures increased to 88 mm in Taza and 95 mm in Sebt Bouklal.

---

**Keywords:** UpperLarbaâ basin, climatic variability, extreme precipitation, drought periods

## Introduction

The weather of any place refers to the atmospheric variables for a brief period. Climate, however, represents atmospheric conditions for a long period of time and generally refers to the normal or mean course of the weather (Xoplaki, 2002). Additionally, climate is the long-term summation of atmospheric elements and their variations (Raymond et al., 2016). We can expand climate to encompass future expectations spanning several weeks, months, or even years ahead. It should include not only the average values of the climatic elements that prevail at different times but also their extreme ranges, variability, and the frequency of various occurrences. Quadrelli et al. (2001) found that just as one year differs from another, so do decades and centuries, sometimes by a smaller and even more significant amount. Overall, the main climatic elements include precipitation, temperature, humidity, sunshine, wind velocity, and such phenomena as fog, frost, thunder, gale, cloudiness, grass minimum temperature, and soil temperature at various depths (Xoplaki, 2002). Scientists have used various methods to analyze climate features throughout the last century. In such an analysis, scientists usually base the process on monthly observations over a period long enough (usually about 30 years) to ensure more detailed results (Moron and Ward, 1998).

Regional climate variabilities, particularly temperature increases and sudden heavy rainfall, are affecting many natural systems, according to observational evidence (Sebbar et al., 2011). Consequently, analyzing the

spatial and temporal variability of precipitation, as well as determining the frequency of drought periods and extreme rainfall events, is crucial. These climatic features have direct and indirect implications for water resources. Persistent, stable atmospheric conditions could adversely affect the economy, particularly the agricultural sector. Additionally, excessive precipitation often introduces hydroclimatic risks, potentially leading to losses for individuals and their assets (Sebbar et al., 2011).

Numerous analyses conducted in the Mediterranean region have highlighted a rising trend in the occurrence of climatic droughts, particularly during the winter months (Hoerling et al., 2012). A comprehensive analysis spanning 56 years (1957–2013) has documented the effects of climatic drought on grain production in Spain (Raymond et al., 2016). Furthermore, Barriendos et al. (1999) conducted a study in Catalonia between 1812 and 1824, which identified notable instances of drought affecting the region. In addition, an investigation centered on drought records from Barcelona, spanning 1521–1989, confirmed the occurrence of drought conditions (Barriendos et al., 1998).

Furthermore, the long observation series allowed for the identification of climatic variability, opening extensive possibilities to conduct various methods, which vary depending on the data's quality. Some of these approaches link the general state of atmospheric pressure with other effects occurring in the 500 hectopascal range (Hertig, 2013). For instance, correlating precipitation data from 23 weather stations in Greece during the winter revealed a close relationship between high-pressure systems over Europe and the prevalence of stable weather conditions and drought in the country. Additionally, the study linked the summer air temperatures to atmospheric circulation and sea surface temperatures in the Mediterranean (Xoplaki, 2002).

Alternative methodologies employed statistical analysis to develop experimental models. These techniques remain a core strategy for identifying both drought and exceptional precipitation phases. Such studies considered the variability of precipitation as a principal climatic element in estimating drought periods. Certain indicators aim to establish the thresholds necessary for distinguishing between wet and dry periods (McKee et al., 1993). In this context, the focus has been on assessing the correlations among different factors that affect weather patterns. Numerous studies have underscored the connection between diminishing precipitation levels and the rising drought incidence, which particularly intensifies during the summer and autumn in the central and western areas of the Mediterranean basin (Hertig, 2013).

The southwestern coastline, akin to other Mediterranean areas, showcases notable fluctuations in precipitation, lying between the temperate zone to the north and the tropical zone to the south. This region experiences

hot, arid summers, while the coastal regions benefit from a more temperate climate. In winter, high-pressure systems shift toward the Canary Islands, allowing polar cold fronts to advance and introduce precipitation and humidity, impacting numerous southwestern Mediterranean nations. Taibi and Meddi (2013) conducted research in Algeria that revealed significant variability in precipitation from 1940 to 2004, highlighting an initial increase in rainfall during the early 1940s and a sustained decline that continued until the beginning of the current century. In Tunisia, studies have demonstrated that drought is a persistent issue, often lasting for two to three consecutive years or even longer (Benzarti, 2001).

Morocco, like other nations along the southern Mediterranean coastline, is witnessing a rise in the duration of drought periods. Geological, geomorphological, and historical evidence suggests that Morocco ranks among the region's most vulnerable to drought and climate fluctuations (Sebbar et al., 2011). The country's geographical location renders it particularly susceptible to the effects of high-pressure systems originating from the Azores and the Sahara, alongside the intrusion of dry tropical air masses (Elkbichi et al., 2024). Additionally, the incidence of drought has significantly escalated in the last ten years, adversely affecting water resources and inflicting damage on the economy, especially within the agricultural sector (Ouchouia and Chaouki, 2022).

On the other hand, exceptional precipitation denotes a significant amount of rainfall occurring within a short timeframe. This type of precipitation has immediate effects on water dynamics, often resulting in a notable increase in streamflow that exceeds normal levels, thereby posing potential flood risks (Habibi, 2012; Qadem, 2019). Local populations of Taza's region frequently witness such occurrences downstream of the Larbaâ River and its tributaries, crossing several urban and rural centers (Layan et al., 2024a).

This study attempts to identify climatic variability in data-scarce regions. It specifically focuses on semi-arid regions of northeastern Morocco, where irregular rainfall patterns and sparse meteorological monitoring networks exacerbate the difficulties of measuring the weather elements. This article aims to apply a unique method to investigate the climatic variability over the Upper Larbaâ basin. It explores the temporal and spatial variability of precipitations and droughts in relation to atmospheric pressure systems, specifically by analyzing the differential effects of the Azores High and the Icelandic Low. The study also clarifies the connection between positive phases of the North Atlantic Oscillation index and the occurrence of stable weather conditions and drought. Due to the limited data, we will rely on free online resources, which have provided 65 years' worth of monthly observations to investigate drought frequency and its severity. Furthermore, we will analyze

daily data spanning 40 years to identify significant precipitation events. We will conduct a statistical analysis to assess correlations and return periods associated with these exceptional precipitation events. We will also use standard indicators to distinguish between dry and wet periods while applying the Inverse Distance Weighting (IDW) model for spatial analysis.

## **Study area**

The study focuses on the Upper Larbaâ basin in northeastern Morocco, characterized by a semi-arid climate and strategically located in the pre-Rif mountains (Figure 1). The catchment encompasses an area of approximately 284 km<sup>2</sup>, accounting for 9.64% of the Inaouen basin (Layan et al., 2024a) (Figure 1). We selected this area due to its notable climatic variability, making it a perfect case study for conducting statistical analysis to investigate the methods' accuracy. We delineated the watershed's boundaries using two topographic maps at the scale of 1:50,000, specifically Ain Boukellal and Babel Mrouj. The region is characterized by a semi-arid climate and regularly experiences sporadic and unpredictable rainfall, often manifesting as brief, intense storms with substantial precipitation. Overgrazing and unsustainable forest utilization have led to significant degradation of the vegetation cover, exacerbating water erosion (Tribak, 2020). Impermeable rock types, like marls and marl-limestones, make it harder for water to soak in, which leads to more surface runoff (Layan et al., 2024b). The northern mountain peaks feature conglomerate formations and resilient sandstone (Tribak, 2020). Geomorphologically, the watershed predominantly exhibits hilly landforms, a consequence of severe erosion affecting vulnerable lithologies and unprotected soils. The Larbaâ Wadi is characterized by a torrential hydrological regime, marked by sudden and intense flooding during the fall and winter months, alongside prolonged low-flow conditions lasting several months (Layan et al., 2024a). The Sebt Bouklal Rural Center sits along the Larbaâ River, approximately 17 kilometers northeast of Taza City. The community's developments occupy the floodplain of the Larbaâ Wadi, adjacent to Road 29, which serves as the national route connecting nearby towns and villages. Such anthropogenic activities disrupt natural flow during flood events (Layan et al., 2024a). Unfortunately, the decision-making processes have overlooked the hydrological characteristics of the drainage basin.

## **Materials and methods**

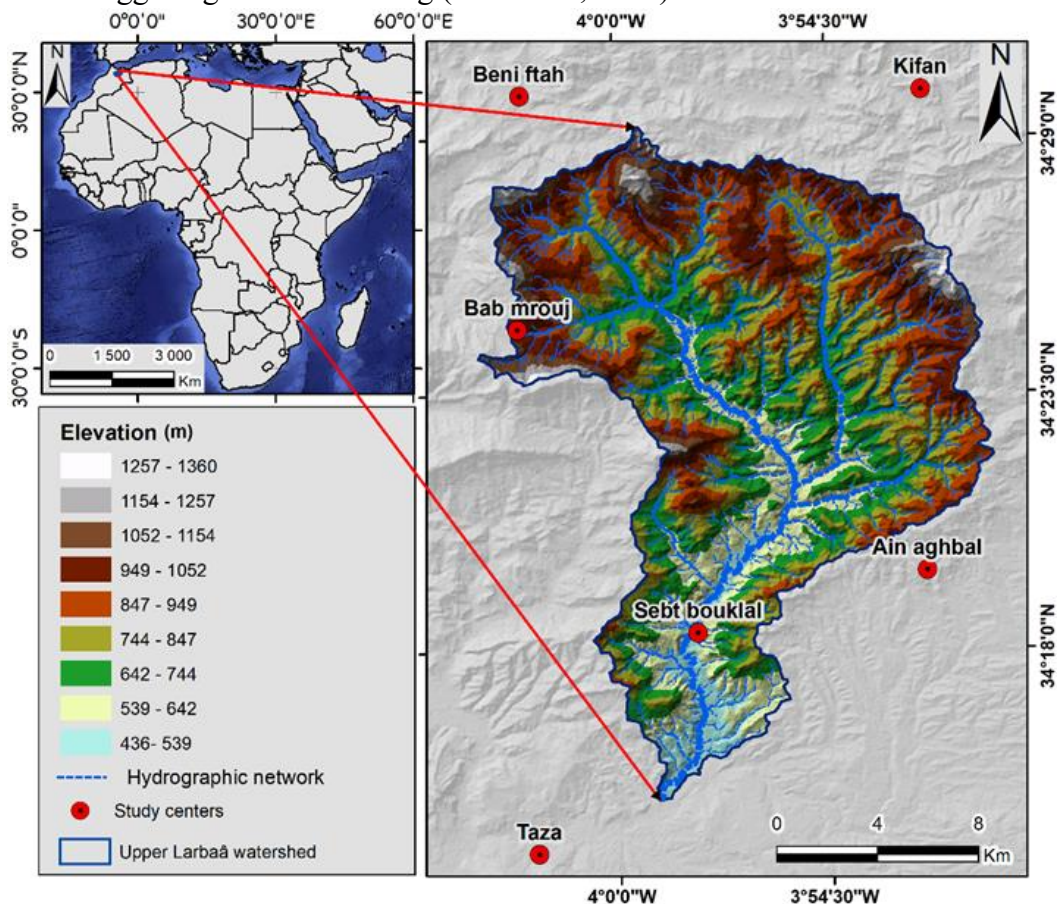
### **Materials**

In this study, we primarily based the work on daily, monthly, and annual rainfall data from six stations located within and around the Upper Larbaâ basin (Table 1). The daily observations spanning a 40-year



period from 1981 to 2020 were obtained from the NASA Langley Research Center (LaRC). While the monthly and annual meteorological information was sourced from publicly available platforms like the University of California's TerraClimate database (Hegewisch, 2023; Abatzoglou, 2018), which maintains a comprehensive 65-year record from 1958 to 2023.

Additionally, the North Atlantic Oscillation index (NAO) was considered in our case study. This index is defined by differential pressure between a high-pressure system located in Lisbon and a low-pressure system over Iceland (Delannoy, 1988). In periods when the NAO index is positive, the Azores high-pressure system surpasses the typical winter average, resulting in increased dryness. Conversely, during negative phases of the NAO index, the low-pressure system over Iceland weakens, which allows the Icelandic low to intensify and the Azores high to recede (Sebbar et al., 2011; Filahi et al., 2015; Zamrane, 2016). These atmospheric conditions often promote the influx of disturbances from temperate regions into northern and northwestern Morocco, potentially leading to extreme precipitation events that can trigger significant flooding (Hanchane, 2017).



**Figure 1.** Study area (northeastern Morocco, UpperLarbaâ watershed)

## Methods

To assess the data's continuity, we implemented a homogeneity test to determine whether the sample series is homogeneous or exhibits discontinuities (Lubés et al., 1994 and 1998). Such tests were applied using various methods to measure homogeneity across 166 climate observation centers in the northwest region of Morocco (Sebbar et al., 2011). In our case, we processed these tests using the ones found by Pettitt (1979) and Buishand (1984).

**Table 1.** Rainfall stations used for statistical analysis. **Max:** Maximum of annual Precipitation (mm); **Min:** minimum of annual precipitation (mm); **Av. Prec:** Average of annual Precipitation (mm); **St. Div:** Standard deviation (mm)

Station	Latitude	Longitude	Min	Max	Av.prec	St.Div
Kifan	34°31'15''N	3°51'15''W	274	887	501	125
Sebt Bouklal	34°18'45''N	3°58'45''W	293	1058	581	151
Taza	34°13'45''N	4°01'15''W	307	1154	625	166
Bab mrouj	34°23'45''N	4°03'45''W	282	975	536	137
Ain aghbal	34°18'45''N	3°51'15''W	275	937	519	134
Beni ftah	34°28'45''N	4°01'15''W	278	952	532	134

Additionally, we employ the Inverse Distance Weighting (IDW) model to evaluate the spatial variability of precipitation over the designated period. This method (IDW) allows interpolations to estimate unknown values at specific locations based on known values from surrounding points (Matheron 1965; Tabios et al. 1985; Phillips et al., 1992; Lebel et al., 1996; Hutchinson 1998; Taesombat et al., 2009; Brou 2005; Valent et al., 2015). The underlying assumption is that points closer to the target location have a greater influence on the estimated value than points farther away. The IDW formula is as follows:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^N Z(x_i) * \left( \frac{1}{d(x, x_i)^p} \right)}{\sum_{i=1}^N \left( \frac{1}{d(x, x_i)^p} \right)}$$

**Where:** **Z (x):** The value we want to estimate at the unknown location **x**; **N:** Number of known nearby points ; **Z (xi):** Known values at neighboring locations **xi** (The points containing known data) ; **d (xi , x):** The distance between the unknown location **x** and the known locations **xi** ; **p :** The power or exponent that determines how much distance affects the weighting The higher the p-value, the less influence distant points have.

Furthermore, the study attempted to pinpoint occurrences of climatic drought by utilizing a range of indicators, including the Evapotranspiration Moisture Index (EM) index to differentiate between dry and wet years and the

(SPI) index to evaluate drought severity. The EM index allows measuring how much annual precipitation is different from its historical average (Ndong et al. 1995; Servat et al. 1998; Le Barbe et al. 2002; Lawin, 2007; Sebbar et al., 2011). Negative index values signify years of reduced rainfall, while positive values denote wetter years. While the deviation from the average highlights both dry and wet years, the SPI index allowed us to assess the severity of climatic drought. This index is defined as the result of the deviation from the average divided by the standard deviation. According to this index, the values range from -0.99 for mild drought, -1.00 to -1.49 for moderate drought, -1.50 to -1.99 for severe drought, and approximately -2.00 for extreme drought (McKee et al. 1993; Sebbar 2013; Daki et al. 2016).

Finally, we conduct additional analysis of the daily precipitation. Due to data limitations, we restrict this examination to two locations: the rural commune of Sebt Bouklal and the city of Taza (Table 2), where we have access to daily observations spanning a 40-year period from 1981 to 2020. We obtained the data from the NASA Langley Research Center (LaRC). The focus of this analysis is to identify exceptional precipitation events that could result in recurrent flooding, particularly in the Sebt Bouklal area, located downstream of the Larbaâ River. To do this, we looked at the results from different statistical models, such as the Generalized Extreme Value (GEV) distribution, log-normal distribution, Gumbel distribution, and Pearson Type III distribution. The goal was to ascertain the most appropriate model for estimating the return periods of exceptional precipitation, which range from 5 to 100 years (Bobée et al. 1991; El Adlouni et al., 2014).

**Table 2.** Stations used to identify exceptional precipitation. Max: Maximum Precipitation (mm); Date: the date which corresponds to the maximum value

Station	latitude	Longitude	Max	Date
Taza	34°13'45''N	4°01'15''W	80,18	30-11-2010
Sebt Bouklal	34°18'45''N	3°58'45''W	104,35	30-11-2010

## Results

### Break periods

The results indicated the presence of interruptions in the sampling series for all stations. Specifically, the Kifan, Bab Mrouj, and Bni Ftah centers recorded a breakup in 1978, the Taza center in 1979, and both Sebt Bouklal and Ain Aghbal in 1980 (Table 3). These interruptions suggested a lack of consistency in the observed series, with varying averages recorded at each station. During the first period, rainfall exceeded 700 mm at the Taza center and 600 mm at four other centers, while the Kifane center recorded 596 mm. In contrast, the second period saw a decrease in precipitation, with amounts not exceeding 500 mm except at the Taza and Sebt Bouklal centers.

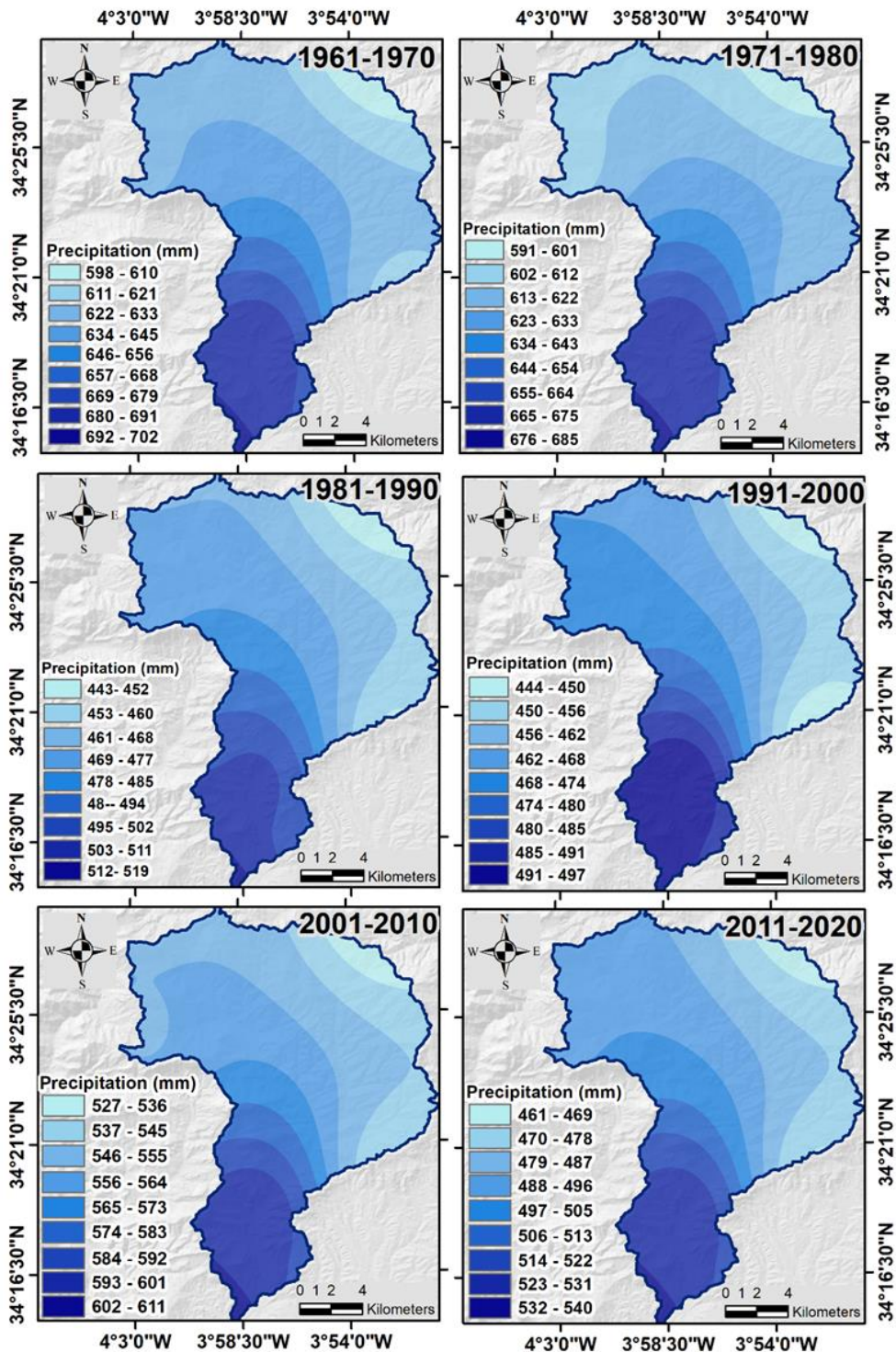
**Table 3.** Break periods and precipitation variation

Stations	First Average		Second Average		Precipitation rate (%)
	Period	Precipitation (mm)	Period	Precipitation (mm)	
Kifan	1958-1978	596	1979-2023	459	13
Sebte boukkalal	1958-1980	685	1981-2023	527	13
Taza	1958-1979	746	1980-2023	568	14
Bab mrouj	1958-1978	634	1979-2023	493	13
Ain aghbal	1958-1980	616	1981-2023	469	14
Beni ftah	1958-1978	628	1979-2023	489	12

### **Spatial variability of precipitation**

The results clearly show significant changes in precipitation levels throughout the entire region of the Upper Larbaâ Basin. We observe higher precipitation in the southwest section compared to the northeast. Furthermore, the biannual spatial variability of rain demonstrates a general trend of decreasing values, apart from a notable increase between the years 2000 and 2010 (Figure 2). Indeed, at the beginning of the 1960s, the entire basin recorded an average precipitation of over 600 mm. The amount of rainfall gradually declined until the early 2000s, when it fell below 500 mm in vast regions of the basin. Between 2000 and 2010, there was a resurgence in precipitation levels, surpassing 600 mm. On the other hand, over the past decade, precipitation has once again decreased below 500 mm, except for the centers of Sebt Bouklal and Taza (Figure 2).





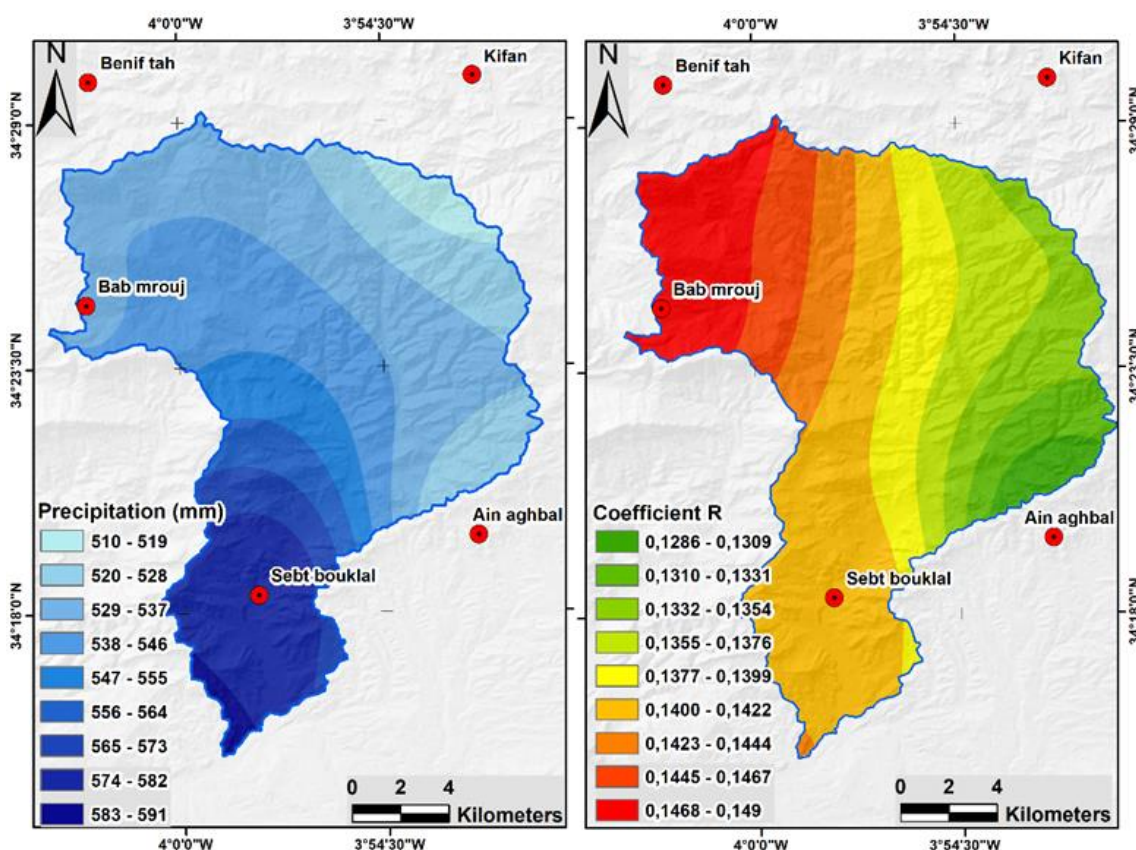
**Figure 2.** Spatial variability of precipitation within the UpperLarbaâ basin.  
(Based on data sourced from TerraClimate on August 10, 2024)

## Correlation between Precipitation and the North Atlantic Oscillation (NAO)

In our case study, we assessed the correlation through simple linear regression, followed by an evaluation of the correlation's strength using the available data. Based on Pearson's Bravais table, we found that when the theoretical threshold for the observed series falls between 0.2320 and 0.2502, all the examined stations have inversely exceeded this threshold (Table 4). So, our results show that there is a strong link between the amount of rain in the UpperLarbaâ Basin and the North Atlantic Oscillation Index. The northwest of the basin, particularly the Bab Mrouj and Beni Ftah regions, experiences more impact than the rest (Figure 3). This matter pertains to the retreat of the Azores High and the subsequent impact of the cold polar front, which carries air masses saturated with moisture from the Atlantic Ocean.

**Table 4.** Correlation analysis between rainfalls and the Atlantic oscillation index.

Coefficient	Kifan	Sebt Bouklal	Taza	Bab mrouj	Ain aghbal	Beni ftah
R	-0,36	-0,38	-0,38	<b>-0,39</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,39</b>
R <sup>2</sup>	0,13	0,14	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,13</b>	<b>0,15</b>



**Figure 3.** Notable correlation between precipitation and the North Atlantic Oscillation (NAO) index (Based on data sourced from TerraClimate on August 10, 2024)

## Assessing drought periods

The findings suggest that dry years are marginally more common than wet years. For instance, in the Kifane region, there have been 36 dry years out of a total of 65 years, whereas both Bab Mrouj and Beni Ftah recorded 33 dry years each (Figure 4). This information highlights the arid climatic conditions that prevail in most of the Upper Larbaâ Basin.

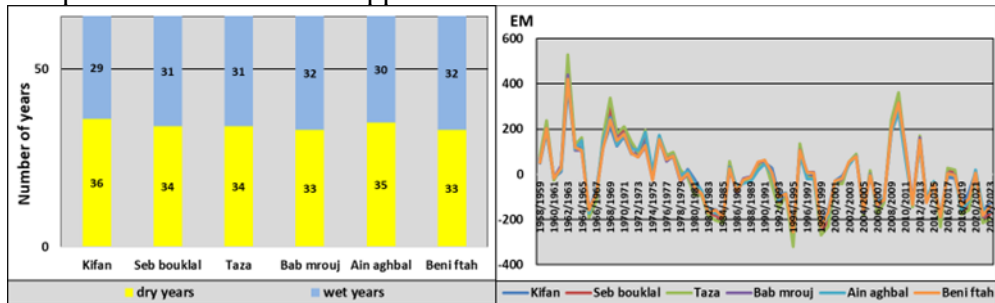


Figure 4. Dry and wet years using the deviation from the average

The results indicate that all the stations experienced a normal drought for more than 20 years out of a total of 65 years, accounting for approximately one-third of the observed series period (Figure 5). Furthermore, about one-sixth of this period consisted of relatively dry years, while severe drought occurred during two specific seasons: the first in the 1994/1995 season and the second in the 1998/1999 season. We recorded no instances of exceptional drought (Figure 5).

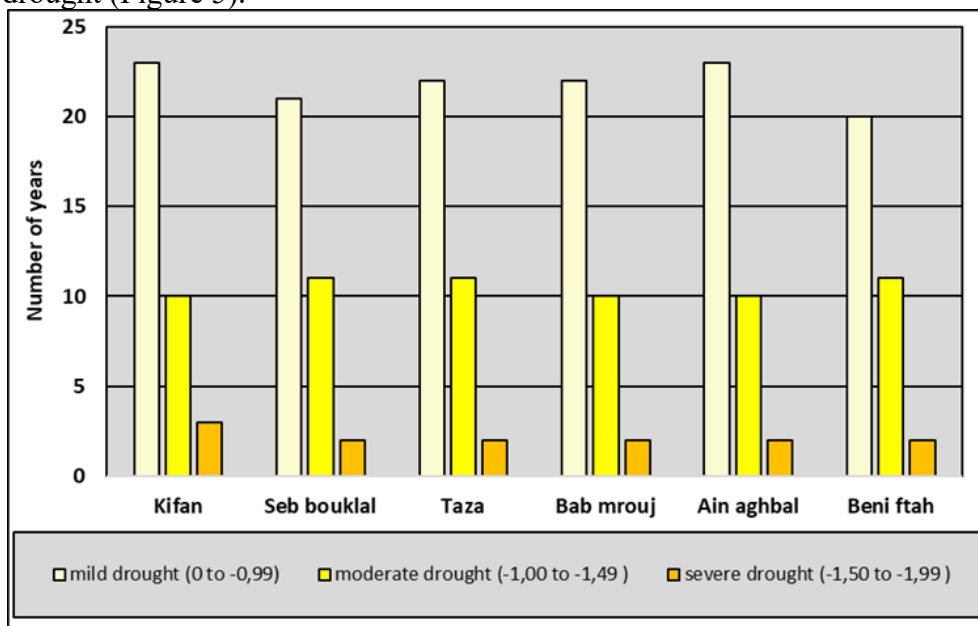
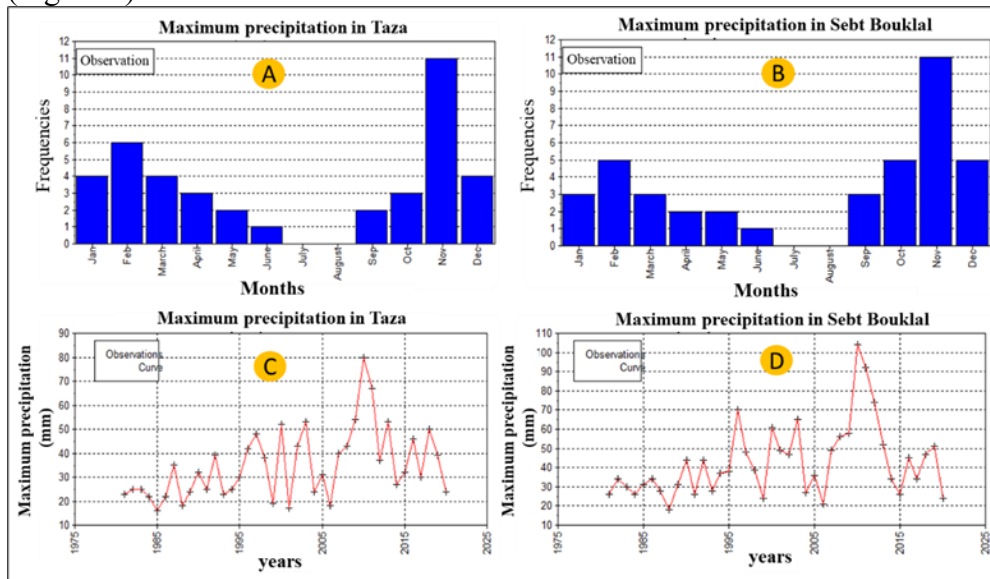


Figure 5. Drought severity over the stations studied

## Assessing exceptional precipitation

To identify the extreme incidents of precipitation, we primarily utilized maximum daily precipitation data from the Taza and Sebt Bouklal stations, covering a period of over 40 years. The monthly analyses, illustrated in Figure 6, indicated that November experiences the highest frequency of heavy rainfall, followed closely by February and January. This pattern suggests that extreme precipitation events are predominantly associated with the winter season, consistent with the climatic characteristics of the Mediterranean region (Figure 6).



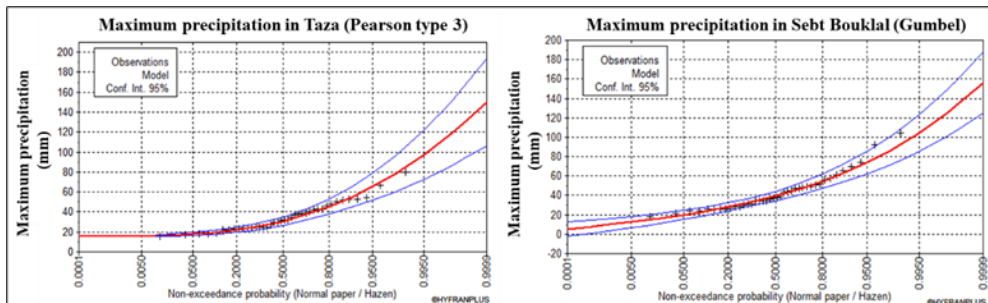
**Figure 6.** A and B illustrate the monthly distribution of maximum precipitation, C and D highlight the biannual distribution of maximum precipitation

An evaluation utilizing multiple tests provided results that differ from one to another. The Wald-Wolfowitz test showed that the data used are independent at a 1% confidence level, and the Kendall test indicated a clear trend of decreasing maximum daily rainfall. On the other hand, the Pearson Type III distribution works best for predicting return periods at the Taza station, while the Gumbel distribution is the best fit for the Sebt Bouklal center (Table 5 and Figure 7). From the results, we also noted that the Taza station has a possibility to receive a quantity of rain exceeding 45 mm every 5 years, greater than 65 mm for a 20-year period, and approximately 88 mm for a return period of 100 years. Conversely, for the Sebt Bouklal station, the return periods recorded were 54 mm for a 5-year period, 73 mm for a 20-year period, and over 95 mm for a 100-year return period (Table 6 and Figure 7).



**Table 5.** Results of different distribution laws used.

Stations	GEV Law	Log normal	Gumbel	Pearson type III
Taza	2,80	4,40	4,40	<b>2,40</b>
Sebt Bouklal	5,60	4,80	<b>4,40</b>	6,00



**Figure 7.** Maximum daily rainfall adjustments by Gumbel and Pearson type 3 distributions over Taza city and Sebt Bouklal rural center

**Table 6.** Maximum daily rainfall for different return periods ranging from 5 years to 100 years.

Stations	5	10	20	50	100
Taza (mm)	45,3	55,6	65,5	78,4	88,00
Sebt Bouklal (mm)	54,3	64,2	73,8	86,1	95,3

## Discussion

Upon examining the findings, we observed that the UpperLarbaâ Basin region has undergone substantial spatio-temporal variations in precipitation levels. During the late 1970s and early 1980s, there was a significant disruption that led to an average reduction in precipitation of approximately 100 mm (Figure 2). These alterations were associated with the overall climatic conditions along the southern Mediterranean coast (Xoplaki et al., 2004), situated between the temperate north and the tropical south, which in turn affects the positioning of the Azores. The presence of the Azores plays a crucial role in sustaining consistent weather patterns, ultimately resulting in climatic drought. This phenomenon is evident in the local deviations from the EM average, assessed over a period of 35 years within a 65-year timeframe. Additionally, one-third of the data analyzed demonstrated normal drought conditions, while around 10% experienced relative drought (Figure 4). All involved research centers only recorded severe drought episodes during two specific seasons: 1994/1995 and 1998/1999 (Figure 5).

Furthermore, several rainfall statistical studies conducted in the northwestern part of Morocco have highlighted the relationship between precipitation and the NAO index (Knippertz et al., 2003; Sebbar et al., 2011). Simple linear regression analysis further confirmed this relationship locally, demonstrating an inverse correlation between the two. The negative phase of the NAO index helps bring the polar disturbances laden with moisture from

the Atlantic Ocean, whereas the positive phase obstructs these weather processes, leading to the prevalence of drought conditions. (Filahi et al., 2015). Such influences typically have a positive effect on the northern regions of the country (Khomsî 2014; Hanchane, 2017), as well as the northwestern parts of the UpperLarbaâ Basin (Figure 3).

In discussing the spatial distribution of rainfall, a significant gradient is evident from the southwest to the northeast of the UpperLarbaâ Basin. The analysis using a moving average identifies three distinct periods: the first, spanning from 1960 to 2000, shows a general decline in rainfall across most areas of the basin. Following a period from 2000 to 2010, there was a marked increase in rainfall, but this trend has reverted to a decrease over the past decade (Figure 2). Furthermore, a pronounced spatial gradient from the northwest to the southwest of the basin suggests a relationship between rainfall patterns and the North Atlantic Oscillation index (Figure 3).

In general, the analysis of climatic variability necessitates a minimum observation period of 30 years (OMM, 1969). In this study, we utilized a dataset covering 60 years for annual and monthly observations, while daily data spans 40 years. These durations were sufficient for conducting comprehensive climatic assessments. Our results were consistent with other studies made in various regions along the southwestern Mediterranean coast. Although disruptions in the dataset caused major problems with our methodology, the outcomes were promising, enabling us to identify climatic phenomena such as biannual variability and periods of drought. Also, looking at daily data helped us find extreme rainfall events that might have caused flooding, especially in the lower area near Sebt Bouklal and Taza city (Layan et al., 2024a).

## Conclusion

The implemented methodology demonstrated its efficacy in identifying climatic variability, making it a valuable instrument for detecting drought periods. The study suggests this method to enhance water management efforts and explore alternative supply options to mitigate drought periods, including support for desalination initiatives. While the study enabled us to estimate maximum precipitation under various return periods, there remains a pressing need for more comprehensive research to convert rainfall data into flow measurements and assess its effects on communities and infrastructure. Using hydrologic-hydraulic modeling could be a helpful way to mimic how the river behaves and look at possible flood situations. Our future research will focus on this proposed method to accurately identify flood risks in the Taza region.

**Author contribution:** All authors participated in reviewing and approving the final version of the manuscript. B. Bougdira played a key role in the study stages, methodology, and drafting of the manuscript, while B. Layan, M. Ben Abbou, S. El yadari, and L. Benaabidate provided supervision, as well as reviewing and interpreting the results.

**Acknowledgement:** We extend our sincere gratitude to Esri for granting us complimentary access to the ArcGis software, which has been a fundamental tool in creating rainfall maps. We also express our gratitude to Google Earth for offering satellite imagery with a resolution of 20 meters.

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

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

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

## References:

1. ABATZOGLOU J.T, Dobrowski S.Z, Parks S.A, Hegewisch K.C (2018), Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015, Scientific Data.
2. BARRIENDOS M, DANNECKER A (1999) La sequía de 1812-1824 en la costa central catalana. Consideraciones climáticas e impacto social del evento, en Raso, J.M. y Martín Vide, J. (eds.) : La climatología española en los albores del siglo XXI, Oikos-Tau, Barcelona, 53-62.
3. BARRIENDOS M, PEÑA J.C, MARTÍN VIDE J (1998) La calibración instrumental de registros climáticos documentales. Aproximación metodológica a resolución anual para el caso de la precipitación en Barcelona (1521-1989), Investigaciones Geográficas, 20, 99-117.
4. BENZERTI Z, HABAIEB H. (2001) Etude de la persistance de la sécheresse en Tunisie par utilisation des chaînes de Markov (1909-1996). Sècheresse Volume 12, numéro 4, pp 215-220.
5. BOBÉE B and Ashkar F (1991) The Gamma Family and Derived Distributions Applied in Hydrology. Water Resources Publications, 203 p.
6. BROU Y.T, AKINDES F, BIGOT S (2005) La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles. Cahiers Agricultures vol. 14, n° 6, pp 533-540.
7. BUISHAND T.A (1984) Tests for detecting a shift in the means of hydrological time series. J.Hydrol., 73, 51-69.

8. DAKI Y, LACHGAR R, EL HADI H (2016) Caractérisation De La Sécheresse Climatique Du Bassin Versant D'oum Er Rbia (Maroc) Par Le Biais De L'indice De Précipitation Standardisé (SPI). European Scientific Journal May 2016 edition vol.12, No.14, pp 198- 209.
9. DELANNOY H (1988) Précipitations saisonnières du Maroc cisatlantique et téléconnexions dans la circulation atmosphérique. Bull. Associé. Géogr. Franc., n° 5, Paris, pp 393-406.
10. EL ADLOUNI S, et BOBÉE B (2014) Analyse Fréquentielle avec le logiciel HYFRAN-PLUS ». Guide d'utilisation disponible avec la version Démo, 71p.
11. ELKBIHI O, LAYATI E AND ELGHACHI M (2024) The impact of climatic variability on water resources in the Ououmana River basin in the Middle Atlas of Morocco (November 2021-May 2022) E3S Web Conf. Volume 582, 2024 1st International Conference on Materials Sciences and Mechatronics for Sustainable Energy and the Environment (MSMS2E 2024) 10p.
12. FILAHI S, MOUNIR L, TANARHTE M, TRAMBLAY Y, (2015)1 tendance et variabilité des evenements extrêmes au maroc. Actes XXVIII eme colloquede l'associations internationales de climatologie ,1-4 juill 2015.liege, Belgique PP 463-468
13. HABIBI B, MEDDI M, BOUCEFIANE A (2012) Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales Cas du Bassin Chott-Chergui. Revue Nature & Technologie. C-Sciences de l'Environnement, n° 08, pp :41-48
14. HANCHANE M (2017) variabilité pluviométrique de la côte méditerranéenne marocaine et modes de la circulation atmosphérique à grande échelle. In. Acte du xxxème colloque de l'association internationale de climatologie, Sfax 03-06 juillet
15. HEGEWISCHK.C AND ABATZOGLOU J.T (2023) Data Download web tool. Climate Toolbox (<https://climatetoolbox.org/>), version 2023-02-20.
16. HERTIG E, SEUBERT S, VOGT G, PAETH H, JACOBET J (2013) Changes of total versus extreme precipitation and dry periods until the end of the twenty-first century: statistical assessments for the Mediterranean are, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 111, 1-20. DOI : 10.1007/s00704-012-0639-5
17. HOERLING M, EISCHEID J, PERLWITZ J, QUAN X, ZHANG T, PEGION P, (2012) On the increased frequency of Mediterranean drought, Journal of Climate, Vol. 25, 2146-2161. DOI : 10.1175/JCLI-D-11-00296.1
18. HUTCHINSON M.F (1998) Interpolation of rainfall data with thin plate smoothing splines. Part I: Two-dimensional smoothing of data

- with short range correlation, J. Geogr. Inform. Decis. Anal., 2, p. 152-167.
19. KHOMSI K (2014) Variabilité hydroclimatique dans les bassins versants du Bouregreg et du Tensift au Maroc : moyennes, extrêmes et projections climatiques », Thèse de
  20. KNIPPERTZ P, CHRISTOPH M, SPETH P, (2003) Long Term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates. Meteorology and Atmospheric Physics 83 : 67-8.
  21. LAWIN A. E (2007) Analyse climatologique et statistique du régime pluviométrique de la Haute Vallée de l'Ouémé à partir des données pluviographiques AMMA-CATCH Bénin. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France. 231p.
  22. Layan B, Zemzami M and Bougdira, B (2024b) Gestion du risque d'inondation par les aspects de la simulation de l'impact des scénarios d'aménagement, Oued Larbaâ, ville de Taza, Maroc. Revue Marocaine de géomorphologie. N°8. PP. 1 – 22. ISSN: 2508-9382. <http://revues.imist.ma/?journalremag eom>.
  23. Layan B, Zemzami M, Bougdira B and Benaabidate L (2024a) Assessment of the Potential Flood Hazard of the Larbaâ Wadi, Rural Center of Sebt Bouklal, Taza, Morocco, BIO Web of Conferences 109, 01026 (2024) WA2EN2023, 10p  
<https://doi.org/10.1051/bioconf/202410901026>
  24. LE BARBE, LEBEL T, TAPSOBA D (2002) Rainfall variability in West Africa during the years 1950-1990. Journal of Climate 15 pp. 187-202.
  25. LEBEL T, AMANI A, CAZENAVE F, LECOQ J, TAUPIN J.D et al. (1996) La distribution spatio-temporelle des pluies ausahel: apports de l'expérience EPSAT-Niger. IAHS Publication 238, pp. 77-98.
  26. Lloyd-Hughes B, and Saunders M.A (2002) Seasonal prediction of European spring precipitation from El Niño-Southern Oscillation and local sea-surface temperatures. Int. J. Climatol. 22, 1-14.
  27. LUBES H, MASSON JM, SERVAT E, PATUREL JE, KOUAME B (1994) Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques-Etude bibliographique. Rapport N ° 3 Programme ICCARE. Montpellier : Orstom éditions, 21p.
  28. LUBES H, MASSON JM, SERVAT E, PATUREL JE, SERVAT,(1998) Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. Revue des sciences de l'eau Volume 11, Number 3, pp 383-408.

29. Matheron G. (1965) Les variables régionalisées et leur estimation. Masson et Cie, Paris. 305p.
30. MCKEE T.B, DOESKEN N.J, KLEIST J (1993) The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, 17-22 January 1993, 179-184.
31. Moron, V., and M. N. Ward, 1998: ENSO teleconnections with climate variability in the European and African sectors. *Weather* 53, 287-295.
32. NDONG J.B (1995) L'évolution de la pluviométrie au Sénégal et les incidences de la sécheresse récente sur l'environnement, in *Sahel, la grande sécheresse*, Revue de géographie de Lyon, 70, 3-4, pp. 193-198.
33. NIPPERTZ P, CHRISTOPH M, SPETH P (2003) Long term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates. *Meteorology and Atmospheric Physics* 83 pp 67-88.
34. ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE MONDIALE (1969) Vocabulaire Météorologique International. Note technique n° 182, Genève, 91p.
35. OUCHOUIA IKBAL, CHAOUKI A (2022) De la variabilité climatique au changement du régime hydrologique dans le bassin de l'oued Ouzoud/ Haut Atlas Central/ Maroc.. fffal-03581861f 10p.
36. PETTITT A. N (1979) A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem, *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, Vol. 28, pp.126-135.
37. PHILLIPS D.L, DOLPH J, MARKS D. (1992) A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitations in mountainous terrain, *Agr. Forest. Meteorol.*, 58, p. 119-41
38. QADEM Z, QADEM A OBDA, K & LASRI M, (2019) Variabilité climatique et son impact sur l'organisation spatiotemporelle des précipitations. Cas des bassins versants des Oueds Mikkès et Fès. *Maroc. EWASH & TI Journal*, 2019 Volume 3 Issue 4, Page 253-260.
39. QUADRELLI R, PAVAN V, MOLTENI F (2001) Wintertime variability of Mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies. *Clim. Dyn.* 17, 457-466.
40. RAYMOND F, ULLMANN A, CAMBERLIN P, (2016), Précipitations intenses sur le Bassin Méditerranéen : quelles tendances entre 1950 et 2013 ?, *Cybergeog : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 760, mis en ligne le 07 janvier 2016, consulté le 07 janvier 2016. URL : <http://cybergeog.revues.org/27410> ; DOI : 10.4000/cybergeog.27410. DOI : 10.4000/cybergeog.27410.



41. SEBBAR A (2013) Étude de la variabilité et de l'évolution de la pluviométrie au Maroc (1935-2005) : Réactualisation de la carte des précipitations. Thèse de doctorat en Bioclimatologie, Univ. Hassan II, Fac. Sci. Ben M'sik, Casablanca, 186 p.
42. SEBBAR A, FOUGRACH H, HSAIN M, SALOUI A, BADRI W (2011) Étude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935-2004) ». *Sécheresse*, 22, pp 139-48.
43. SERVAT E, PATUREL J.E, LUBES-NIEL H, KOUAME B, MASSON J.M, (1998) De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non Sahélienne, *Revue des Sciences de l'eau*, pp. 363-387.
44. STOUR L and AGOUMI A (2008) Sécheresse climatique au Maroc durant les dernières décennies. *Hydroécologie appliquée*, Volume 16, pp 215-232.
45. TABIOS G.Q and SALAS J.D (1985) A comparative analysis of techniques for spatial
46. TAESOMBAT W and SRIWONGSITANON N (2009) Areal rainfall estimation using spatial interpolation techniques, *ScienceAsia*, 35, p. 268-275.
47. TAIBI S, MEDDI M, SOUAG D, MAHE G (2013) Evolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009) *Climate and Land Surface Changes in*
48. Tribak A (2020) Erosion and Flooding Risks in the Marly Basins of the Eastern Prerif Mountains (Morocco): A Response to Exceptional Climate Events or to.... *Revista de Estudios Andaluces*, 40, 159-182. <https://dx.doi.org/10.12795/rea.2020.i40.09>
49. VALENT P and VÝLETA R (2015) Calculating Areal Rainfall Using A More Efficient Idw Interpolation Algorithm. *International Journal of Engineering Research & Science (IJOER)*, Vol.-1, Issue-7, pp 9-17.
50. WANNER H (2004) Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. *Climate Dynamics* 23, pp 63-78.
51. XOPLAKI E, GONZALEZ-ROUCOU J.F, LUTERBACHER J, (2002) Climate variability over the Mediterranean, Bern, thèse de doctorat de l'Université de Bern, suisse, 193 p.
52. ZAMRANE Z (2016) Recherche d'indices de variabilité climatique dans des séries hydroclimatiques au Maroc : identification, positionnement temporel, tendances et liens avec les fluctuations climatiques : cas des grands bassins de la Moulouya, du Sebou et du Tensift. Thèse de doctorat, Université Montpellier, 211p.

## **Modelling Growth and Yield Components of Okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) and Ayoyo (*Corchorus olitorius* (L.)) Using Multiple Regression**

***Alhassan Abdul Latif Husein***

Department of Water and Environmental Engineering,  
Tamale Technical University, Tamale, Northern Region, Ghana

***Zakaria Issaka***

Department of Agricultural Engineering,  
Tamale Technical University, Tamale, Northern Region, Ghana

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n18p21](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p21)

Submitted: 27 December 2024

Accepted: 03 June 2025

Published: 30 June 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

### *Cite As:*

Husein, A.A.L. & Issaka, Z. (2025). *Modelling Growth and Yield Components of Okra (Abelmoschus esculentus (L.) Moench) and Ayoyo (Corchorus olitorius (L.)) Using Multiple Regression*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (18), 21.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p21>

### **Abstract**

Multiple regression was employed to model the relationship between growth and yield components of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) and ayoyo (*Corchorus olitorius* (L.)), with the aim of generating a predictive model. Data on growth parameters and yields of okra and ayoyo crops were collected and analysed using IBM SPSS Statistics 21. Ten (10) plants were tagged in each stream, and a metre rule was used to measure their heights at two-week intervals (2, 4, 6, 8, and 10 weeks). The mean was calculated to obtain the average height per plot/experiment/stream. Data were also collected on the number of leaves per plot, leaf area index per experiment, leaf spread per experiment, and fresh and dry weight per plot. Total nitrogen content was determined using the Kjeldahl method, while phosphorus (P) levels were analyzed using the Bray-P solution method. Additionally, potassium (K) concentrations were measured using the flame photometer method. Results showed an average infiltration rate of 160.25 mm/h, suggesting that the site's soils belong to hydrologic soil group A/B. Group A consists of sand, loamy sand, or sandy loam soil types. Group B comprises silt loam or loam with moderate infiltration rates, low runoff potential, and high infiltration rates



when thoroughly wetted. Due to their moderate to high water transmission rates, these soils are suitable for drip and sprinkler irrigation systems. Notably, there is a strong positive correlation between plant height and leaf area (0.889), and between leaf area and leaf area index (0.981). This suggests that as plant height increases, so does the leaf area, and a similar positive relationship exists between leaf area and the leaf area index. Furthermore, the correlation between the number of leaves and other growth parameters such as leaf area (0.966) and leaf area index (0.988) is also strongly positive. This indicates that an increase in the number of leaves is associated with increases in both leaf area and leaf area index. These correlations, ranging from 0.582 to 0.807, indicate a high degree of association. The high  $R^2$  value suggests a strong correlation between predicted and observed yields of okra, indicating reliable predictive capability when the growth parameters of okra are provided. Similarly, for *ayoyo*, a model equation was developed through regression analysis, yielding an  $R^2$  value of 0.941. The yield of *ayoyo* can thus be predicted during cultivation, provided its growth parameters are known. Hence, this study is focused on establishing a multiple regression model for the growth and yield of okra and *ayoyo* under different irrigation stream systems.

---

**Keywords:** Multiple regression, Infiltration, Growth, Yield, Okra, *Ayoyo*

## Introduction

Predicting crop yields has broad implications for economics, ecology, and human welfare. The large number of factors that determine crop productivity makes modeling crop production at large spatial scales substantially challenging. Forecasting crop production is an even greater challenge, as it requires making inferences about future performance based on past conditions. Manjula and Djodiltachoumy (2017) reiterated that data mining is the process of analyzing data from different perspectives and summarizing it into useful information. Crop yield prediction is an important agricultural problem. Farmers often try to focus on yield as soon as cropping activities commence. In the past, yield prediction was based on the farmer's previous experience with a particular crop. Sangeeta (2020) proposed a system aimed at predicting or forecasting crop yield by learning from past data on farming land, considering factors such as soil conditions, rainfall, temperature, yield, and other variables. He concluded that the proposed model was more efficient than existing models for predicting crop yield. Odey (2018) developed a regression model for predicting the growth of maize on soil influenced by tractor traffic. The model showed that, in any particular cropping season, the yield of maize ( $Y_m$ ) could be estimated, provided the number of machinery passes on the land was known. Nkakini and Davies (2020) developed a mathematical model equation for the tolerance of okra

plant yield to soil densification. Their findings revealed a close agreement between the experimental and modelled values of okra yield under varying levels of soil compaction caused by tractor passes in different subplots. The model established that okra growth rate and yield increased significantly in response to degenerate traffic passes. Hence, this study is aimed at establishing modeling of growth and yield of okra and *ayoyo* using different tillage systems.

Okra production activities in Ghana have increased in recent years due to its nutritional values. It contains proteins, carbohydrates, minerals salts, sugars, vitamins, aromatic colouring agents, iron, and essential oils that enhance human resistance to diseases. Among other vegetables, okra contains vitamins A and B, is rich in minerals, and has high iodine content (Hossain et al., 2023).

Okra fruits can be boiled, fried, or cooked (Ishafaq et al., 2022). Due to their medicinal properties, okra and *ayoyo* have been found beneficial to people suffering from leucorrhoea, goitre, ulcers, haemorrhoids, and general weakness (Kumar et al., 2022). Okra contains most of the essential substances needed by humans for survival (Elkhalifa et al., 2021). *Ayoyo* is a leafy green vegetable used in various cuisines, particularly in African and Middle Eastern dishes (Sefah et al., 2024). It is packed with vitamins such as A and B (Sefah et al., 2024) and is rich in minerals such as calcium, iron, and magnesium (Sefah et al., 2024). Rich in antioxidants, it helps neutralize free radicals, potentially reducing oxidative stress and inflammation (Akbari et al., 2022). Its high fiber content promotes healthy digestion and may help to prevent constipation. The presence of essential nutrients and antioxidants may also contribute to heart health by reducing cholesterol levels and improving circulation (Cristina et al., 2021).

The multiple regression method is capable of modeling the relationship between a single dependent variable and several independent variables (Korkmaz et al., 2019). In this study, multiple regression analysis was used to establish a predictive model between growth and yield components of okra and *ayoyo*. Hence, this paper provides valuable information for farmers to help predict the yields of okra and *ayoyo* crops.

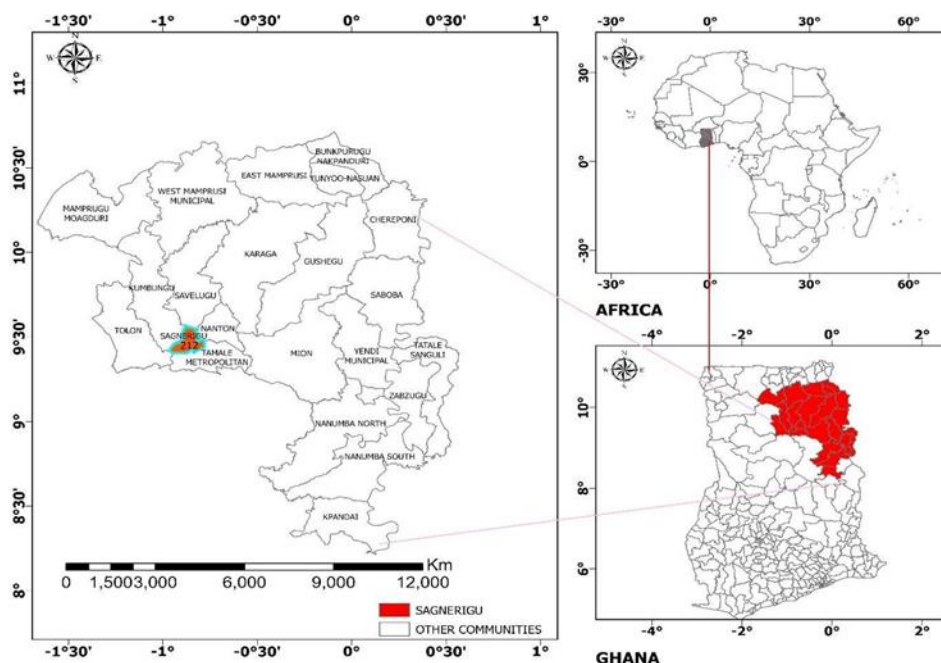
## **Methodology**

### **Study Area**

The Sagnarigu Municipality, encompassing 79 communities, presents a diverse landscape comprising 20 urban, 6 peri-urban, and 53 rural areas. It spans a substantial land area of approximately 439.8 square kilometres and shares boundaries with several neighbouring regions: Savelugu and Nanton Municipality to the north, Tamale Metropolis to the south and east, Talon District to the west, and Kumbungu District to the northwest. Geographically,

the municipality lies between latitudes 9°16' and 9°34' North, and longitudes 0°36' and 0°57' West. The specific coordinates of the experimental field are latitude 09°47'388" N and longitude 00°0'84"776" W, at an altitude of 167 meters above mean sea level. Despite the area's agricultural relevance, the Zagyuri locality is relatively deficient in natural water bodies, primarily due to a high underground water table. The few existing water sources consist mainly of seasonal streams that flow during the rainy season and dry up in the dry months. Additionally, the area has limited dams and dugouts, such as those in Kpene and Kanvilli-Kpawumo, which serve as alternative water sources for livestock and domestic use.

Figure 1 provides a visual representation of the Sagnarigu Municipality. According to Obuobie *et al.* (2006), the study area is located approximately 8 kilometres from the city centre and covers an area of about 7-12 hectares.



**Figure 1.** Location map Sagnarigu Municipal

## Climate

The municipality experiences a single rainy season that begins in April or May and extends through September or October, with peak rainfall typically occurring in July and August. In contrast, the dry season spans from November to March. The average annual rainfall is approximately 1,100 mm, usually concentrated over 95 days of intense precipitation. Daytime temperatures generally range between 33°C and 39°C, while nighttime temperatures

fluctuate between 20°C and 22°C. Furthermore, the mean annual daily sunshine duration is about 7.5 hours. Within the municipality, various locations are engaged in wastewater-based vegetable farming. Crops such as cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*), lettuce (*Lactuca sativa*), *Amaranthus spp.*, and *Ayoyo* (*Corchorus olitorius*) are commonly cultivated. This study specifically focused on the Zagyuri community within the Sagnarigu Municipality, where farmers depend on wastewater from a malfunctioning sewer system originating from the Kamina Military Barracks to irrigate their vegetable crops.

## Field Preparation

Field preparation was carried out by clearing the land using cutlasses and hoes, followed by ploughing with a tractor. The field was divided into two (2), and an overhead tank (2000 litres) was placed in the middle of the field at a height of 2.5 m to deliver water by gravity. However, the sprinkler for the *Ayoyo* (*Corchorus olitorius*) plot (quadrant) was irrigated under pressure directly from the stream using a pump and sprinkler. *Corchorus olitorius* was cultivated in the first plot under sprinkler irrigation using the broadcasting method. Also, okra (*Abelmoschus esculentus*) was cultivated in the second plot (quadrant) with a spacing of 30 cm x 50 cm under drip irrigation, as shown in Figure 2.

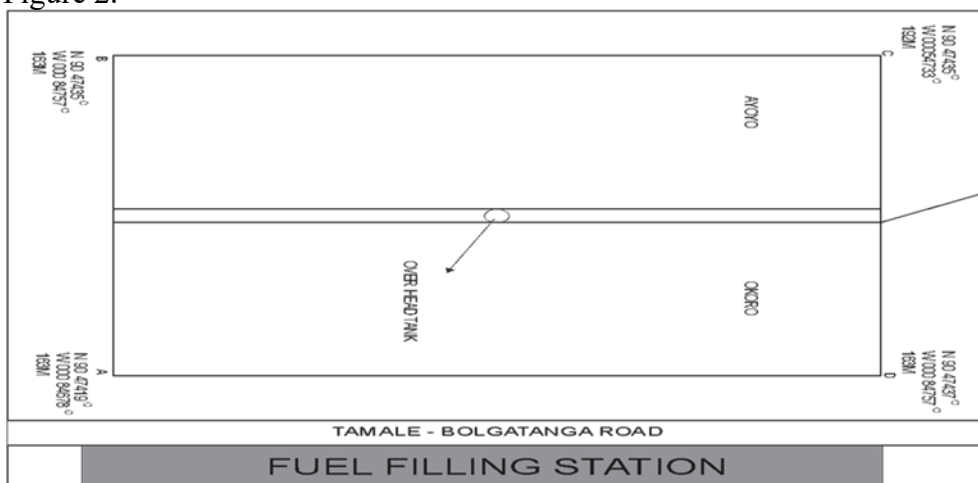


Figure 2. Layout of the Field

## Experimental Design

The design used for the experiment was a randomised complete block design (RCBD). Three different stream locations - upstream (U), midstream (M), and downstream (D) - were used as treatments, and each treatment had three replicates of size 25 m x 25 m. The plots were separated from each other by 2m to allow for manoeuvring of the tractor.

## Data Collection

### Collection of Soil Samples

Composite soil samples were meticulously collected at a depth of 30 cm from distinct locations at the site, considering upstream, midstream, and downstream positions for subsequent analysis of various physical and chemical soil properties.

### Modelling of Crop Performance

The model is represented by equation (4) below:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_{11}X_{11} + \beta_{12}X_{12} + \dots \dots \dots \beta_{ij}X_{ij} + \varepsilon_i \dots \quad (1)$$

$$Y = \beta + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_4X_4 + e \dots \quad (2)$$

The definition of each variable in model is given below:

$Y$  is the dependent variable (yield), and the other variables -  $X_1$ (plant height),  $X_2$ , (total leaf area),  $X_3$  (leaf area index), and  $X_4$ (total number of leaves) - are the independent variables.

$\beta$  represents the intercept or the constant term in the model

$e$  is the error term that represents the random variability in the dependent variable that is not explained by the independent variables.

The model assumes a linear relationship between the dependent variable and each of the independent variables.

$\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ , and  $\beta_4$  are the coefficients of  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ , and  $X_4$  respectively (Korkmaz *et al.*, 2019).

### Coefficient of Determination ( $R^2$ )

The coefficient of determination represents the proportion of the variance in the dependent variable that is predictable from the independent variables. It ranges from 0 to 1.

## Measurement of Growth Parameters of Okra and Ayoyo

### Plant Height

Ten (10) plants were tagged in each stream. A metre rule was used to measure the height of the ten (10) plants in each experimental unit at two-week intervals (2, 4, 6, 8, and 10 weeks), and the mean was calculated to obtain the average height per plot/experiment/stream. The same ten tagged plants were used for all the parameters.

### Number of Leaves

Ten (10) plants were tagged, and their leaves were counted in each experimental unit/stream. The mean was calculated to represent the number of leaves in each experimental unit or stream at two-week intervals.

### Leaf Area Index (LAI)

Ten (10) plants were selected in each experimental unit/stream, and the length and width of the top matured ten (10) leaves were measured using a meter rule. The mean leaf area ( $L_{MN}$ ) of the ten (10) plants was calculated. The average number of leaves ( $N$ ) of the ten (10) plants was also calculated, and the area ( $A$ ) occupied by one plant in the cropped area was determined. These values were substituted into Equation 3 below.

$$LAI = \frac{L_{MN}N}{A} \quad (3)$$

### Leaf Spread

Ten (10) plants were tagged, and their leaf spread was determined. Starting from the base of the plant, the distance from one outer edge of a leaf to the opposite was measured. Multiple measurements were taken from different leaves to account for variations in leaf size and orientation. The average leaf spread was calculated by adding all the measurements taken from the ten (10) plants and dividing by the number of leaves measured. The measurement process was repeated for each selected plant, ensuring consistency in technique and accuracy. This was calculated by placing four (4) sticks at the ends (North, South, East, and West) of the ten (10) sampled plants in each experimental unit/stream. Horizontal measurements from leaf tip to leaf tip were taken for the longest and shortest spreads and added together. The sum was then divided by two (2) to get the average leaf spread.

### Lay Out of the System

The drip system plot or field was divided into three (3) sections: upstream, midstream, and downstream. Data were collected for all the three (3) streams and analysed using the various equations. Similarly, the sprinkler system plot or field was also divided into upstream, midstream, and downstream sections. Data were collected for all three (3) streams and analysed accordingly. The upstream ranged from 0 to 25 m, the midstream from 25 m to 50 m, and the downstream from 50 m to 75 m.

### Laboratory Analysis

Soil samples collected from the experiment were subjected to laboratory analysis at the Soil Laboratory of the Savannah Agricultural



Research Institute (SARI) in Nyankpala. Notably, the soils in the area displayed limited depth, averaging less than 30 cm due to the presence of hardpan and lateritic outcrops. The soil physico-chemical properties examined included pH, CEC (Cation Exchange Capacity), potassium (K), nitrogen, organic carbon, phosphorus, calcium, magnesium, and soil texture. Total nitrogen content was determined using the Kjeldah method (Bremner & Mulvancy, 2023), while phosphorus (P) levels were analysed using the Bray-P solution method. Potassium (K) concentrations were measured using the flame photometer method recommended by the United States Salinity Laboratory Staff (Chavan et al., 2024). pH and organic carbon (OC) content were determined using the Walkley and Black technique (2017), while calcium (Ca) and magnesium (Mg) were assessed using the Ammonium Acetate method (Tang et al., 2021). These analyses were conducted to ensure soil suitability for drip and sprinkler irrigation. In addition to laboratory assessments, on-site soil water infiltration tests were carried out in both upstream and downstream locations. These tests aimed to determine the maximum infiltration capacity or hydraulic conductivity of the soils in their natural environment. Unbiased plotting positions were employed for the collected data. Knowledge of soil infiltration rates was vital not only for calculating crop water requirements but also for selecting appropriate drip emitter discharge rates to prevent surface water runoff and water wastage at the Zagyuri site within the drip irrigation system. The double-ring infiltrometer method was utilized for the field infiltration rate measurements (Figure 3). This method required specific equipment, including a double-ring infiltrometer, wooden support for driving the rings into the soil, a mallet, bucket, measuring jug, stopwatch, notebook, measuring ruler, and an adequate water supply. The method involves two concentric metal rings, with measurements taken within the inner cylinder to assess soil infiltration properties. The outer cylinder serves to guide water flow downward and prevent lateral spreading during the test.



**Figure 3.** Infiltration test at the experimental site

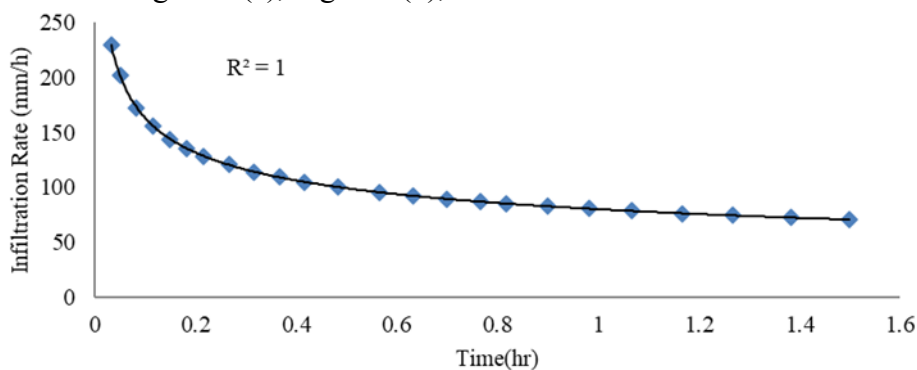
## Statistical Analysis

Data for the growth and yield of okra and *ayoyo* in this experiment were analysed using IBM Statistical Package for Social Sciences (SPSS) Statistics Version 21. Correlation, regression, and ANOVA analyses were carried out.

## Results and Discussion

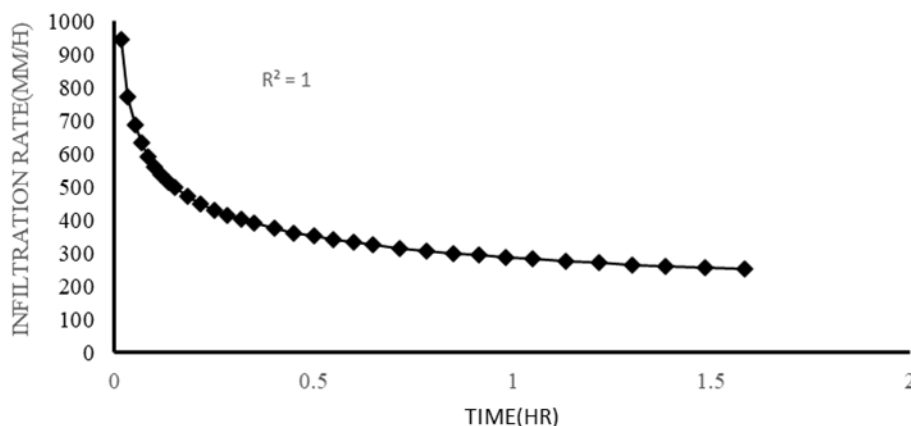
### Soil Survey and Infiltration

The average infiltration rate for the site was 160.25 mm/h. The results of the infiltration test suggest that the soils at the site belong to Hydrologic Soil Group A/B. Group A includes sand, loamy sand, or sandy loam soils, while Group B comprises silt loam or loam soils (Nielsen *et al.*, 2017). These groups are characterized by moderate infiltration rates when thoroughly wetted, low runoff potential, and high water transmission rates. A measured infiltration rate of 160.25 mm/h indicates a relatively high capacity for water absorption. This is advantageous for irrigation practices, as it suggests that the soil can efficiently adapt and distribute water to plant roots. High infiltration rates can reduce the risk of surface runoff and water wastage, thereby enhancing irrigation efficiency. This observation aligns with the findings of Badr *et al.* (2022), who concluded that soils with high infiltration rates are well-suited for efficient irrigation methods such as surface or subsurface drip irrigation. These methods enable better control over water application and minimise losses due to runoff. Accordingly, the soils at the study site are suitable for both drip and sprinkler irrigation systems. The detailed results are presented in Figure 4 (a), Figure 4(b), and Table 1.



**Figure 4 (a).** Down-stream Infiltration Curve (F=70.5 mm/H)





**Figure 4 (b).** Up-stream Infiltration Curve (F = 250 Mm/H)

**Table 1.** Soil Physico-Chemical Properties

Treatment	pH (1:2.5 water)	%O.C	% Total N	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	CEC (cmol/kg)	% Sand	% Silt	% Clay	Texture
Up- stream	5.20	0.45	0.044	65.37	111.31	141.60	127.50	11.47	54.00	25.60	20.40	Sandy Loam
Down- stream	5.50	0.67	0.044	70.49	115.49	172.52	139.89	13.66	43.43	29.71	27.29	Loam

The data present the soil physicochemical properties, including pH, organic carbon content (%O.C), total nitrogen (%N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), cation exchange capacity (CEC), and texture, under two different treatment conditions: upstream and downstream.

## pH

The pH values for both upstream and downstream treatments are slightly acidic, with upstream having a pH of 5.2 and downstream 5.5. These values fall within the acceptable range for most crops.

## Organic Carbon Content (%O.C)

Organic carbon content is a key indicator of soil fertility and nutrient availability. The upstream treatment recorded an organic carbon content of 0.45 %, while the downstream treatment had a slightly higher value of 0.67 %. These results suggest that the downstream site may possess greater organic matter content, implying potentially higher fertility. Adequate organic matter enhances nutrient retention, water-holding capacity, and overall soil health. According to Tequam (2017), soils with organic carbon levels between 0.5

and 1.5% are considered low in organic carbon. Therefore, the soil at the study site, with values below 3%, indicates poor soil health (Tequam & WSP, 2017).

### **Total Nitrogen (%N)**

Total nitrogen is essential for plant growth and an important component of soil fertility. Both upstream and downstream treatments recorded identical nitrogen levels at 0.044%N. Based on the classification by Teresa (2024), total nitrogen content < 0.05 % is considered very low, 0.05 - 0.12 % as low, 0.12 - 0.25 % as moderate, and >0.25 % as high. The recorded values fall into the “very low” category, indicating nitrogen as a limiting factor for optimal crop growth. This aligns with the findings of Kebede (2019), who reported nitrogen as the most limiting soil nutrient due to its volatility and the leaching potential.

### **Phosphorus (P), Potassium (K), Calcium (Ca), and Magnesium (Mg)**

The concentrations of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium - key macronutrients essential for plant growth and development - were assessed under both treatment conditions. In the upstream treatment, the values were 63.37 mg/kg for phosphorus, 111.31 mg/kg for potassium, 141.60 mg/kg for calcium, and 127.50 mg/kg for magnesium. The downstream treatment recorded slightly higher concentrations: 70.49 mg/kg (P), 115.49 mg/kg (K), 172.52 mg/kg (Ca), and 139.89 mg/kg (Mg). The relatively elevated nutrient levels in the downstream soil suggest improved nutrient availability, which may enhance plant metabolic functions, growth performance, and overall yield potential.

### **Cation Exchange Capacity (CEC)**

CEC is a measure of the soil's ability to retain and exchange essential nutrients. The upstream treatment recorded a CEC of 11.47 cmol/kg, while the downstream treatment showed a higher CEC of 13.66 cmol/kg. Higher CEC values reflect a greater capacity for nutrient retention and availability, which is beneficial for crop productivity.

### **Soil Texture**

Soil texture affects water-holding capacity and drainage. The upstream soil was classified as sandy loam, comprising 54 % sand, 25.6 % silt, and 20.4 % clay. The downstream soil was classified as loam, with 43.43% sand, 29.71% silt, and 27.29 % clay. These textures differ in their water and nutrient retention capacities and influence crop management practices. The results are consistent with those of Buru et al. (2012) and Shaibu et al. (2023), who reported that soils in the northern zones of Ghana range from sand to sandy loam and silt, with relatively low clay content.

## Modelling the Growth and Yield of Okra and *Ayoyo* Correlation of Plant Growth Parameters and Yield in Okra

The results in Table 2 illustrate the correlation coefficients between various plant growth parameters and the yield of okra.

**Table 2.** Correlation of Plant Growth Parameters and Yield in Okra

	Plant height	Leaf Area	Leaf Area Index	Number of Leaves	Yield (kg)
Plant height	1				
Leaf Area	0.889	1			
Leaf Area Index	0.896	0.981	1		
Number of Leaves	0.886	0.966	0.988	1	
Yield (kg)	0.807	0.582	0.605	0.647	1

Notably, a strong positive correlation was observed between plant height and leaf area (0.889), as well as between leaf area and leaf area index (0.981). These findings suggest that increases in plant height are associated with corresponding increases in leaf area, and similarly, leaf area expansion is closely tied to a rise in leaf area index. Additionally, the number of leaves exhibited strong positive correlations with both leaf area (0.966) and leaf area index (0.988), indicating that a greater number of leaves contributes significantly to broader leaf coverage and a higher leaf area index. While the correlations between yield (kg) and individual growth parameters - such as plant height, leaf area, leaf area index, and number of leaves - were also positive, they were relatively weaker ranging from 0.582 to 0.807. This suggests that although these growth parameters positively influence yield, their predictive strength is comparatively lower, likely due to additional biophysical or environmental factors not captured in this analysis. These results are consistent with those of Canisius et al. (2018), who also reported robust relationships among vegetative growth traits in crop species. Such alignment across studies supports the reliability of these correlations in characterizing okra growth dynamics.

## Regression of Growth Parameters on Okra Yield

Multiple regression analysis was conducted to evaluate the collective influence of selected growth parameters on okra yield per hectare and to develop a predictive model. The summary of results is presented in Tables 3 and 4.

**Table 3.** Regression of Growth Parameters on Okra Yield

Source	Coefficient	Standard error	T	sig.	Lower Mund (95%)	Upper Mund (95%)
Intercept	1610.726	514.596	3.130	<b>0.035</b>	181.978	3039.474
plant height	25.393	8.623	2.945	<b>0.042</b>	1.451	49.335
Leaf Area	-5.044	9.956	-0.507	0.639	-32.687	22.599
Leaf Area Index	-131.714	117.987	-1.116	0.327	-459.297	195.869

**Table 4.** Model Summary

R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	p value
0.832	0.664	400994.143	633.241	<b>0.075</b>

The regression equation for predicting okra yield is as follows:

$$\text{Yield} \left( \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = 1610.726 + 25.394 X_1 - 5.044 X_2 - 131.714 X_3 + 31.627 X_4 + 0.1682 \quad (4)$$

**R<sup>2</sup>=0.832**

An R<sup>2</sup> value of 0.832 signifies that the model accounts for about 83% of the variability in okra yield. The p-values associated with the coefficients indicate that plant height and the number of leaves have statistically significant impacts on okra yield. However, leaf area, leaf area index, and the intercept are not statistically significant predictors in this context. The intercept in the model is 1610.726, indicating the estimated yield of okra when all predictor variables are zero. It was found to be statistically significant with a p-value of 0.035. Moreover, plant height had a coefficient of 25.393 with a standard error of 8.623. This suggests that for every unit increase in plant height (in an appropriate unit of measurement), the okra yield is expected to increase by 25.393 kg/ha. Plant height was also statistically significant (p = 0.042). In addition, leaf area had a coefficient of -5.044 with a standard error of 9.956. This coefficient indicates that for every unit increase in leaf area, the okra yield is expected to decrease by 5.044 kg/ha. However, this relationship was not statistically significant (p = 0.639). Leaf area index had a coefficient of -131.714 with a standard error of 117.987. While this coefficient suggests a negative relationship between leaf area index and okra yield, it was not statistically significant (p = 0.327). Also, the coefficient for the number of leaves was 31.627 with a standard error of 21.568. This implies that for every additional leaf on an okra plant, the yield is expected to increase by 31.627 kg/ha. However, the relationship was not statistically significant at the 0.05 level (p = 0.216).

The results align with previous research that has emphasized the significance of certain growth parameters in predicting crop yield. For instance, Smith *et al.* (2020) found that plant height was a critical determinant of yield in various crop species, including okra. Additionally, Johnson *et al.* (2020) highlighted the importance of leaf characteristics, such as the number of leaves, in predicting crop yield.

The regression analysis has generated a predictive model for okra yield, with plant height and the number of leaves emerging as statistically significant predictors. While other factors may also influence yield, this model provides valuable insights for optimizing okra cultivation. The modelled equation, with a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.832, reveals predicted output closely matching the observed yield of okra. The yield of okra can be predicted during cultivation, provided the growth parameters of okra are known.

### Correlation of Ayoyo Yield and Growth Parameters

The correlation coefficients in Table 5 indicate the strength and direction of associations among plant height, leaf area, leaf area index, the number of leaves, and the yield of *Ayoyo*. There was a strong positive correlation between plant height and leaf area (0.856), as well as between plant height and the number of leaves (0.856). This suggests that as the height of *Ayoyo* plants increases, both leaf area and the number of leaves tend to increase as well. This positive correlation indicates that these growth parameters are positively related and tend to co-occur during the growth of *Ayoyo*. There was also a positive correlation between the yield of *Ayoyo* and the other growth parameters, including leaf area (0.171), leaf area index (0.820), and the number of leaves (0.171). This indicates that as these growth parameters increase, the yield of *Ayoyo* also tends to increase. In other words, *Ayoyo* plants with larger leaf areas, higher leaf area index, or more leaves may produce higher yields. Additionally, there was a weaker positive correlation between leaf area and leaf area index (0.495), suggesting a moderate positive relationship between these two growth parameters.

**Table 5.** Correlation of Ayoyo Yield and Growth Parameters

	plant height	Leaf Area Index	Number of Leaves	Yield (kg)
plant height	<b>1.00</b>			
Leaf Area Index	0.771	<b>1.00</b>		
Number of Leaves	0.856	0.495	<b>1.00</b>	
Yield (kg)	0.341	0.820	0.171	<b>1.00</b>

## Regression of *Ayoyo* Yield and Growth Parameters

Multiple regression analysis was employed to examine the relationship between growth parameters and the yield of *Ayoyo* per hectare, with the aim of generating a predictive model. The regression equation for predicting *Ayoyo* yield is presented below. Tables 6 and 7 show the summary of the results.

**Table 6.** Regression of *Ayoyo* Yield and Growth Parameters

Source	Coefficient	Standard error	T	Sig.	Lower Mund (95%)	Upper Mund (95%)
Intercept	185.805	28.881	6.433	<b>0.001</b>	111.563	260.047
plant height	9.016	2.225	4.052	<b>0.010</b>	3.297	14.735
Leaf Area	15.668	7.128	2.198	0.079	33.990	2.654
Leaf Area Index	43.370	5.378	8.065	<b>0.000</b>	57.194	29.546
sNumber of Leaves	20.5	2.115				

**Table 7.** Model Summary

R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	MSE	RMSE	p value
0.941	0.905	302.258	17.386	<b>0.002</b>

The regression equation for predicting *Ayoyo* is as follows:

$$Yield \left( \frac{kg}{ha} \right) = 185.805 + 9.016X_1 + 15.668X_2 + 43.370X_3 + 0.05 \quad (5)$$

**R<sup>2</sup> = 0.941**

The R<sup>2</sup> value of 0.941 (Table 6) indicates that the model explains a substantial portion of the variability in *Ayoyo* yield, with 94.1% of the variance being accounted for. The adjusted R<sup>2</sup> value of 0.905 suggests that the model's predictive power remains strong even after adjusting for the number of predictors.

The intercept in the model was found to be 185.805 with a standard error of 28.881. This intercept represents the estimated yield of *Ayoyo* when all other predictors are zero, although this scenario may not hold practical significance in the context of agricultural yield predictions. The intercept was highly significant (p = 0.001), indicating a substantial baseline yield of *Ayoyo* even in the absence of significant growth parameters.

Plant height had a positive coefficient of 9.016 with a standard error of 2.225. This suggests that an increase of one unit in plant height is associated with an increase of 9.016 kg/ha in *Ayoyo* yield. The t-statistic of 4.052 and a p-value of 0.010 confirm the statistical significance of this relationship. In addition, leaf area had a positive coefficient of 15.668 with a standard error of 7.128. While this suggests a potential increase of 15.668 kg/ha in *Ayoyo* yield per unit increase in leaf area, the relationship was not statistically significant at the 0.05 level (p = 0.079). Leaf area index exhibited a strong positive

relationship with *Ayoyo* yield, with a coefficient of 43.370 and a standard error of 5.378. This indicates that as the leaf area index increases, *Ayoyo* yield significantly increases by 43.370 kg/ha ( $p = 0.000$ ). The coefficient for the number of leaves was 20.5 with a standard error of 2.115, suggesting that an increase in the number of leaves is associated with an increase in *Ayoyo* yield. The regression model, with an  $R^2$  of 0.941, closely matches the observed yield values, confirming its usefulness in predicting *Ayoyo* yield ssduring cultivation - provided the growth parameters are known. Comparing these findings with existing literature on *Ayoyo* or similar crops, consistency is observed in the significant impact of plant height and leaf area index on crop yield. For instance, Singh *et al.* (2016) emphasized that plant height and efficient leaf area utilization are crucial factors influencing the yield of leafy vegetables like *Ayoyo*. This alignment reinforces the practical importance of incorporating these growth parameters in predictive models for *Ayoyo* yield. The regression analysis provides valuable insights into the factors influencing *Ayoyo* yield. Plant height and leaf area index emerged as significant predictors, while leaf area and the number of leaves showed varying degrees of influence. These findings offer practical guidance for *Ayoyo* growers and researchers, aiding in crop management optimization for improved yield.

## Conclusion

Multiple regression analysis was used to evaluate the relationship between growth parameters and the yield components of okra and *ayoyo* per hectare, with the goal of generating predictive models. The infiltration rate of 160.25 mm/h indicates a relatively high rate of water absorption by the soil. This can be advantageous for irrigation, as it allows rapid water distribution to plant roots, minimizes runoff, and improves irrigation efficiency. The regression analysis produced a predictive model for okra yield, with plant height and the number of leaves emerging as statistically significant predictors. While other variables may also influence yield, the model offers valuable insights for enhancing okra cultivation. With an  $R^2$  value of 0.832, the model provides predicted outputs closely aligned with observed okra yield. Thus, okra yield can be effectively predicted during cultivation if the relevant growth parameters are known. Similarly, the *ayoyo* model demonstrated a strong predictive capacity, with an  $R^2$  of 0.941, indicating that predicted yields closely align with observed values. This suggests that *ayoyo* yield can also be reliably estimated during cultivation using growth parameters. However, the high correlation among predictors presents challenges in isolating the individual effect of each variable. Additionally, the model assumes that residuals are normally distributed, an assumption that affects statistical inference.



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

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

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

## References:

1. Akbari, B., Baghaei-Yazdi, N., Bahmaie, M., & Mahdavi Abhari, F. (2022). The role of plant-derived natural antioxidants in reduction of oxidative stress. *BioFactors*, 48(3), 611-633.
2. Badr, M.A., El-Tohamy, W.A., Salman, S.R., & Gruda, N., (2022). Yield and water use relationships of potato under different timing and severity of water stress. *Agricultural Water Management*, 271, p.107793.
3. Bremner, J. M. & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen - total. *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 595-624.
4. Buri, M. M., Issaka, R. N., Senayah, J. K., Fujii, H., & Wakatsuki, T., (2012). Lowland Soils for Rice Cultivation in Ghana. *Crop Production in Ghana*, 341,p.216671.
5. Canisius, F., Shang, J., Liu, J., Huang, X., Ma, B., Jiao, X., Geng, X., Kovacs, J.M., & Walters, D., (2018). Tracking crop phenological development using multi-temporal polarimetric Radarsat-2 data. *Remote Sensing of Environment*, 210, pp.508-518.
6. Cristina, N. M. & Lucia, D. A. (2021). Nutrition and healthy aging: Prevention and treatment of gastrointestinal diseases. *Nutrients*, 13(12), 4337.
7. Chavan, P., Kamble, D., Pansare, D., Shelke, R., & Rai, M. (2024). Analysis of K and Na content of Soil samples by Flame Emission Photometry with other parameters. *Asian Journal of Research in Chemistry*, 17(6), 337-343.
8. Elkhailifa, A. E. O., Alshammari, E., Adnan, M., Alcantara, J. C., Awadelkareem, A. M., Eltoum, N. E., ... & Ashraf, S. A. (2021). Okra (*Abelmoschus esculentus*) as a potential dietary medicine with nutraceutical importance for sustainable health applications. *Molecules*, 26(3), 696.
9. Hossain, A. S. (2023). Healthy okra Growth, Pigments, Vitamin C and mineral Content as Affected by Plant growth Regulators: A Diabetic Food.445, p23567.
10. Johnson, Peter and Sam (2020). "Effect of pH on Calcium Precipitation during Filtration of Industrial Wastewater." *Journal of Environmental Chemistry*, 48(4), 412-425.



11. Kebede, N. (2019). Effects of Deficit Irrigation and Mulch Levels on Growth, Yield and Water Productivity of Onion (*Allium cepa* L.) at Werer, Middle Awash Valley, Ethiopia. Haramaya University.
12. Korkmaz, M. (2019). A study over the formulation of the parameters 5 or less independent variables of multiple linear regression. *Journal of function spaces*, 2019(1), 1526920.
13. Kumar, A. & Jnanesha, A. C. (2022). Tribal Medicine of India: Natural Remedies for Good Health. *Indigenous Traditional Knowledge*, 47-74.
14. Manjula, E. & S. Djodiltachoumy. (2017). A model for prediction of crop yield. *International Journal of Computational Intelligence and Informatics*, 6(4): 298-305.
15. Nielsen, D., Johnson, R., & Smith, L. (2017). Soil Infiltration Characteristics in Hydrologic Soil Groups A/B. *Journal of Hydrology*, 39(4), 315-330.
16. Nkakini, S. O. & R. M. Davies. (2020). Mathematical model equation for tolerance of okra plant yield to soil densification. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, V(I), 80-92.
17. Obuobie, E., Keraita, B., Danso, G., Amoah, P., Cofie, O. O., Raschid-Sally, L., & Drechsel, P. (2006). Irrigated urban vegetable production in Ghana: characteristics, benefits and risks.444,p5567.
18. Odey, S. O. (2018). Tractor traffic influence on soil properties, growth and yield of maize in Obubra, Nigeria. *International Journal of Engineering Inventions*, 7(1), 01-10.
19. Sangeeta, G. S. (2020). Design and implementation of crop yield prediction model in agriculture. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(1): 544-549.
20. Sefah, W., Engmann, F. N., Adi, D. D., & Serwah, A. (2024). Health and snutritional perspectives of traditional and ethnic foods in the northern belt of Ghana. In *Nutritional and Health Aspects of Food in Western Africa* Academic Press, Accra, pp. 111-132).
21. Shaibu, B., Halliru, M., Isyaku, A. M., Bichi, K. D., & Alabi, A. G. (2023). Designing Sustainable Crop Rotations for Intensively Managed Irrigated Lowlands. *Practice*.
22. Singh, J.S., Koushal, S., Kumar, A., Vimal, S.R., & Gupta, V.K. (2016). Book review: microbial inoculants in sustainable agricultural productivity-Vol. II: functional application.
23. Smith, J., Johnson, R., & Brown, S., (2020). Irrigation: The Deliberate Application of Water to Soil or Plants in Precise Quantities and at the Appropriate Times. *Journal of Agricultural Science*, 45(3), 321-335.
24. Tang, X. J., Du, Z. Y., Chuang, H. C., Zhu, Y. M., Ji, Y. Y., Li, X. Y., ... & Kuang, H. B. (2021). Enhanced dissolution rate of magnesium hydroxide via magnesia/ammonium acetate hydration system:

- statistical optimization and possible mechanism. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 96(4), 980-989.
25. Tequam, W.S.P. (2017). Soil Characteristics, *Water Resources Development and Environment* (Issue in December, 2017), 43-67.
26. Teressa, D., Kibret, K., Dechasa, N., & Wogi, L. (2024). Soil properties and nutrient uptake of maize (*Zea mays*) as influenced by mixed manure and blended inorganic fertilizer in Haramaya district, eastern Ethiopia. *Heliyon*, 10(16), 1-14.

## Ré-implantation pulpaire de doigt sans anastomose microvasculaire : à propos de trois cas

***Abdourahmane Ouangre***

Centre Hospitalier Universitaire Regional de Ouahigouya  
Service de Chirurgie Orthopedique et traumatologique

***T. Julien Savadogo***

Centre Hospitalier Universitaire Yalgado OUEDRAOGO  
Laboratoire de Morphologie et d'Organogenèse

***Nebon Delphine Bado***

Centre Hospitalier Universitaire Regional de Ouahigouya  
Service d'anatomie et cytologique pathologiques

***Sibiri Abdoul Karim Bouda***

***Idrissa Ouedraogo***

Centre Hospitalier Universitaire Regional de Ouahigouya  
Service de Chirurgie Orthopedique et traumatologique

***Olivier Zampou***

Centre Hospitalier Universitaire Regional de Ouahigouya  
Service de Chirurgie Pediatrique

***Malick Diallo***

***Patrick W. H. Dakoure***

Centre Hospitalier Universitaire Souro SANOU  
Service de Chirurgie Orthopedique et Traumatologique de l'Appareil Moteur

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n18p40](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p40)

Submitted: 21 April 2025

Accepted: 28 May 2025

Published: 30 June 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Ouangre, A., Savadogo, T.J., Bado, N.D., Bouda, S.A.K., Ouedraogo, I., Zampou, O., Diallo, M. & Dakoure, P.W.H. (2025). *Ré-implantation pulpaire de doigt sans anastomose microvasculaire : à propos de trois cas*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (18), 40.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p40>

### Résumé

**Objectif :** décrire la technique et les résultats de trois ré-implantations pulpaire sans anastomose microvasculaire réalisées dans notre service.

**Observations :** L'amputation siègeait en zone 3 sur le médus et l'annulaire gauche chez un élève de 10 ans, et sur le médus gauche en zone 4 de DAUTEL

chez un patient de 40 ans. La ré-implantation après parage et suture directe a été réalisée sur les trois doigts avec embrochage axial complémentaire chez l'enfant de 10 ans. La guérison a été obtenue au bout de 45 jours pour l'enfant et 60 jours pour l'adulte qui a présenté une infection ayant bien évolué sous antibiothérapie et soins locaux appropriés. L'appareil unguéal a été conservé de même que la sensibilité pulpaire sur les trois doigts avec des doigts fonctionnels et des patients satisfaits des résultats. **Conclusion :** La ré-implantation pulpaire sans anastomose microvasculaire, surtout distale a donné des résultats satisfaisants et mérite d'être tentée autant que faire se peut pour permettre d'obtenir un meilleur résultat anatomique et fonctionnel satisfaisant.

---

**Mots-clés:** Amputation, pulpe, doigt, replantation

---

### **Finger pulp re-implantation without microvascular anastomosis: about three cases**

***Abdourahmane Ouangre***

Centre Hospitalier Universitaire Regional de Ouahigouya  
Service de Chirurgie Orthopedique et traumatologique

***T. Julien Savadogo***

Centre Hospitalier Universitaire Yalgado OUEDRAOGO  
Laboratoire de Morphologie et d'Organogenèse

***Nebon Delphine Bado***

Centre Hospitalier Universitaire Regional de Ouahigouya  
Service d'anatomie et cytologique pathologiques

***Sibiri Abdoul Karim Bouda***

***Idrissa Ouedraogo***

Centre Hospitalier Universitaire Regional de Ouahigouya  
Service de Chirurgie Orthopedique et traumatologique

***Olivier Zampou***

Centre Hospitalier Universitaire Regional de Ouahigouya  
Service de Chirurgie Pédiatrique

***Malick Diallo***

***Patrick W. H. Dakoure***

Centre Hospitalier Universitaire Souro SANOU  
Service de Chirurgie Orthopedique et Traumatologique de l'Appareil Moteur

---

#### **Abstract**

**Objective:** To describe the technique and results of three finger pulp re-implantations without microvascular anastomosis performed in our department. **Observations:** The amputation was located in zone 3 on the left

medius and ring finger in a 10-year-old pupil, and on the left medius in DAUTEL zone 4 in a 40-year-old patient. Re-implantation after trimming and direct suturing was performed on all three fingers, with additional axial pinning in the 10-year-old. Healing was obtained after 45 days in the child and 60 days in the adult, who presented with an infection that progressed well under appropriate antibiotic therapy and local care. The nail apparatus was preserved, as was pulpal sensitivity on all three fingers, with functional fingers, and patients were satisfied with the results. **Conclusion:** Finger pulp re-implantation without microvascular anastomosis, especially distal, has produced satisfactory results and deserves to be attempted wherever possible to ensure the best possible anatomical and functional outcome.

---

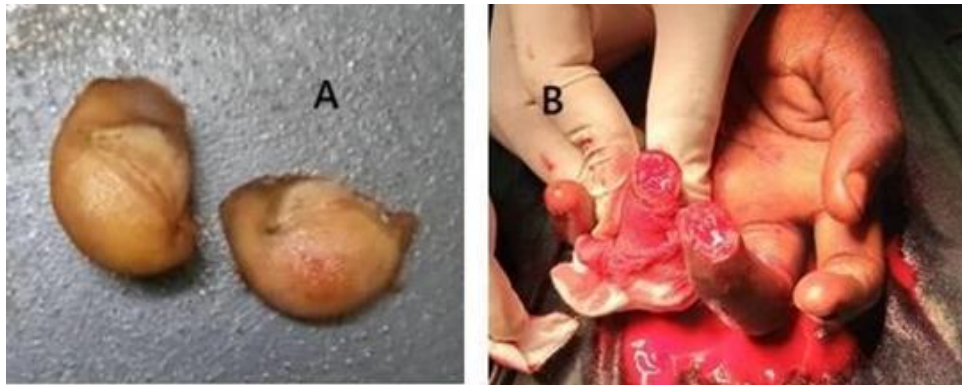
**Keywords:** Amputation, pulp, finger, replantation

## Introduction

L'amputation traumatique pulpaire est une cause importante de perte de substance de la pulpe digitale (Abi-Chahla, 2024). Elle est consecutive à un traumatisme souvent complexe de la main et demeure un challenge pour le chirurgien (Tamulevicius, 2025). La pulpe digitale par son innervation permet de percevoir la sensibilité tactile et thermoalgique (Abi-Chahla, 2018). La classification de Merle et Dautel permet d'apprécier les lésions et de proposer une indication (Merle, 2022). La prise en charge comprend des techniques de chirurgie plastique comme la cicatrisation dirigée, les greffes cutanées ou de substituts, les lambeaux de couverture et même l'amputation (Lemmon, 2008). La ré-implantation selon El Idrissi (El Idrissi, 2016) consiste en la restauration d'une partie du corps complètement amputée. La première réimplantation de pouce ayant été réalisée par Tamai et Komatsu en 1965 (Komatsu, 1968). Nous rapportons trois cas de ré-implantation digitale pulpaire après une amputation chez deux patients. Le but était de décrire la technique et les résultats de trois réimplantations digitales sans anastomose réalisées dans un service non spécialisé en microchirurgie .

## Observations

*Patient 1* : Il s'est agi d'un élève de dix ans, droitier reçu à la première heure d'un traumatisme de la main gauche dont les troisième et quatrième rayon ont été pris dans l'engrenage du pignon et de la chaîne de son vélo. Les parents avaient les fragments de doigts dans un sachet. Le diagnostic d'amputation pulpaire en zone 3 de Merle et Dautel des 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> doigt de la main gauche a été posé. La figure 1 illustre les lésions.



**Figure 1 : Lésions de la main à l'entrée**

(A : les doigts apportés par les parents, B : aspect des moignons au bloc opératoire)

La sérothérapie antitétanique, l'antibioprophylaxie ont été administrées et il a été réalisé à H2 sous anesthésie générale, un parage, réduction et brochage axial des 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> rayons à l'aide d'une aiguille de seringue, suture en un plan au fil non résorbable 3/0 des 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> rayons. La figure 2 illustre les résultats postopératoires immédiats.



**Figure 2 : Résultats postopératoires immédiats (A : vue dorsale de la main, B : vue ventrale)**

L'évolution s'est faite vers une nécrose partielle et une suppuration superficielle traitée par soins locaux et antibiotiques avec cicatrisation en quarante jours suivis de l'ablation de la broche. L'appareil unguéal est partiellement conservé de même que les sensibilités. Le patient était satisfait. La figure 3 illustre les résultats au 45<sup>e</sup> jour.





**Figure 3 :** Aspects des doigts après cicatrisation

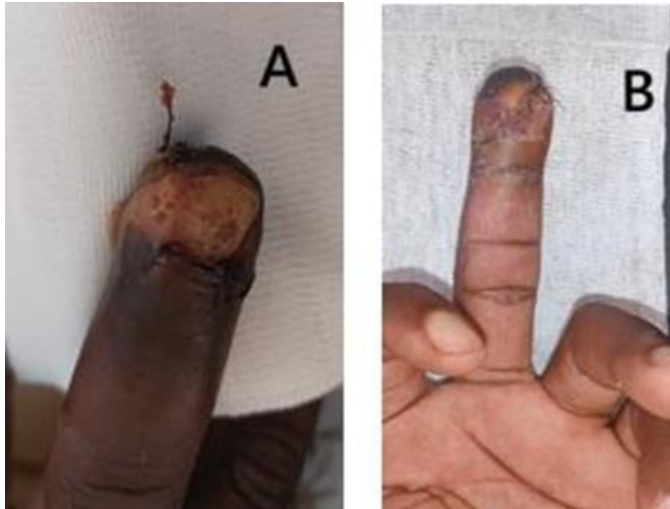
*Patient 2* : Il s'est agi d'un militaire de 40 ans, droitier reçu à la première heure d'un traumatisme du médus gauche coincé sous un capot de voiture. Tenant le fragment de doigt dans un sachet contenant de la glace fondue, le diagnostic d'amputation pulpaire en zone 4 de Merle et Dautel du médus gauche a été posé. La figure 4 illustre la lésion.



**Figure 4 :** Lésions du médus à l'entrée

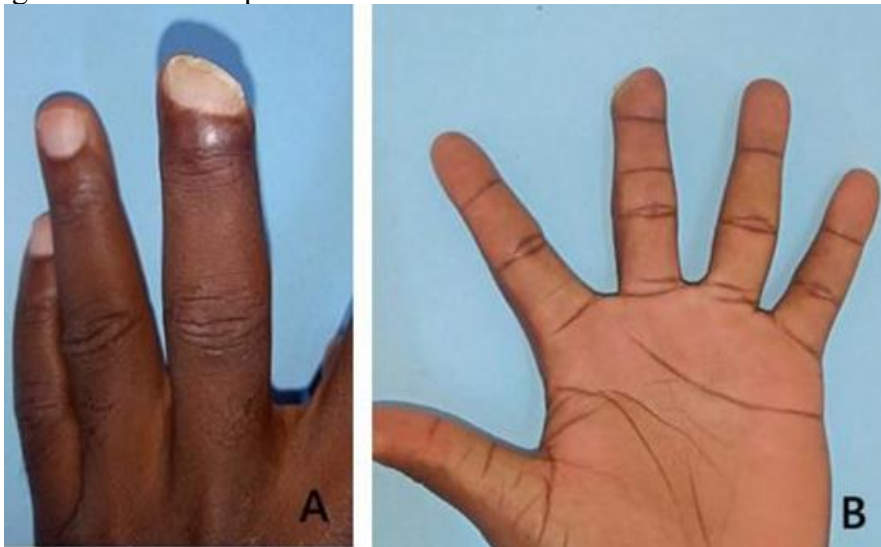
(A : vue palmaire, B : vue dorsale, C : le doigt apporté par les parents)

La sérothérapie antitétanique, l'antibiothérapie ont été administrées et il a été réalisé sous anesthésie locale à la troisième heure, un parage, repositionnement du moignon et suture en un plan au fil non résorbable 2/0. L'évolution s'est faite vers une nécrose partielle et une suppuration superficielle traitée par soins locaux et antibiotiques avec cicatrisation complète en soixante jours. La figure 5 illustre l'évolution marquée par la suppuration et la nécrose partielle.



**Figure 5 :** Évolution marquée par la suppuration et nécrose partielle  
(A : face dorsale, B : face dorsale)

L'aspect du doigt à soixante jours retrouve un appareil unguéal est partiellement conservé de même que les sensibilités. Le patient était satisfait. La figure 6 illustre l'aspect final.



**Figure 6 :** Aspect du doigt après cicatrisation

## Discussion

Notre serie a connu une limite qu'est l'absence d'images radiographiques. Cependant les resultats obtenus sont descriptifs de notre contexte de travail et peuvent enrichir la litterature sur la question.

Selon Solaja (Solaja, 2021) au Canada, on note une tendance à la baisse du nombre de ré-implantations digitales depuis 2011 dans leur centre en



rapport probablement avec la baisse du nombre de patients victimes d'amputation de doigts. Les amputations de doigts concernent surtout les doigts longs. Le mécanisme par "guillotine" chez nos patients est rapporté par Gürbüz (Gürbüz, 2021). Le retentissement fonctionnel et esthétique des déformations provoquées par l'amputation digitale sont considérables (Komatsu, 1968 ; Reid, 1986). Barbary (Barbary, 2013) donnait cinq indications absolues de ré-implantations digitales. Premièrement chez les enfants, la ré-implantation doit être tentée quel que soit le niveau d'amputation car ils ont un immense potentiel d'adaptation. Deuxièmement au niveau du pouce puisque l'opposition est fondamentale pour la préhension. Troisièmement, les amputations distales car elles donnent de bons résultats, par opposition aux amputations au niveau de l'interphalangienne proximale. Quatrièmement, les patients avec une main mutilée où chaque doigt restant est précieux et enfin cinquièmement les patients avec des exigences professionnelles particulières tel que les musiciens. Ces résultats de la littérature justifient que nous ayons tenté la replantation chez nos patients, bien que les moignons de nos patients n'aient pas été acheminés dans des conditions idéales. Le facteur déterminant dans la survie après ré-implantation digitale serait la réalisation et la réussite de l'anastomose veineuse (Lima, 2015). Nous n'avons pas pu réaliser l'anastomose en rapport avec la distalité de l'amputation et sa complexité à ce niveau, chose pour laquelle nous ne sommes pas outillés. Nos résultats finaux étaient satisfaisants, corroborant ceux de Mohamed et de Barbary (El Idrissi, 2016 ; Barbary, 2013) pour les amputations digitales. Cependant, pour les amputations pulpaire, certains auteurs préfèrent les pansements occlusifs et les lambeaux locaux à la ré-implantation (Lasserre, 2010 ; Randazzo, 2023). Les résultats de ces techniques peuvent être intéressants mais ne préservent pas l'appareil unguéal comme dans notre série.

## **Conclusion**

La ré-implantation digitale sans anastomose microvasculaire, surtout distale a donné des résultats satisfaisants et mérite d'être tentée autant que faire se peut. Les complications infectieuses doivent être jugulées, la nécrose partielle doit être surveillée pour permettre d'obtenir un meilleur résultat anatomique et fonctionnel satisfaisant.

## **Remerciements**

Remerciements à l'endroit du Personnel du Bloc opératoire et de la chirurgie de la clinique El Fateh SUKA pour la diligence dans la prise en charge du patient 1.

Remerciements à Madame OUANGRE/OUEDRAOGO Nébinsamdé Saphia pour avoir inspiré ce travail.

**Études humaines :** Toutes les étapes du travail ont été effectuées en conformité avec la déclaration d'Helsinki. Nous avons obtenu l'autorisation de la Direction Générale du Centre Hospitalier Universitaire Régional de Ouahigouya pour la collecte des données en vue de ce travail.

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

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

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

### References:

1. Abi-Chahla, M. L., Alet, J. M., Fabre, T., & Pelissier, P. (2018). Treatment of defects in the tip and palmar surface of the fingers. *Hand Surgery and Rehabilitation*, 37(1), 4-11.
2. Abi-Chahla, M. L., Alet, J. M., Fabre, T., & Pelissier, P. (2024). Traitement des pertes de substances pulpaire et de la face palmaire des doigts longs. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique*, Volume 110(6), 903-913.
3. Barbary, S., Dap, F., & Dautel, G. (2013). Finger replantation : surgical technique and indications. *Chirurgie de la Main*, 32(6), 363-372.
4. Eger, M., Schmidt, B., Török, G., Khodadadi, J., & Golcman, L. (1974). Replantation of upper extremities. *The American Journal of Surgery*, 128(3), 447-450.
5. El Idrissi, M., Elibrahimi, A., Shimi, M., & Elmrini, A. (2016). La replantation digitale, résultats et complications : étude d'une série de 18 cas. *The Pan African Medical Journal*, 24, 184.
6. Gürbüz, K., & Yontar, Y. (2021). A four-year community hospital experience regarding procedures for the replantation and revascularization of fingers. *Joint diseases and related surgery*, 32(2), 383.
7. Komatsu, S. H. I. G. E. O., & Tamai, S. U. S. U. M. U. (1968). Successful replantation of a completely cut-off thumb. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 42(4), 374-377.
8. Lasserre, G., Bakkouch, S., Pauchot, J., Binda, D., Robin, S., Humbert, P., ... & Obert, L. (2010). Reconstruction pulpaire par pansement occlusif: évaluation clinique et analyse biologique du contenu du pansement. *Chirurgie de la main*, 29(5), 315-320.

9. Lemmon, J. A., Janis, J. E., & Rohrich, R. J. (2008). Soft-tissue injuries of the fingertip : methods of evaluation and treatment. An algorithmic approach. *Plastic and reconstructive surgery*, 122(3), 105-117.
10. Lima, J. Q., Carli, A. D., Nakamoto, H. A., Bersani, G., Crepaldi, B. E., & Rezende, M. R. D. (2015). Prognostic factors on survival rate of fingers replantation. *Acta ortopedica brasileira*, 23(1), 16-18.
11. Merle M, & Dautel G. (2022). *Chirurgie de la main : L'urgence*. Elsevier-Masson. Page 118.
12. Randazzo, L., Muller, C., Piessat, C., Dap, F., & Athlani, L. (2023). Traitement des amputations digitales pulpaire par lambeaux locaux versus pansements occlusifs: une étude comparative. *Hand Surgery and Rehabilitation*, 42(6), 575.
13. Solaja, O., Retrouvey, H., & Baltzer, H. (2021). Trends in Digital Replantation : 10 Years of Experience at a Large Canadian Tertiary Care Center : Les tendances de la replantation digitale : dix ans d'expérience d'un grand centre canadien de soins tertiaires. *Plastic Surgery*, 29(1), 21-29.
14. Tamulevicius, M., Steinbach, M. D., Bucher, F., Dastagir, N., Obed, D., Vogt, P. M., & Dastagir, K. (2025). Impact of single versus dual arterial supply on perfusion and function in finger replantation after complex hand injuries. *Scientific Reports*, 15(1), 3169.

## ***Acacia senegal* (L.) Willd., une espèce polyvalente dans la vie des communautés vivant autour des gomméraires au Niger**

***Ali Abdoukadi Abdoulaye***

***Aichatou Assoumane***

Faculté des Sciences et Techniques,  
Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

***Abdoukadi Laouali***

Faculté des Sciences Agronomiques,  
Université Boubacar Bâ de Tillabéri, Niger

***Bénédicte Favreau***

UMR AGAP Institut, Univ Montpellier,  
CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n18p49](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p49)

Submitted: 19 February 2025

Accepted: 12 June 2025

Published: 30 June 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

### *Cite As:*

Abdoukadi Abdoulaye, A., Assoumane, A., Laouali, A. & Favreau B. (2025). *Acacia senegal* (L.) Willd., une espèce polyvalente dans la vie des communautés vivant autour des gomméraires au Niger. European Scientific Journal, ESJ, 21 (18), 49.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p49>

### **Résumé**

*Acacia senegal* est l'une des espèces les plus utilisées dans les programmes de reboisement en Afrique du fait de sa rusticité et de son importance économique et écologique. La présente étude se propose d'explorer les différents types d'usages contemporains de l'espèce *Acacia senegal* et les modes de gestion et d'exploitation des gomméraires au Niger. Dans le cadre de la collecte de données, l'échantillonnage a concerné 4 localités toutes situées dans les bassins gommiers occidental et central où des questionnaires ont été administrés et des focus group et entretiens organisés. Les données qualitatives et quantitatives recueillies ont fait l'objet d'analyses descriptives et de corrélation. Il ressort de l'analyse des résultats que les modes de gestion et d'exploitation des peuplements artificiels et sites privés se sont avérées les plus efficaces, avec une densité et une fréquence de régénération appréciables du fait notamment d'un niveau adapté d'entretien et de sécurité. S'agissant des typologies d'usages de l'arbre, sa capacité dans l'amélioration

de la fertilité des sols et son utilisation comme haie-vive sont les plus citées. Concernant l'usage domestique de ses produits, l'alimentation humaine/animale est la plus évoquée, avec respectivement la consommation de la gomme et des feuilles. A propos des usages spécifiques des organes, les feuilles sont principalement utilisées dans l'alimentation animale, l'écorce dans la phytothérapie, les racines pour fabriquer les filets lave-vaisselle, et le bois dans la production de l'énergie domestique. Grâce à cette étude, des pistes d'amélioration du modèle de gestion et d'exploitation d'*Acacia senegal* ont pu être identifiées. Cela consisterait notamment à transformer les relais communautaires en chérifs forestiers avec un renforcement de compétences dans la gestion environnementale. En outre, pour garantir leur réussite, les programmes de reboisement devraient considérer les intérêts locaux pour *Acacia senegal* en vue de promouvoir l'inclusion communautaire et l'appropriation.

---

**Mots-clés:** *Acacia senegal*, importance, vie des communautés, autour des peuplements, Niger

---

### ***Acacia senegal* (L.) Willd., a versatile species in the life of communities living around gum plantations in Niger**

***Ali Abdoukadi Abdoulaye***

***Aichatou Assoumane***

Faculté des Sciences et Techniques,  
Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

***Abdoukadi Laouali***

Faculté des Sciences Agronomiques,  
Université Boubacar Bâ de Tillabéri, Niger

***Bénédictte Favreau***

UMR AGAP Institut, Univ Montpellier,  
CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France

---

#### **Abstract**

*Acacia senegal* is one of the most widely used species in reforestation programs in Africa, due to its hardiness and economic and ecological importance. The aim of this study is to explore the different types of current uses of *Acacia senegal*, and the ways in which gum plantations are managed and exploited in Niger. As part of the data collection, 4 sites were sampled, all located in the western and central gum tree basins, where questionnaires were administered and focus groups and interviews organized. The qualitative and quantitative data collected were subjected to descriptive and correlation

analysis. Analysis of the results showed that the management and exploitation methods used for artificial stands and private sites proved to be the most effective, with a significant density and frequency of regeneration due to an appropriate level of maintenance and safety. Regarding the uses of the trees, their ability to improve soil fertility and their use as hedgerows are the most frequently cited. Regarding the domestic use of its products, human and animal utilization is the most frequently mentioned, with gum arabic and leaves consumption. As for the specific uses of the organs, the leaves are mainly used for animal food, the bark for herbal medicine, the roots to make dishwashing nets, and the wood to produce domestic energy. Thanks to this study, new ways of improving the management and exploitation model of the *Acacia senegal* have been identified. This would involve transforming forest chiefs with enhanced environmental management skills. In addition, to ensure their success, reforestation programs should consider local interests in *Acacia senegal* to reinforce community inclusion and ownership.

---

**Keywords:** *Acacia senegal*, importance, community life, around gum plantations, Niger

## Introduction

*Acacia senegal*, communément appelé gommier blanc, est une espèce ligneuse emblématique répandue dans la plupart des pays africains. Il est plus prédominant dans les régions sèches qui présentent une pluviométrie annuelle comprise entre 200 mm et 600 mm (Vassal, 1998). Ses remarquables capacités d'adaptation lui permettent de prospérer dans des conditions environnementales difficiles (8 à 11 mois sans pluie), ce qui en fait une espèce clé dans la restauration des écosystèmes de ces régions (Arbonnier, 2000 ; Abdou, 2015). En effet, *Acacia senegal* est souvent utilisé dans des programmes de reboisement et d'aménagement paysager pour lutter contre la désertification (Tchigankong et al., 2018). Dans le cadre de la mise en œuvre du programme Grande Muraille Verte (GMV), parmi les 20 espèces ligneuses sélectionnées pour ce programme, *Acacia senegal* est l'une des espèces prioritaires notamment en raison de son importance sur le plan écologique et socioéconomique (Zougoulou et al., 2010 ; Goffner et al., 2019). *Acacia senegal* est également utilisée dans les actions de reboisement de la Fondation Cœur Vert en Afrique car cette espèce est mise en avant pour ses avantages économiques (Müller, 2017). Au Niger, *Acacia senegal* est largement utilisée dans les projets de gestion durable des terres dans le cadre de la séquestration de carbone. Ainsi, les sites dits de biocarbone couvrent environ 8.480 ha avec un bilan carbone estimé à -1,4 tonnes de CO<sub>2</sub> (OSS, 2016).

Sur le plan agronomique, *Acacia senegal* a été identifiée comme étant une espèce ayant un grand potentiel pour augmenter et diversifier la

production agricole, ainsi que pour stabiliser et reconstituer les terres dégradées et préserver celles vulnérables (Sprent et *al.*, 2010). L'espèce est particulièrement réputée pour la gomme arabique qu'elle produit, une substance de grande valeur utilisée dans divers secteurs tels que l'industrie alimentaire, pharmaceutique et cosmétique (Nguyen, 2014).

Plusieurs études ont mis en lumière les différents avantages de l'espèce aussi bien au niveau économiques (FAO, 2019 ; MESUDR, 2016 ; SOFRECO, 2022) qu'agronomiques (Sprent et *al.*, 2010 ; Abdou et *al.* 2014, Abdoukadi et *al.*, 2018). Au Niger, le potentiel gommier évalué en 2022 à 300.000 ha (SOFRECO, 2022), est constitué principalement de gomméraires naturelles réparties dans les 3 bassins de production (occidental, central et oriental). La production annuelle de la gomme est estimée à 139.000 tonnes (GESFORCOM, 2015). Aussi bien pour les populations vivant autour des peuplements naturels que pour celles exploitant les plantations, cette espèce offre une véritable opportunité de renforcement de moyens de subsistance.

En outre, l'espèce fait l'objet de plusieurs d'autres types d'usages par les populations sahéniennes (Alland & Robert, 2017). Cependant, très peu d'études ont abordé les divers domaines d'utilisation de l'espèce par les communautés locales au Niger. La plus récente réalisée par Sina et *al.* (2019) s'est limitée à une seule plantation, ce qui ne permet pas de généraliser à l'échelle du pays. A notre connaissance, les approches locales de gestion ainsi que les pratiques d'exploitations et les usages spécifiques des organes de cette espèce n'ont jamais été explorées par le passé. Or, il est essentiel de prendre en compte ces pratiques endogènes ainsi que les usages empiriques et traditionnelles afin de proposer un plan de gestion et d'exploitation plus optimale et durable.

La présente étude se propose de comprendre l'importance socioéconomique et environnementale perçue de l'espèce *Acacia senegal* par les populations vivant autour des peuplements et plantations, dans les bassins gommiers occidental et central.

De manière spécifique, il s'agit de :

- Décrire le modèle de gestion et d'exploitation des gomméraires et évaluer son efficacité ;
- Analyser les usages traditionnels et modernes de l'espèce *Acacia senegal* par les communautés locales, en mettant l'accent sur les applications socioéconomiques ;
- Identifier les défis et les opportunités liés à la conservation et à la valorisation de l'espèce *Acacia senegal* ;
- Proposer des stratégies de gestion durable de l'espèce qui pourraient optimiser son utilisation et ses avantages socioéconomiques, tout en préservant sa pérennité écologique.

## **Materiel et Méthodes**

### **Matériel**

#### ***Brève description morphologique et caractères botaniques d'Acacia senegal***

*Acacia senegal* est un arbre de petite taille dont la hauteur dépasse rarement 6 mètres et le fût 30 centimètres de diamètre. Les branches très ramifiées, ascendantes puis étalées, sont souvent rameuses dès la base. L'écorce, lisse et blanchâtre chez les jeunes sujets, devient rugueuse, noirâtre et crevassée avec l'âge. Les haoussas du Niger nomment l'arbre, farar akora, c'est-à-dire gommier blanc. Les feuilles composées, de couleur gris-verte, présentent 3 à 5 paires de pinnules ayant 10 à 20 paires de foliolules à bords ciliés, oblongues, larges de 1 à 2 millimètres, et longues de 3 à 5 millimètres. Le rachis des feuilles et des pinnules est finement pubescent. Les feuilles apparaissent au début de la saison des pluies et tombent en général dès le mois de novembre. La défoliation peut cependant se produire beaucoup plus tard dans certaines stations présentant un climat particulier. L'exsudation de la gomme arabique a lieu seulement durant cette période de repos végétatif. Les épines, groupées par 3 à l'insertion des feuilles, sont petites et noirâtres. Recourbées en forme de crochets aigus, elles sont beaucoup plus larges au départ qu'à la pointe. L'épine médiane se courbe vers la base du rameau tandis que les épines latérales divergent légèrement (Giffard, 1975).

#### ***Présentation de la zone d'étude***

Les consultations communautaires ont été conduites dans 2 des 3 bassins gommiers du Niger, du fait de l'inaccessibilité au bassin localisé à l'est du Niger (figure 1). Il s'agit du bassin occidental où les localités de Téra et de Sorey ont été ciblées, et du bassin central dans les localités de Bader-Goula et Korahane. Le bassin occidental, situé dans la partie ouest du Niger, se caractérise par une pluviométrie qui varie entre 600 mm au sud et 370 mm au nord avec des températures annuelles oscillant entre 18 °C et 42 °C. Quant au bassin central, il est situé entre les isohyètes 400 mm sud et 260 mm nord avec des variations de températures entre 16 °C la saison froide et 41 °C la saison chaude.



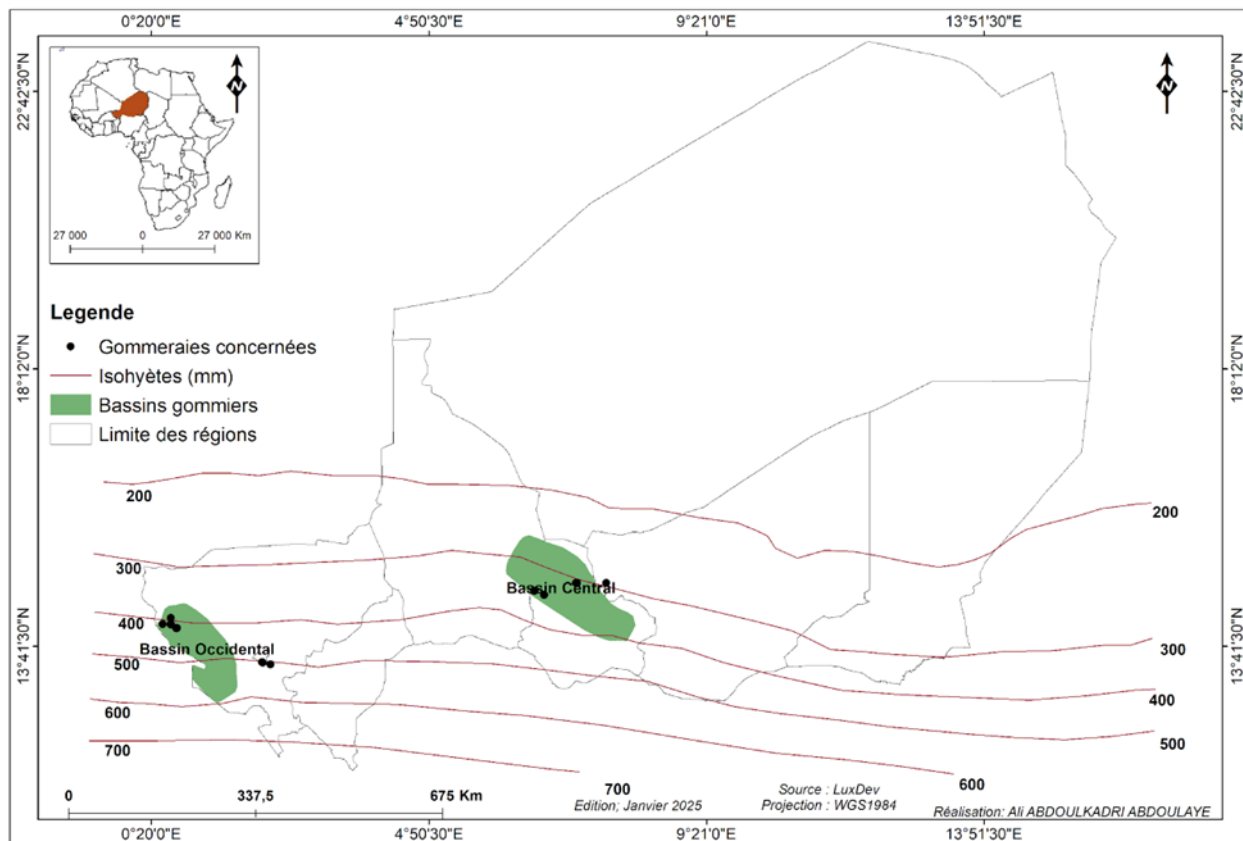


Figure 1 : localisation des principaux bassins de production

### Outils de collecte de données

Dans le cadre de la phase de collecte de données auprès des différents acteurs, 3 outils ont été élaborés à l'aide du logiciel SPHINX 4.0 (Release 4.0.3, 2021) :

- Un questionnaire abordant notamment le rôle de l'arbre dans la vie des communautés destiné aux acteurs qui exploitent les peuplements naturels et les plantations d'*Acacia senegal* ;
- Un guide d'entretien adressé aux services techniques de l'environnement sur les raisons de l'utilisation de l'espèce dans les programmes de reboisement et sur la gestion des gomméraires naturelles et artificielles ;
- Un support de facilitation de focus-groups avec les exploitants des peuplements naturels et des plantations d'*Acacia senegal*, pour aborder des questions d'ordre général.

## **Échantillonnage**

Les opérations de collectes de données sous forme de questionnaire individuel ont concerné au total 65 exploitants des gommaraies réparties sur les 4 localités (Sorey, Téra, Bader et Korahane), soit 33 dans le bassin occidental et 32 dans le bassin central. L'échantillonnage des personnes à enquêter a été réalisé par tirage de façon aléatoire à partir de listes des exploitants fournies par les services déconcentrés de l'environnement. Les acteurs concernés sont : les agriculteurs, les agro-pasteurs, les éleveurs et les sylviculteurs. En outre, 10 entretiens semi-structurés et 4 focus-groups ont été réalisés utilisant respectivement un guide d'entretien et un support de facilitation.

## **Collectes des données**

La collecte de données a été réalisée suivant 3 démarches qui sont : 1- les questionnaires individuels des acteurs exploitant les gommaraies, 2- les entretiens semi-structurés adressés aux acteurs institutionnels (départementaux et communaux de l'environnement des entités concernées), et 3- les focus-groups réunissant les mêmes exploitants. Les focus-groups ont été organisés après les entretiens individuels dans chaque village. Chaque participant a eu la latitude d'exprimer librement son opinion par rapport à chaque thématique abordée, en présence des autres participants. Les facilitateurs ont créé un climat de confiance avant de stimuler le débat, puis de s'effacer afin d'éviter d'influencer les opinions et prendre des notes. Chaque focus-group a réuni 12 acteurs de profils hétérogènes (agriculteurs, éleveurs, agropasteurs, ménagères et bûcherons). Dans le cadre de la conduite des interviews semi-structurés, une série de questions a été posée aux responsables des services départementaux et communaux de l'environnement. Concernant le déroulement des questionnaires individuels, conformément au principe, chaque acteur a été isolé et interviewé. Les données collectées concernent notamment les modèles de gestion et d'exploitation des sites, les usages de l'espèce et les organes utilisées ainsi que leurs usages spécifiques.

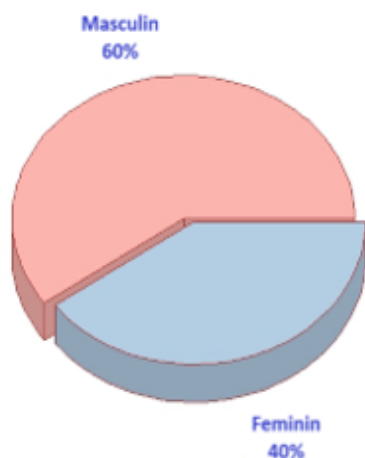
## **Analyse et traitement de données**

Les données issues des consultations des acteurs ont été dépouillées et saisies sur le logiciel SPHINX 4.0 (Release 4.0.3, 2021). Après un premier traitement sur SPHINX, des analyses ont été réalisées et ont permis de générer des tableaux de tri à plat. Les tableaux ont ensuite été exportés sous Excel, synthétisés puis ont fait l'objet d'analyses descriptives et de corrélation (analyse des correspondances multiples) sous R software (version 4.3.3-x86-64) (R Core Team, 2017).

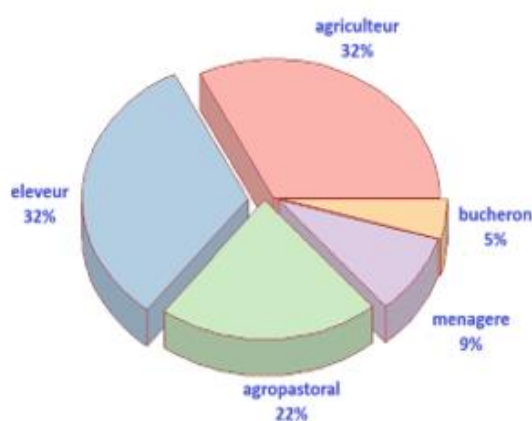
## Resultats

### *Caractéristiques des enquêtés*

Les opérations de collecte de données ont concerné toutes les catégories socioprofessionnelles des bassins gommiers. Ainsi, lors des questionnements individuels, les acteurs se répartissent en 60% d'hommes et 40% de femmes (figure 2a). De même, parmi les personnes enquêtées, 32% sont agriculteurs, 32% éleveurs et 22% pratiquent simultanément les deux activités (agropasteurs) (figure 2b).



**Figure 2a :** Répartition des enquêtés selon le sexe

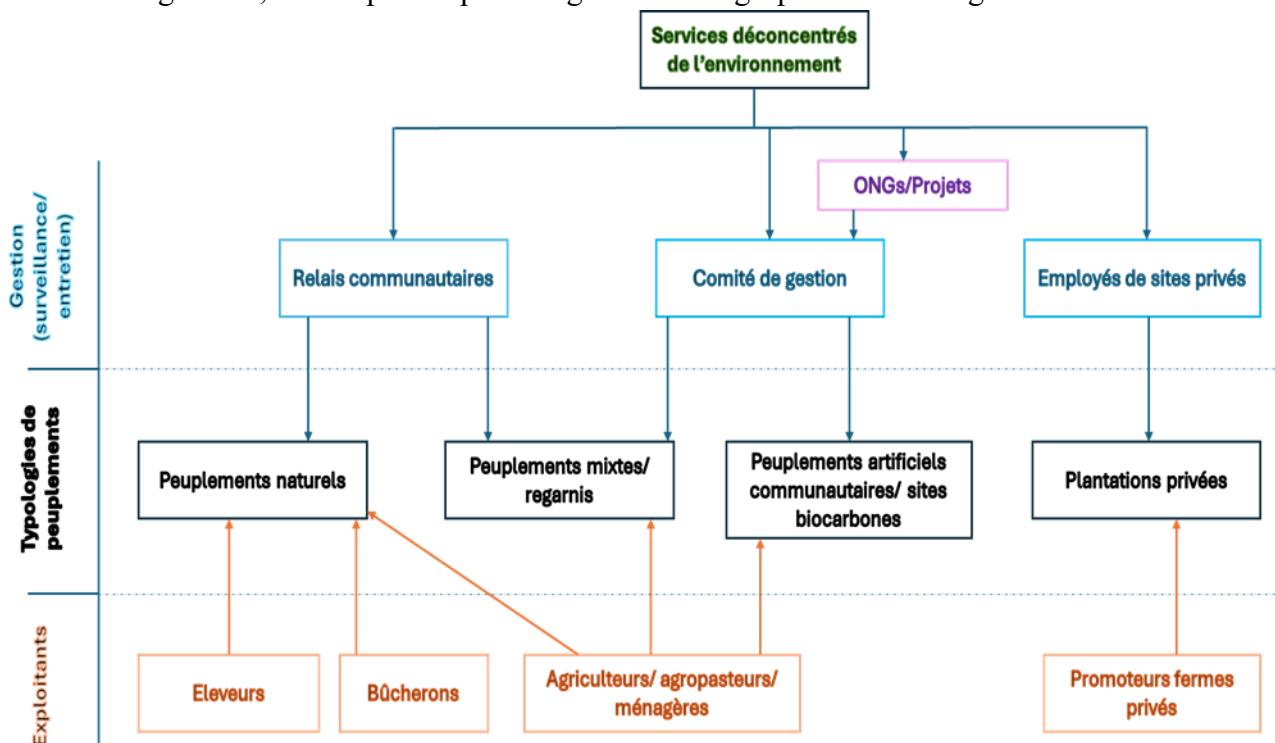


**Figure 2b :** Répartition des enquêtés selon la profession

### *Modes de gestion et exploitation des gomméraires*

Les données recueillies auprès des acteurs ont permis de réaliser un schéma synthétisant les différents modes de gestion et d'exploitation des gomméraires (figure 3). Ainsi, la chaîne de la gestion relève des Services Déconcentrés de l'Environnement (SDE) qui encadrent les acteurs impliqués dans la sécurisation et l'entretien des sites. Les relais communautaires jouent un rôle d'informateurs pour les SDE en leur fournissant des informations en temps réel dès constatation de dégâts sur les arbres. Leur champ d'intervention se limite aux peuplements naturels et mixtes où ils s'occupent beaucoup de la surveillance ainsi que de l'entretien. Dans le cadre de la gestion des peuplements mixtes/ regarnis et artificiels, les SDE et les ONGs/ Projets ayant financés leur plantation mettent en place des comités de villageois en charge de la surveillance, de l'entretien et de l'exploitation. Les SDE interviennent également sur les sites privés où ils sont sollicités pour fournir des semences de qualité et une certaine expertise au démarrage. Les sites privés disposent généralement d'employés permanents qui surveillent et entretiennent les arbres, et assurent également les autres tâches liées à leur exploitation.

S'agissant de l'exploitation, chaque typologie de peuplement est associée à la catégorie socio-professionnelle qui l'utilise. Ainsi, les peuplements naturels localisés dans les aires pastorales ou/et agricoles sont principalement exploités par les éleveurs, les bûcherons, et les agriculteurs/ agropasteurs/ ménagères. Les peuplements mixtes et artificiels, situés majoritairement dans les zones agricoles, sont exploités par les agriculteurs/ agropasteurs/ ménagères.



**Figure 3 :** Schéma de modes de gestion et d'exploitation des gomméraires d'*Acacia senegal*

### ***Dynamique des peuplements et leur gestion***

Les résultats des enquêtes et des entretiens semi-structurés a permis d'identifier les variations de certains paramètres de la dynamique des peuplements selon leurs typologie, âge et niveau d'entretien et de sécurité (tableau 1). Ainsi, la gomméraire de Bégorou qui est un peuplement artificiel bien entretenu et hautement sécurisé affiche la plus forte densité (515 pieds/ha), le plus faible taux d'abattage par an (2%), et le meilleur indice de régénération (12%). Cependant, la gomméraire naturelle de Korahane, qui ne reçoit que peu d'entretien et qui est peu sécurisé, présente la plus faible densité (16 pieds/ha) et un taux élevé d'abattage. Pour tous les sites, l'analyse croisée montre que moins le site est sécurisé plus le taux annuel d'abattage est élevé, et plus le site est vieillissant, moins il régénère.

**Tableau 1 : Dynamique et modes de gestion des gommaraies**

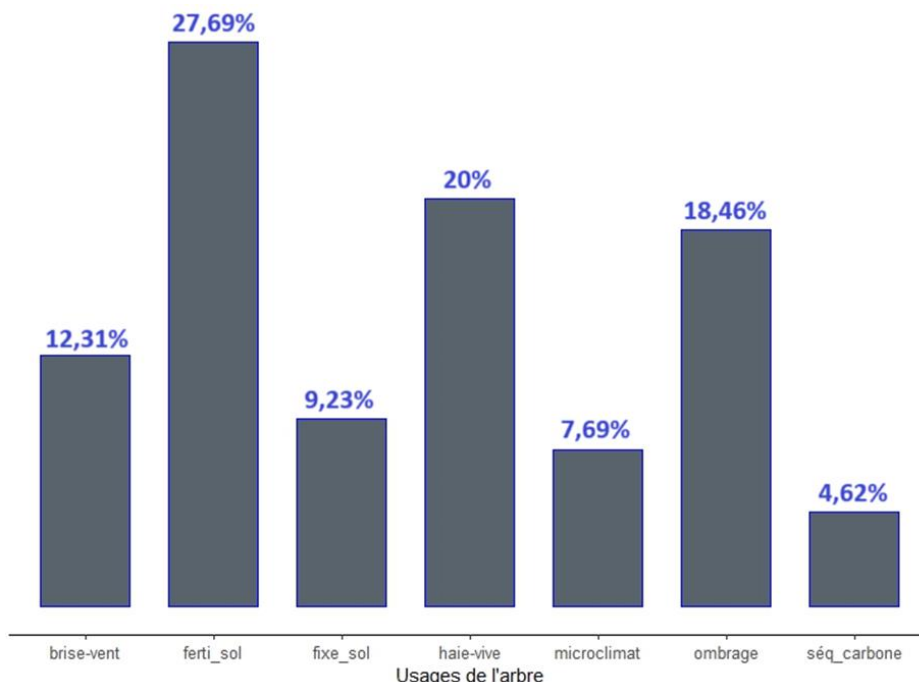
Sites	Type peup.	Age peup.	Niveau d'entretien	Niveau de sécurisation	DM (pieds/ha)	TAA (%)	TAR (%)
Bégorou Tondo	Artificiel	12	Bon	Excellent	515	2	12
Sorey	Artificiel	27	Assez bon	Bon	48	4	6
Bader Goula	Mixte	38	Moyen	Assez bon	24	9	4
Korahane	Naturel	ND	Faible	Moyen	16	16	8

**DM** : Densité moyenne ; **TAA** : Taux annuel d'abattage des arbres ;

**TAR** : Taux annuel de régénération des sites ; **peup** : peuplement

### ***Typologie d'usages de l'arbre d'Acacia senegal***

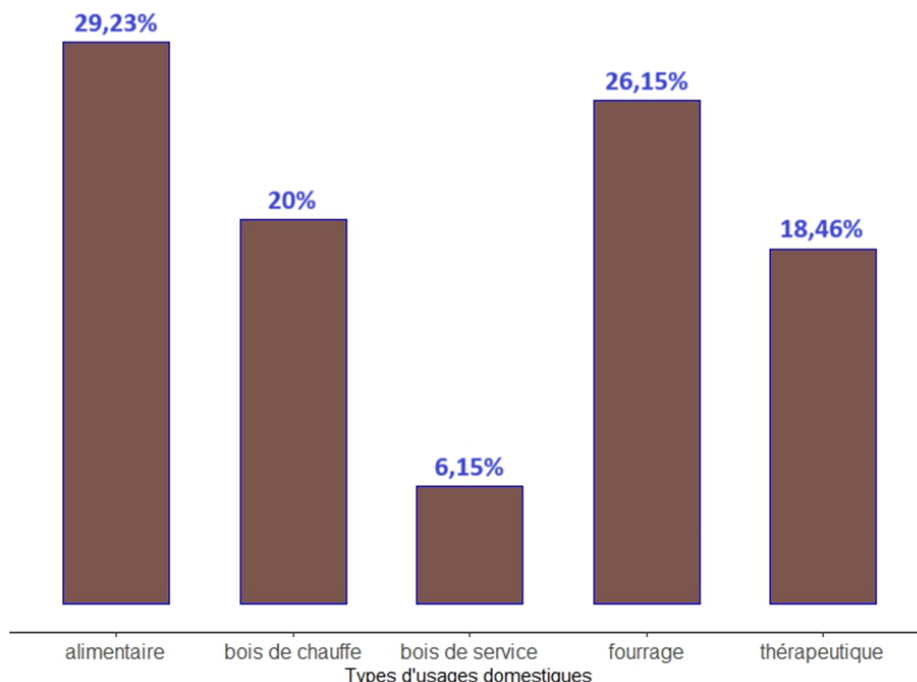
Les résultats des consultations des populations riveraines des peuplement d'*Acacia senegal* ont permis d'identifier la diversité des services que fournit cet arbre aux communautés qui exploitent les gommaraies. Au total, 7 services socio-environnementaux sont cités par les enquêtés comme avantages offerts par l'arbre entier sans considérer les organes partiellement pris (figure 4). Ainsi, le service écosystémique le plus cité, avec un taux de citation de 27,7%, est en lien avec l'amélioration de la fertilité des sols. Dans leurs commentaires, les enquêtés assertent qu'*Acacia senegal* présente une particularité parmi les espèces ligneuses de leur terroir. De leur point de vue, la présence d'*Acacia senegal* dans un espace permet de maintenir un sol relativement fertile et donc rend la terre propice à la production agricole. L'utilisation de l'espèce comme haie-vive arrive en deuxième position, avec une fréquence de citation de 20%. En outre, 18,5% des personnes consultées affirment qu'*Acacia senegal* est un excellent arbre ombrageux pour les travailleurs, dans les champs en saison pluvieuse, et pour les animaux en saison sèche. Cependant, concernant son rôle dans la séquestration de carbone, on n'enregistre que 4,6% de citations provenant principalement des populations riveraines des sites bio-carbones mis en place par des projets de développement.



**Figure 4 :** Fréquence de citations des typologies d'usages de l'arbre *Acacia senegal*

### ***Usages domestiques de l'espèce Acacia senegal***

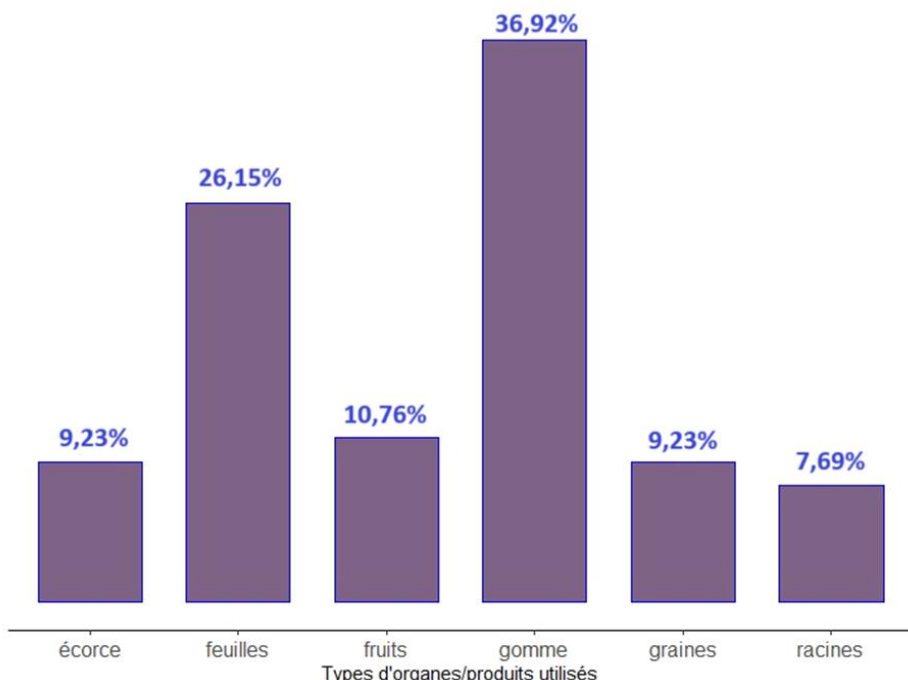
Les organes/ produits d'*Acacia senegal* font l'objet d'une diversité d'usages par les communautés riveraines des peuplements. Ainsi, 5 catégories d'utilisations domestiques sont citées comme les plus courantes par les enquêtés (figure 5). L'usage alimentaire est le plus mentionné avec 29,2% des répondants qui font allusion à la consommation de la gomme arabique comme principal avantage dans l'exploitation des gomméraires. Ensuite, le deuxième avantage dans l'utilisation domestique (cité par 26,2% des enquêtés) est en lien avec la fourniture de fourrage pour le bétail. Néanmoins, l'utilisation du bois d'*Acacia senegal* comme bois de service est citée par seulement 6,2% des répondants.



**Figure 5 :** Fréquence de citations des domaines d'usages domestiques de l'espèce

### ***Principaux organes/ produits utilisés***

Les résultats des consultations des acteurs qui exploitent les gomméraires révèlent que 6 organes et produits de l'arbre intéressent les communautés locales. La gomme arabique est le produit le plus cité par les enquêtés (37% des réponses) (figure 6). Dans les commentaires, les répondants affirment que c'est notamment grâce à son aptitude à produire de la gomme de meilleure qualité qu'*Acacia senegal* intéresse la plupart des exploitants. Les feuilles sont le deuxième organe le plus cité en termes d'utilité pour les exploitants des peuplements d'*Acacia senegal* avec 26,2% de réponses. Les graines et les racines sont les moins citées par les enquêtés, avec respectivement 9,2% et 7,7%. Les répondants témoignent que les graines sont cueillies et vendues aux projets des ONGs intervenant dans les programmes de reboisement. Plus tard, ces ONGs les utilisent comme semences pour mettre en place des plantations dans d'autres localités.



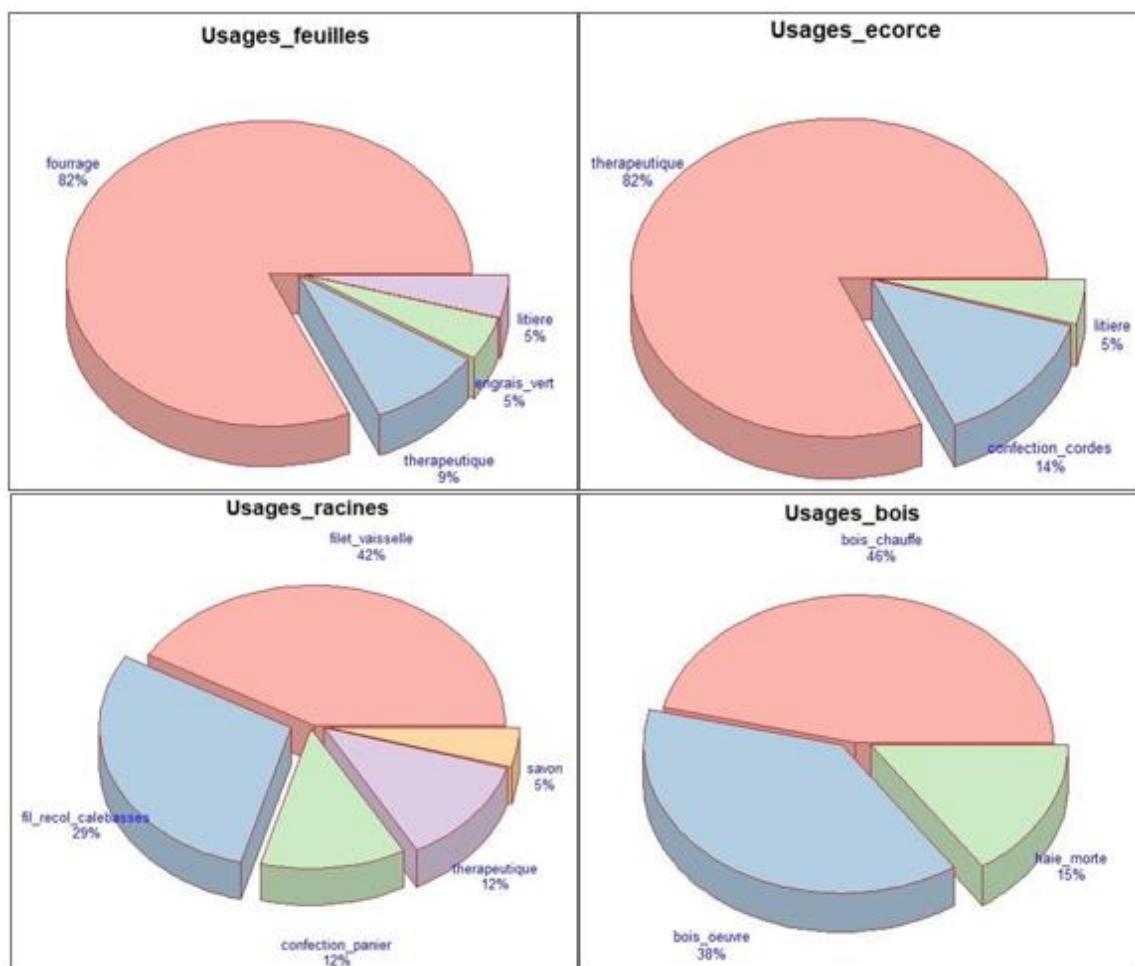
**Figure 6 :** Organes/ produits d'*Acacia senegal* présentant un intérêt pour les communautés

### ***Usages spécifiques des organes***

Les principaux organes de l'arbre utilisés par les communautés locales sont les feuilles, les racines, l'écorce et le bois (figure 7). Les feuilles sont utilisées comme fourrage, engrais, lisière et dans la phytothérapie. Elles entrent essentiellement dans l'alimentation du bétail avec 82% de citations. Les répondants soulignent que ce sont notamment les ruminants qui sont nourris avec les feuilles. S'agissant des racines, elles sont utilisées par les communautés locales dans 5 domaines (fabrication de filet de vaisselle, réparation de calebasse, confection de panier, traitement de maladies et fabrication de savon). Selon les répondants, elles servent principalement à la fabrication artisanale de filet de vaisselle (42% de citations). Les filets de vaisselle (masse de filaments) sont conçus en réduisant les racines de cet arbre en un amas de filaments par battage. Les racines les plus fines qui sont largement utilisées par les artisans (29% de citations) pour réparer les calebasses fissurés et/ou cassées. Concernant l'écorce, elle est bouillie pour réaliser des infusions qui seront utilisées pour traiter et/ou prévenir des maladies courantes (81,5% de réponses). Les répondants précisent que ces infusions servent surtout à traiter les pathologies des enfants et à renforcer leur système immunitaire. A propos du bois, il est principalement utilisé comme bois de chauffe (cité par 46,2% de répondants). Les personnes consultées attestent qu'il constitue un excellent combustible pour la cuisine. De même,



les branches sèches sont utilisées pour mettre en place des haies mortes autour des jardins afin de les protéger contre la divagation des animaux. Par ailleurs, selon les répondants, les gousses sont exclusivement utilisées dans l'alimentation du bétail car elles constitueraient un excellent aliment d'engraissement. Ces gousses sont ramassées et stockées par les éleveurs puis distribuées aux animaux en embouche. Elles sont très appréciées par les ruminants, notamment les caprins et les ovins en élevage extensif ou en embouche.

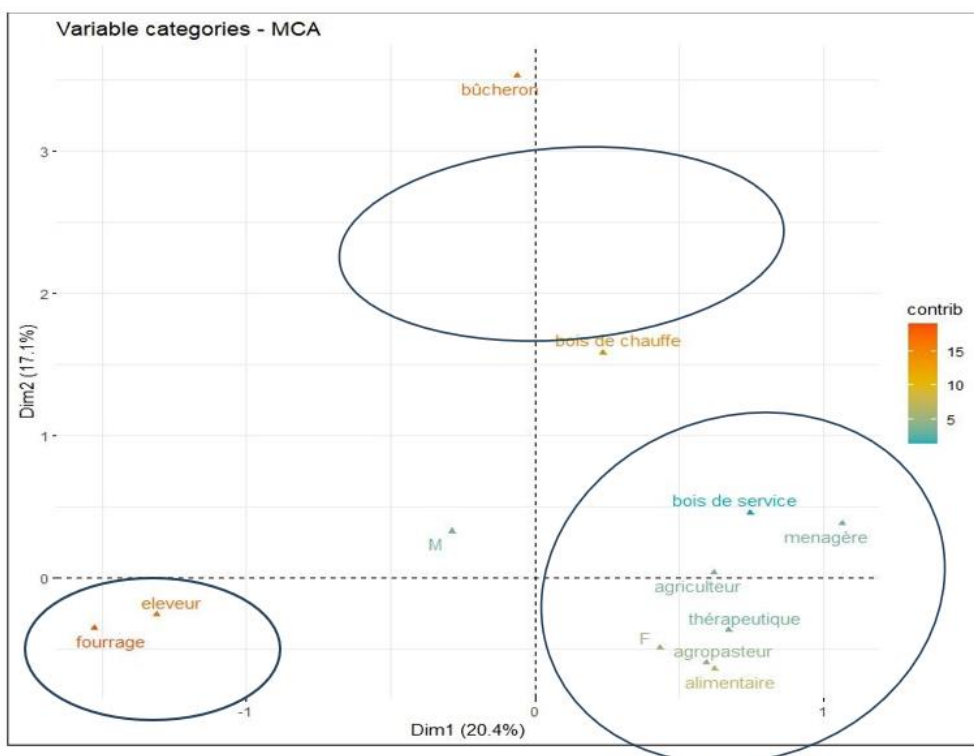


**Figure 7 :** Domaines d'utilisations spécifiques des organes d'*Acacia senegal*

### ***Corrélation entre type d'usage de l'arbre, le genre et la profession des exploitants des sites***

Une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) a été réalisée en vue d'identifier les interrelations entre le genre, les types d'activités et le principal domaine d'utilisation de l'arbre *Acacia senegal* (figure 8). Le plan

factoriel est composé de deux axes qui concentrent 37,5% de l'information. Les modalités « fourrage » et « bûcheron » de la variable profession sont celles qui contribuent le plus à la formation des deux axes. En projetant sur l'axe des abscisses (Dim1), on constate que les fonctions « agriculteur », « agropasteur », et « ménagère » forment un cluster avec les domaines d'utilisations « alimentaire », « thérapeutique » et « bois de service », tandis que la fonction « éleveur » et « fourrage » en forme un autre. En projetant sur l'axe des ordonnées (Dim2), on observe un autre cluster formé par la fonction « bûcheron » et le domaine d'utilisation « bois de chauffe ».



**Figure 8 :** Résultats de l'analyse de corrélation entre les variables sexe, profession et profession des exploitants des gommaraies

## Discussions

L'analyse du résultat des enquêtes réalisés sur les 2 bassins ouest et centre du Niger ont permis de décrire le modèle de gestion des gommaraies à *Acacia senegal*. Au sommet de la pyramide de gestion se trouve les services déconcentrés de l'environnement qui coordonnent l'ensemble des activités relatives à la mise en place des peuplements, à leurs surveillances, entretien et utilisation. Traditionnellement, ce sont les relais communautaires qui jouent un rôle d'informateurs pour les SDE. Selon les réponses des enquêtés, ils sont peu appréciés par la communauté du fait de leur faible collaboration avec les populations. L'approche relais communautaires ne serait pas efficace en

termes de sécurisation des sites. A titre illustratif, les peuplements naturels, dont la sécurité relève principalement de ces agents, subissent une forte pression anthropique avec un fort taux d'abattage des arbres. Cet abattage massif est souvent imputable à la typologie d'exploitants comprenant des éleveurs et des bûcherons. De plus, leur rôle n'inclut pas l'entretien des arbres, ce qui fait que les peuplements naturels ne bénéficient pas d'actions sylvicoles favorables à leur croissance et leur développement. L'intensité des coupes et le manque d'entretien ne sont pas sans conséquence sur le niveau de densité de plus en plus faible d'*Acacia senegal*. Ces résultats corroborent ceux de Cornet et Poupon (1978) et de Diallo et *al.* (2011) qui ont montré que les actions anthropiques ont réduit drastiquement la densité du peuplement d'*Acacia senegal* à Tessékéré (Ferlo/ Sénégal). Ces relais communautaires pourraient être transformés en chérifs forestiers dans chaque village afin qu'ils participent pleinement à l'éveil communautaire sur les questions climatiques et environnementales. Ainsi, ils pourraient mener des actions de sensibilisation des populations sur les impacts de la déforestation ainsi que sur les différents usages de l'espèce *Acacia senegal*. Ils pourraient également mettre en place une pépinière forestière et un herbier dans chaque village pour préserver toutes les espèces forestières du terroir, et ainsi inciter les populations à plus de plantations dans leurs exploitations.

Cependant, les peuplements artificiels et mixtes communautaires, qui sont généralement mis en place par des projets/ programmes de reboisements, et leur gestion sont confiés à un comité désigné à cet effet. Le faible niveau de coupe et l'excellent taux de régénération des peuplements artificiels et mixtes communautaires seraient liés à l'efficacité de l'approche comité de gestion. Cette approche semble être plus intégrée et inclusive pour les communautés vivant autour des gomméraires. Toutefois, elle présente des limites car ne s'inscrivant pas dans la durabilité. En effet, après la clôture des projets ayant réalisé les plantations, les comités deviennent inactifs et toutes actions de sécurisation et d'entretien des sites sont abandonnées. Des comités de veille et d'entretien des plantations devraient être mis en place dans une perspective de continuité des actions après l'intervention des projets.

Du point de vue de son utilité, *Acacia senegal* est considéré par les communautés locales comme l'une espèce ayant la plus grande valeur. L'amélioration de la fertilité et de la stabilité des sols serait l'un des principaux intérêts de cette espèce. Cela confirme les résultats obtenus par Wickens (1996) selon lesquels *Acacia senegal* joue un rôle double en améliorant la fertilité des sols (fixation de l'azote et accumulation de la litière) tout en participant à leur stabilisation. Ce serait l'une des principales raisons pour lesquelles les agriculteurs n'abattent pas l'arbre dans leurs champs. Le peu d'entretien dont bénéficient les peuplements naturels est réalisé par les agriculteurs en période de préparation des champs pour la campagne pluviale.

Cela concerne principalement l'élagage des branches pouvant entraver la conduite des activités culturelles. L'utilisation de l'espèce comme haie vive procurerait un triple avantage : la protection des cultures et la fertilisation des sols grâce à ses capacités à fixer l'azote atmosphérique et à la dégradation de la matière organique issue de la chute de feuilles. Sa capacité à séquestrer le carbone serait l'une des raisons du choix de l'espèce dans les initiatives de plantations, dans le cadre du marché carbone. En 2017, le Niger totalisait environ 26 sites biocarbone pour une quantité de carbone séquestré d'environ 152.000 tonnes (Sériba, 2023).

Les domaines d'utilisation domestique sont multiples avec une prédominance de l'alimentaire dans les citations des acteurs consultés. En effet, la production locale de gomme arabique issue de l'*Acacia senegal* joue un rôle important dans l'alimentation des populations vivant autour des gomméraires. Au niveau local, la gomme est soit directement consommée après sa récolte, soit entre dans la fabrication de certaines friandises (biscuits/gâteaux à base de sésame, de l'arachide ou de souchet), ou est transformé en sirop mélangé avec du sucre. En Mauritanie, la gomme arabique est utilisée dans certaines recettes de plats depuis que sa population a été informée de sa valeur nutritionnelle (Giffard, 1975). En outre, la gomme arabique est un produit dont la commercialisation a pris de l'ampleur ces dernières années sur les artères des grandes villes du Niger. C'est ainsi qu'elle génère des revenus qui contribuerait à la lutte contre la pauvreté en milieu rural. C'est pourquoi la gomme arabique est citée comme étant le produit issu d'*Acacia senegal* le plus utilisé. L'utilisation de la plante dans l'alimentation animale est également largement répandue dans les différents bassins gommiers. En début de saison pluvieuse, son feuillage constitue un excellent aliment d'appoint pour les ruminants (caprins et camelins) dont les épines de l'arbre ne serait pas un obstacle. Ainsi, en attendant l'installation définitive de la saison pluvieuse et l'émergence des herbacées, le fourrage aérien serait considéré comme le premier rempart des animaux en élevage en élevage extensif à une longue période de soudure (disette). Ces résultats sont conformes à ceux de Baumer (1997) qui établissent que pendant les périodes critiques de l'année (fin de la saison sèche), les fourrages aériens des acacias fournissent l'essentiel de l'alimentation animale en élevage extensif. Toutefois, le broutage des jeunes plants par les animaux pourrait avoir un impact sur le taux de régénération, qui est très faible dans les peuplements naturels (zone d'élevage). Cette hypothèse est appuyée par Sharman (1987) et Miehle (1990) qui affirme que le broutage des jeunes plants exerce une influence sur leur taux de croissance. A cela s'ajoute l'usage des gousses d'*Acacia senegal* qui sont stockées en fin de saison pluvieuse, puis utilisées plus tard pour engraisser les animaux en embouche. Plusieurs études (Cissé, 1992 ; Audru et al., 1993 ; Dupommier et Guérin 1996 ; Wickens, 1996) s'accordent sur la valeur nutritive des feuilles

des acacias dont la teneur en nutriments serait constante toute l'année. Des analyses bromatologiques ont révélé une valeur fourragère relativement élevée. Cependant, une utilisation accrue des gousses pourrait entraîner une répercussion négative sur le taux de régénération. Ainsi, le faible taux de régénération observé dans les peuplements naturels pourrait en partie s'expliquer par le prélèvement excessif des gousses. Ces résultats sont identiques à ceux obtenus par Tybirk (1991) et Abdou (2015) pour qui la faible densité de jeunes plants serait liée à l'utilisation des graines et des fruits dans l'alimentation animale.

Les différents organes de l'espèce sont utilisés dans divers domaines avec toutefois des spécificités. Les feuilles d'*Acacia senegal* servent à nourrir le bétail aussi bien en pâturage qu'en embouche. Elles sont particulièrement appréciées car très appétentes pour les ruminants tels que les caprins et les dromadaires. Elles seraient riches en protéines et en éléments minéraux essentiels (Maydell, 1983). Ces résultats confirment ceux de Dia (1998) qui ont révélé que le broutage des acacias est reconnu par les éleveurs transhumants pour qui cet aliment améliore le poids, favorise la reproduction et booste la production du lait. C'est l'une des principales raisons qui poussent les éleveurs à faire des coupes abusives d'*Acacia senegal* dans les peuplements naturels. Les feuilles sont aussi utilisées en phytothérapie où elles servent au traitement de diverses maladies comme l'hémorroïde, l'hypertension, les vomissements etc. S'agissant de l'écorce, elle est aussi fortement utilisée sous forme de décoction pour traiter certaines pathologies. Elles seraient riches en polyphénols qui ont des priorités antibactériennes et antioxydants (Benbouguerra, 2020). Quant aux racines, elles servent à la fabrication de filet pour laver la vaisselle. Ce filet est obtenu après un battage qui réduit les racines en filaments fins formant une touffe. Au niveau local, ce filet serait utilisé pour nettoyer les Calebasses et les récipients en plastique car il ne cause pas de corrosion de ce matériel fragile. Le bois obtenu à partir des rameaux ou tronc est utilisé principalement comme bois de chauffe. Il est considéré par les communautés rurales comme un excellent combustible et permettrait d'obtenir du charbon de bonne qualité.

Les résultats de l'ACM ont montré des corrélations entre des variables profession des enquêtés et les usages domestiques de l'espèce *Acacia senegal*. La corrélation qui s'établit entre la profession « éleveur » et l'usage « fourrage » pourrait s'expliquer par le fait que les éleveurs soient plus intéressés que les autres acteurs par le fourrage pour faire paître leurs animaux. Les agriculteurs, agropasteurs et ménagères quant eux s'intéresseraient particulièrement aux services écosystémiques en lien avec l'alimentation, la phytothérapie et le bois de service. Les bûcherons, sont principalement intéressés par le bois de chauffe qui leur permet d'améliorer leurs revenus.

## Conclusion

L'un des résultats majeurs de cette étude est l'identification de modes de gestion et d'exploitation des gomméraires qui ne favorisent pas la pérennité des peuplements naturels et leur développement. L'approche Comité de gestion des sites aurait produit des bons résultats, mais ses actions ne s'inscrivent pas dans la durabilité. Ce travail a également permis de mettre en évidence les principaux usages et préférence d'utilisation de l'espèce *Acacia senegal* pour les différentes communautés vivant autour des gomméraires au Niger. Ainsi, concernant l'utilité de la présence de l'arbre dans un environnement, son rôle dans la gestion de la fertilité et la stabilité des sols a été évoqué avec insistance par les acteurs consultés. En matière d'usages domestiques, il est identifié comme étant un atout majeur dans l'alimentation humaine et animale, ainsi que sur le plan thérapeutique. C'est ainsi que la gomme arabique et les feuilles sont considérées comme les produits/organes les plus utiles. Les corrélations qui apparaissent entre la variable profession et l'usage préférentiel montrent également que les principaux produits sont les feuilles pour l'alimentation animale et la gomme arabique pour l'alimentation humaine, ainsi que l'amélioration des revenus des communautés riveraines des gomméraires. C'est pourquoi il serait plus judicieux de mettre en avant les intérêts liés à ces produits dans le cadre des initiatives de sensibilisation pour amener les communautés à, non seulement planter l'espèce dans leurs exploitations, mais aussi à mieux gérer et entretenir les peuplements existants.

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

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

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

## References:

1. ABDYOU, M. M. (2015). *Acacia senegal* (L.) Willd. : Potentialités symbiotiques, effet sur la fertilité des sols et productivité des cultures associées dans les différents bassins gommiers au Niger. Thèse de doctorat en Agropédologie et Microbiologie des sols. Université Abdou Moumouni de Niamey. 169 pages.
2. Abdou, M.M., Zoubeirou, A.M., Dan Lamso, N., Ambouta, & J.M.K. (2014). Productivité de la culture du sorgho (*Sorghum bicolor*) dans un système agroforestier à base d'*Acacia senegal* (L.) Willd. au Niger. *Journal of Applied Biosciences* 82:7339–7346.



3. Abdoukadi, A., Assoumane, A., Abdou, M.M., Bil-Assanou, I.H, El Hadji Seybou, D., & Zoubeirou, A.M. (2018). Improvement of the productivity of millet (*Pennisetum glaucum* (L.)R. Br.) Intercropped with the Arabic gum tree (*Acacia senegal* (L.) Willd.) in agroforestry parkland in Niger. *Advances in Agricultural Science*. Volume 7 (2019), Issue 01, 74-84.
4. Alland & Robert (2017). *Acacia gum : an important social, economic and environmental role for the Southern Sahel countries*. Media-kit. 8 pages.
5. Arbonnier, M. (2000). *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. CIRAD MNHN & UICN : Montpellier (France), 541 pages.
6. Audru, J., Labonne, M., & Guerin H., Bilha, A. (1993). *Acacia nilotica*. Son intérêt fourrager et son exploitation chez les éleveurs Afars de la vallée du Magdoul à Djibouti. In *Bois et Forêts des Tropiques*, 235 : 60-70.
7. Baumer, M. (1997). *L'agroforesterie pour les productions animales*. Wageningen, Pays-Bas, C. T. A. ICRAF, Nairobi, 340 pages.
8. Benbouguerra, N. (2020). *Évolutions structurales et propriétés biologiques des polyphénols au cours de la maturation des baies de Vitis vinifera*. Thèse de doctorat en médecine humaine et pathologie. Université Montpellier. Français. (NNT : 2020MONTG041).
9. Cissé, M.I. (1992). *Rôle fourrager d'Acacia albida* Del. Etat des connaissances et perspectives pour les recherches futures. Atelier régional sur *Faidherbia albida*, Niamey, Niger, 22-26 avril 1991, 11 pages.
10. Cornet, A., & Poupon, H. (1978). Description des facteurs du milieu et de la végétation dans cinq parcelles situées le long d'un gradient climatique en zone sahélienne du Sénégal. *Bull. IFAN*, 39, 2 : 241-302.
11. Depommier, D., & Guerin H. (1996). *Emondage traditionnel de Faidherbia albida : Production fourragère, valeur nutritive et récolte de bois à Dossi et Watinoma (Burkina Faso)*. In *Les Parcs à Faidherbia*, Coraf /Orstom / Cirad; Cahiers scientifiques 12: 56-84.
12. Dia, A.T. (1998). *Diversité des systèmes de production en zone de concentration lacustre sahélienne : enjeux fonciers et pastoraux des peuplements d'Acacia senegal du lac Fitri (Tchad)*. Mémoire de stage en vue de l'obtention du diplôme d'études supérieures spécialisées productions animales en régions chaudes. 122 pages.
13. Diallo, A., Faye, M.N., & Guissé, A. (2011). *Structure des peuplements ligneux dans les plantations d'Acacia senegal (L.) Willd*

- dans la zone de Dahra (Ferlo, Sénégal). *Rev. Écol. (Terre Vie)*, vol. 66. 415 – 427.
14. FAO (2019). Les utilisations des acacias dans l'économie rurale. url : <https://www.fao.org/4/v5360f/v5360f06.htm>
  15. FAO, (2025). Action contre la désertification : Remédier à la dégradation des terres dépend du développement économique.
  16. Projet Gestion forestière communale et communautaire (GESFORCOM), (2015). Vers une co-gestion décentralisée des ressources forestières. Rapport annuel du projet GESFORCOM.
  17. Giffard, P.L. (1975). Les gommiers, essences de reboisement pour les régions sahéliennes. In *Bois et Forêts des Tropiques*, 161 : 3-21.
  18. Goffner, D., & Peiry, J-L. (2019). La Grande Muraille Verte : un espoir pour reverdir le Sahel ? *Encyclopédie de l'Environnement*, [en ligne ISSN 2555-0950] url : <http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=6929>.
  19. Maydell, V. (1983). Arbres et arbustes du Sahel. Leurs caractéristiques et leurs utilisations. Eschborn, Allemagne, Gtz, 531 pages.
  20. Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable (MESUDR) du Niger, (2016). Rapport Final : Stratégie et Plan d'Actions de Promotion des Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL) au Niger. 108 pages.
  21. Miehé, S. (1990). Inventaire et suivi de la végétation dans les parcelles pastorales à Windou Thiengoly. GTZ, 108 pages.
  22. Müller, T. (2017). Développement économique. Fondation Cœur Vert. Url : <https://fondationcoeurvert.org/economicdevelopment>
  23. Nguyen, D.Q. (2014). Étude comparative expérimentale des opérations d'atomisation et d'autovaporisation : application à la gomme arabique et au soja. Thèse de doctorat en Génie des Procédés Industriels. Université de la Rochelle. 212 pages.
  24. Observatoire du Sahara et du Sahel, (2016). La Grande Muraille Verte Un programme de développement pour le Sahara et le Sahel : Une approche de suivi-évaluation des projets à partir des applications géospatiales. [https://www.oss-online.org/sites/default/files/2022-11/OSS-BRICKS-GMV\\_Fr.pdf](https://www.oss-online.org/sites/default/files/2022-11/OSS-BRICKS-GMV_Fr.pdf).
  25. R Core Team (2017). A Language and Environment for Statistical Computing. url: <https://www.R-project.org/>
  26. Sériba, Y. (2023). Niger : enquête sur les traces des marchés opaques de crédits carbone. <https://lesechosduniger.com/2023/09/05/niger-sur-les-traces-des-marches-opaques-de-credits-carbones/>
  27. Sharman, M.J. (1987). Végétation ligneuse sahélienne. The Global Environment Monitoring System, GEMS, série Sahel, n° 7, PNUE, FAO Ed., Nairobi, 85 pages.



28. Sina, A.K.S., Amani, A., Garba, A., Abdou, L., & Mahamane, A. (2019). Perceptions communautaires, usages socio-économiques et importance agroécologique des peuplements d'*Acacia senegal* (L.) Willd. dans le Sud- Ouest du Niger : Cas du site gommier de la grappe de Lido dans la commune de Guéchémé. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13(7): 3087-3102, December 2019. 16 pages.
29. Société Française de Réalisation d'Etudes et de Conseils (SOFRECO), (2022). Analyse prospective de la chaîne de valeur gomme arabique au Niger 2021-2030 : Une dimension environnementale à valoriser.
30. Sprent, J.L., Odee, D.W., & Dakora, F.D. (2010). African Legumes: A Vital but Underutilized Resource. *Journal of Experimental Botany*, 61, 1257-1256.
31. Tchigankong, D., Haiwe B., & Makuet J. (2018). Manuel sur les itinéraires de reboisement en zone de savanes sèches du Cameroun. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn et Eschborn, Allemagne. 132 pages.
32. Tybirk, K. (1991). Régénération des légumineuses du Sahel. Botanical Institute, Aarhus University.
33. Vassal, J. (1998). Les acacias au Sénégal : taxonomie, écologie, principaux intérêts. In : Campa Claudine (ed.), Grignon C. (ed.), Gueye M. (ed.), Hamon Serge (ed.). *L'acacia au Sénégal*. Paris : ORSTOM, p. 15-33. (Colloques et Séminaires). *L'Acacia au Sénégal : Réunion Thématique*, Dakar (SEN), 1996/12/03-05. ISBN 2-7099-1423-9. ISSN 0767-2896.
34. Wickens, G.E. (1996). Rôle des acacias dans l'économie rurale des régions sèches d'Afrique et du Proche-Orient. *Cahier FAO : Conservation*, 27 ; 153 pages.
35. Zougoulou, A.M. & Alrari, D. (2010). Mise en œuvre du Projet de la Grande Muraille Verte (GMV) : la Composante Tchadienne. Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte, édité par Abdoulaye Dia et Robin Duponnois, IRD Éditions. 400 : 331-343.

## Stratégies d'adaptations des producteurs rizicoles face aux changements climatiques dans la Région Menabe, Madagascar

**Tirihaja Aboudou Guillaume**

Domaine des Sciences et Technologie,  
Mention Sciences de la vie, Université de Toliara, Madagascar

**Dr. Andriaharimalala Tahiana**

Botaniste-Ecologiste-Maitre de Recherche,  
Centre National de Recherches sur l'Environnement (CNRE), Ministère de  
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESupReS)

**Prof. Rejo-Fienena Félicité**

Ecole Doctorale « Biodiversité et Environnements Tropicaux »  
Université de Toliara, Madagascar, UFR de Biodiversité et Environnement,  
Laboratoire de Biologie Végétale, Madagascar

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n18p71](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p71)

Submitted: 12 April 2025

Accepted: 23 June 2025

Published: 30 June 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Tirihaja, A.G., Andriaharimalala, T. & Rejo-Fienena, F. (2025). *Stratégies d'adaptations des producteurs rizicoles face aux changements climatiques dans la Région Menabe, Madagascar*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (18), 71.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p71>

### Résumé

La riziculture compte parmi les cultures les plus vulnérables aux effets du changement climatique. Malgré les incertitudes sur l'ampleur locale de ces changements, une évaluation des risques climatiques et des stratégies d'adaptation déjà mises en œuvre par les riziculteurs est essentielle pour renforcer les réponses appropriées. La présente étude vise à analyser les perceptions paysannes sur les manifestations du changement climatique, identifier ses impacts sur le système rizicole et les structures socio-économiques des producteurs, analyser les stratégies d'adaptation mises en œuvre, et établir une typologie ainsi que les déterminants de ces stratégies. L'enquête a été menée auprès de 280 riziculteurs répartis dans sept localités de la Région Menabe (Bemanonga, Beharona, Soaserana, Ankilivalo, Ankilizato, Ambatolahy et Tsimafana). Les données ont été traitées à l'aide de

statistiques descriptives, suivies d'une Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM), d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), et d'un modèle logit multinomial. Les résultats révèlent que les riziculteurs perçoivent de manière nette les effets de changements climatiques, notamment par l'augmentation des températures, la diminution des précipitations, les poches de sécheresse, ainsi que le dérèglement du calendrier pluviométrique. Les impacts observés incluent la baisse de la production rizicole, l'infertilité des sols, la prolifération des ravageurs, et la dégradation de la croissance des cultures. En réponse, trois classes de stratégies d'adaptation se distinguent. La première mobilise des semences améliorées, des engrais, des motoculteurs, et le repiquage des jeunes plants. La deuxième privilégie les variétés à cycle court, la diversification culturale et les cultures de contre-saison. La troisième adopte l'utilisation de produits phytosanitaires et de nouvelles spéculations. Les facteurs déterminants de l'adoption de ces stratégies sont la participation à des formations agricoles, l'éducation, l'accès au crédit, et le contact avec les agents de vulgarisation, avec des niveaux de significativité allant de 1 % à 10 %. Ces résultats suggèrent que les politiques publiques et privées devraient s'appuyer sur ces éléments pour orienter efficacement leurs interventions en soutien aux producteurs rizicoles, afin de renforcer leur résilience face au changement climatique.

---

**Mots-clés:** Stratégies d'adaptations, producteurs rizicoles, changement climatique, Région Menabe

---

## **Adaptation strategies of rice farmers facing climate change in the Menabe Region, Madagascar**

***Tirihaja Aboudou Guillaume***

Domaine des Sciences et Technologie,  
Mention Sciences de la vie, Université de Toliara, Madagascar

***Dr. Andriaharimalala Tahiana***

Botaniste-Ecologiste-Maitre de Recherche,  
Centre National de Recherches sur l'Environnement (CNRE), Ministère de  
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESupReS)

***Prof. Rejo-Fienena Félicitée***

Ecole Doctorale « Biodiversité et Environnements Tropicaux »  
Université de Toliara, Madagascar, UFR de Biodiversité et Environnement,  
Laboratoire de Biologie Végétale, Madagascar

---

### **Abstract**

Rice farming is among the most vulnerable agricultural activities to the effects of climate change. Despite uncertainties about the local scale of these changes, assessing climate risks and the adaptation strategies already implemented by rice farmers is essential to strengthen appropriate responses. This study aims to analyze farmers' perceptions of climate change manifestations, identify its impacts on the rice production system and farmers' socio-economic structures, examine the adaptation strategies adopted, and establish a typology and the determinants of these strategies. The survey was conducted with 280 rice farmers across seven localities in the Menabe region (Bemanonga, Beharona, Soaserana, Ankilivalo, Ankilizato, Ambatolahy, and Tsimañana). Data were processed using descriptive statistics, followed by Multiple Correspondence Analysis (MCA), Hierarchical Cluster Analysis (HCA), and a multinomial logit model. The results reveal that rice farmers clearly perceive the effects of climate change, particularly through rising temperatures, decreasing rainfall, drought pockets, and disrupted rainfall patterns. Observed impacts include reduced rice yields, soil infertility, increased pest outbreaks, and stunted crop growth. In response, three classes of adaptation strategies emerged. The first involves the use of improved seeds, fertilizers, power tillers, and transplanting young seedlings. The second emphasizes short-cycle varieties, crop diversification, and off-season farming. The third adopts the use of pesticides and the introduction of new crops. Determinants of the adoption of these strategies include participation in agricultural training, education level, access to credit, and contact with extension agents, with significance levels ranging from 1% to 10%. These findings suggest that public and private policies should build on these insights

to effectively guide interventions that support rice farmers and strengthen their resilience to climate change.

---

**Keywords:** Adaptation strategies, rice farmers, climate change, Menabe Region

## Introduction

Les catastrophes engendrées par le changement climatique ont des conséquences graves sur les activités agricoles dans les pays en développement, Sperling (2003). Madagascar, un pays en développement dont l'économie repose sur l'agriculture, est particulièrement touché par ce phénomène. La riziculture, qui constitue l'aliment de base des Malgaches, est pratiquée sur divers écosystèmes, couvrant une grande partie de l'île où environ 80 % de la population vit de l'agriculture, MAEP et JICA (2020). La consommation de riz est l'une des plus élevées au monde, avec environ 120 kg par personne, selon la Banque Africaine de Développement, BAD (2003). Cependant, la production rizicole malgache peine à satisfaire la demande nationale en raison de méthodes agricoles peu adaptées à la variabilité climatique. Cette situation est exacerbée par la pression démographique qui affecte les milieux naturels et les zones cultivées.

Les exploitations agricoles, déjà vulnérables à diverses conditions climatiques, subissent davantage les effets néfastes du changement climatique. Une meilleure compréhension de cette vulnérabilité est essentielle pour élaborer des stratégies d'adaptation. Ces stratégies doivent être mises en œuvre par les producteurs pour répondre aux impacts de changements climatiques. Toutefois, la capacité d'adaptation des agriculteurs dépend de leurs perceptions des changements climatiques et des opportunités qui leur sont offertes, Fadina et Barjolle (2018). De nombreuses stratégies d'adaptation ont été identifiées, telles que l'utilisation combinée d'engrais organiques et minéraux pour fertiliser les sols pauvres, Clot (2008), l'adoption de variétés améliorées et résistantes, la pratique de cultures de contre-saison, Tirihaia (2020), et l'irrigation complémentaire, ainsi que la migration vers des zones moins exposées aux risques climatiques et l'utilisation d'intrants adaptés, Nasreen et *al.* (2016).

Dans la Région Menabe, l'agriculture est le principal moteur économique, avec la riziculture comme activité dominante (Service de Statistique Agricole Menabe). Cette Région figure parmi les cinq premiers producteurs de riz à Madagascar. Toutefois, la production rizicole a diminué en raison des effets de changements climatiques, passant de 187 270 tonnes en 2012 à 175 000 tonnes en 2018 (Service de Statistique Agricole Menabe). Les manifestations de changements climatiques sont de plus en plus visibles dans la Région : baisse de la pluviométrie, hausse des températures, retard dans le

démarrage des pluies et intensification des événements climatiques extrêmes. Ces phénomènes affectent directement la riziculture, provoquant l'assèchement des champs, la destruction des cultures par les insectes ravageurs et le tarissement prématuré des canaux d'irrigation.

Face à ces défis, la Direction Régionale de l'Agriculture et de l'Élevage (DRAE) intervient en collaboration avec des instituts privés pour améliorer la productivité rizicole. Ils travaillent sur l'aménagement de nouveaux périmètres agricoles, la réhabilitation des périmètres existants, et l'apport de matériel, d'équipements et d'intrants aux producteurs. Malgré ces efforts, la production locale ne parvient toujours pas à satisfaire la demande en riz, contribuant ainsi à une grave insécurité alimentaire dans la Région.

La vulnérabilité face aux aléas climatiques varie selon les localités et la taille des exploitations dans la Région Menabe. Dans les zones éloignées, ce sont généralement les petits exploitants et éleveurs qui sont les plus vulnérables. De plus, les connaissances concernant la variation spatiale de la vulnérabilité climatique et la capacité d'adaptation des producteurs sont encore insuffisantes. Malgré tout, les paysans font face à ces défis en adoptant des pratiques de gestion des risques adaptées à leurs expériences, à leur perception des variations climatiques, à leur niveau de connaissance et à leurs conditions économiques et sociales. Cette recherche vise à évaluer les stratégies d'adaptation mises en œuvre par les riziculteurs dans la Région. Pour ce faire, il est nécessaire d'identifier les perceptions des paysans concernant les manifestations de changements climatiques, les impacts de changements climatiques sur la riziculture et les structures socio-économiques, les stratégies d'adaptation adoptées, la typologie et les facteurs déterminants des stratégies d'adaptation mises en œuvre par les riziculteurs dans la Région Menabe.

## **Méthodologie**

### **Localisation de la zone d'étude**

La Région Menabe se trouve dans la partie Sud-Ouest de Madagascar appartenant au versant occidental de la grande île. Elle s'étend sur 46 121 km<sup>2</sup>, CREAM (2014). Administrativement, elle se divise en 05 districts dont : Manja, Mahabo, Miandrivazo, Belo sur Tsiribihina et Morondava. Cette recherche a été effectuée dans Sept (07) localités représentantes des cinq districts dont Beharona, Soarena, Bemanonga, Ankilivalo, Ankilizato, Ambatolahy et de Tsimafana. Le choix de ces localités d'étude se base sur la disponibilité des informations concernant les principales spéculations de cultures dans la Région Menabe, la variation annuelle des surfaces cultivées de riz et les différentes structures agroécologique rizicole.

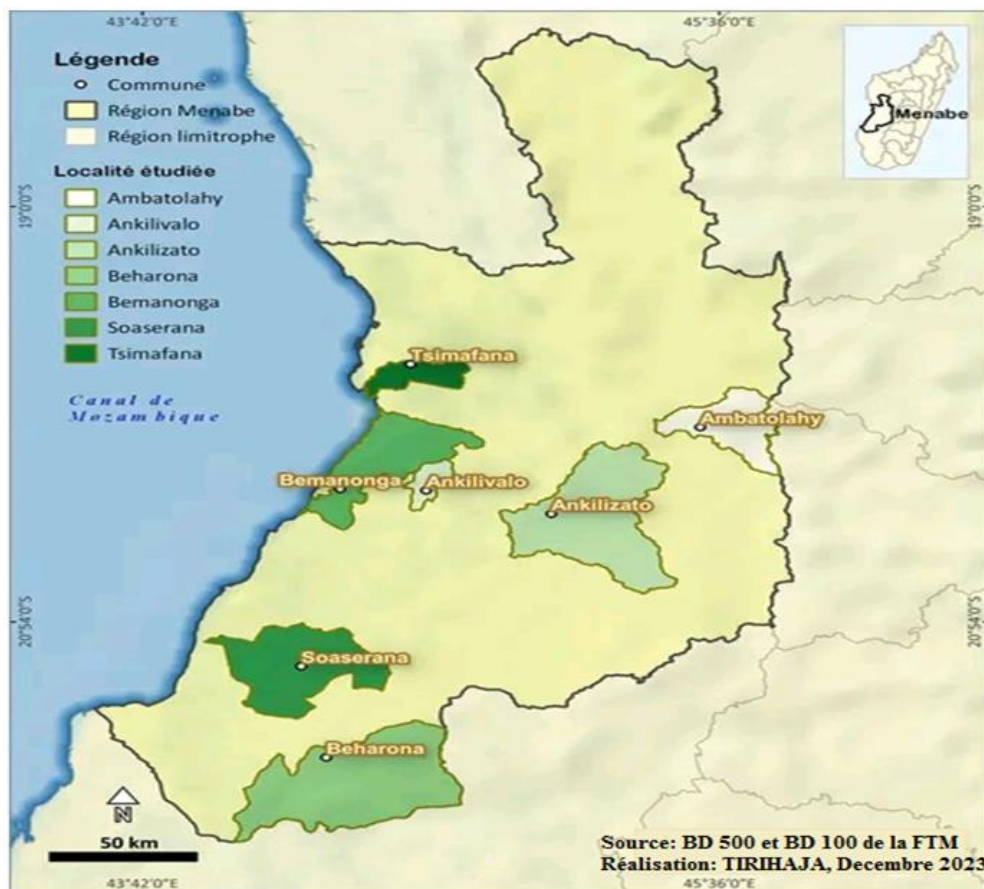


Figure 1: Localisation de la zone d'étude, Auteur (2024)

## Collecte de données

Pour la présente étude, des travaux préliminaires ont été menés afin de recueillir les informations relatives au thème d'étude. L'organisation de cette phase a permis d'identifier les localités d'échantillonnage. La rédaction des questionnaires d'enquête et un essai de collecte de données auprès de quelques producteurs agricoles ont également été réalisés. En outre, les agriculteurs sélectionnés devaient avoir au minimum 40 ans, afin d'assurer que les stratégies adoptées étaient basées sur une perception effective des changements climatiques.

Lors de la collecte sur le terrain, 280 producteurs agricoles, soit 40 par localité, ont été enquêtés à l'aide d'entretiens structurés et semi-structurés. Les données collectées concernent les caractéristiques socio-économiques des riziculteurs, leurs perceptions des manifestations et des impacts du changement climatique, ainsi que les stratégies d'adaptation qu'ils ont développées. Par ailleurs, des observations sur les terrains de cultures ont été effectuées pour valider les informations fournies par les agriculteurs.



## Analyse et traitement des données

Les données collectées, à la fois quantitatives et qualitatives, ont été analysées à l'aide des logiciels XLSTAT et STATA. L'analyse descriptive a permis de caractériser les perceptions paysannes, les impacts perçus du changement climatique et les réponses mises en œuvre par les riziculteurs. Le test du  $\chi^2$  a été utilisé pour évaluer les liens statistiques entre variables qualitatives, notamment entre les caractéristiques socio-économiques et les types de stratégies d'adaptation.

Pour construire une typologie des riziculteurs selon leurs stratégies d'adaptation, une Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM) suivie d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été réalisée dans XLSTAT. Les variables introduites dans l'analyse factorielle sont les principales stratégies d'adaptation agricoles déclarées par les producteurs, chacune codée en deux modalités ("oui" ou "non"), traduisant la présence ou l'absence d'une pratique donnée. Il s'agit de l'utilisation des variétés à cycle court, utilisation des engrais, utilisation de motoculteur, utilisation de produits phytosanitaires, introduction de nouvelles spéculations, utilisation de semences améliorées, repiquage de jeunes plants, culture contre saison et modification du calendrier cultural. L'interprétation des axes factoriels repose sur l'analyse de la contribution relative des modalités à l'inertie expliquée. Le seuil théorique moyen de contribution est de 5,55 % ( $100 \% \div 18$  modalités actives). Les modalités ayant une contribution supérieure à ce seuil ont été utilisées pour caractériser chaque axe. La CAH, basée sur les coordonnées factorielles issues de l'AFCM, a permis de regrouper les riziculteurs en classes homogènes représentées sous forme de dendrogramme, selon leurs combinaisons stratégiques.

Enfin, pour identifier les déterminants des classes de stratégies ainsi obtenues, une régression logistique multinomiale a été réalisée dans STATA. Ce modèle est adapté pour modéliser les décisions impliquant plusieurs choix, Tse (1987). L'équation de régression utilisée est la suivante :

$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_u$  où  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ , et  $x_6$  sont les variables qui sont introduites dans le modèle. Avec :

$b_0$  : constante

$x_1$  : Instruit : 0= non, 1= oui

$x_2$  : Accès au crédit : 0= non, 1= oui

$x_3$  : Membre d'une organisation paysanne : 0= non, 1= oui

$x_4$  : Participation à la formation agricole : 0= non, 1= oui

$x_5$  : Accès à l'information sur la prévision climatique : 0= non, 1= oui

$x_6$  : Contact avec les agents de vulgarisateurs : 0= non, 1= oui

$b_u$  : erreur



Les seuils de significativité statistique retenus dans le cadre de cette analyse sont de 1 %, 5 % et 10 %. Ces niveaux correspondent à des niveaux de confiance classiquement utilisés en sciences sociales et économiques, comme le souligne Greene (2012). Ils permettent de distinguer les effets très significatifs ( $p < 0,01$ ), significatifs ( $p < 0,05$ ) et faiblement significatifs ( $p < 0,10$ ), ce qui permet d'apprécier la robustesse des facteurs influençant les choix des producteurs. Les coefficients estimés sont considérés comme statistiquement significatifs lorsque la p-valeur associée est inférieure à l'un de ces seuils. Ces significations sont indiquées dans les résultats à l'aide d'astérisques.

## Résultats et Interprétations

### Caractéristiques socio-économiques des riziculteurs

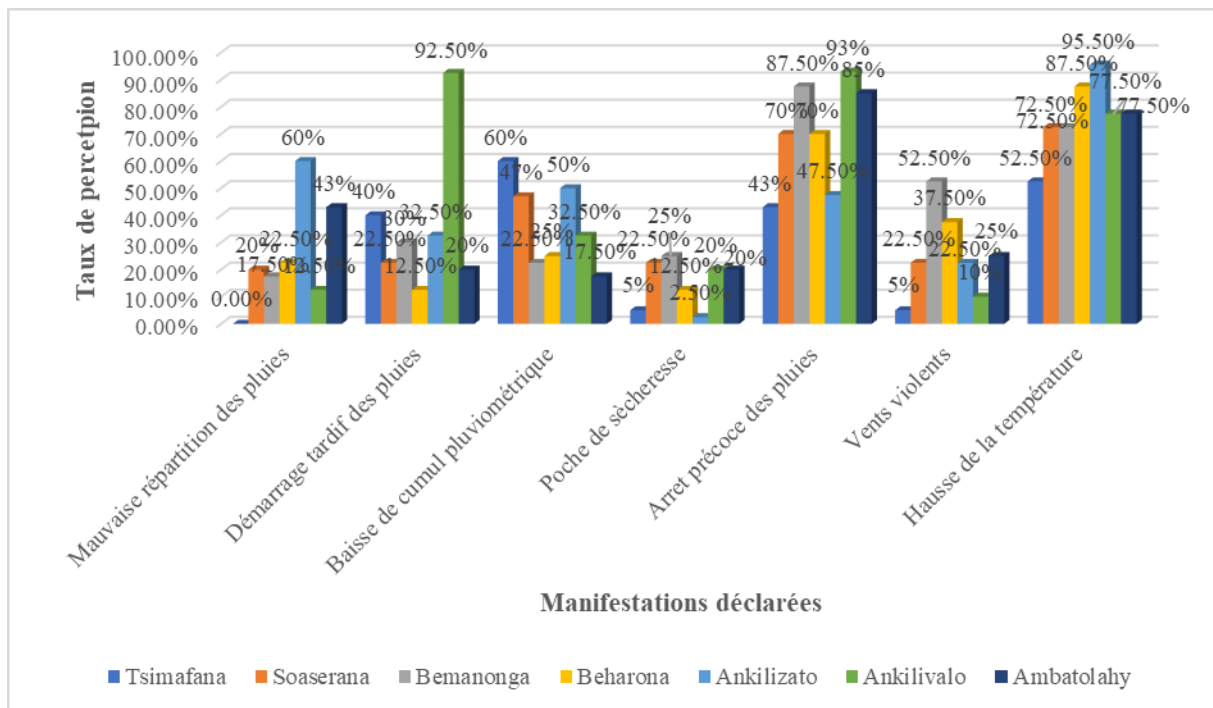
Les caractéristiques socio-économiques des riziculteurs sont présentées dans le **tableau 1**. Il ressort que la majorité des enquêtés (76%) sont instruits, ce qui témoigne d'un certain niveau d'éducation parmi les producteurs. En ce qui concerne l'accès au crédit, des disparités notables apparaissent entre les localités. À Ankilizato, la proportion de producteurs ayant accès au crédit est particulièrement élevée (75%), suivie d'Ambatolahy et Ankilivalo (37,7%), Bemanonga (35%) et Tsimafana (30%). Cependant, l'accès au crédit reste limité à Soaserana (15%) et Beharona (12,5%). L'esprit associatif des producteurs varie également selon les localités. À Ankilizato, 60% des riziculteurs font preuve d'un esprit associatif très développé, ce qui leur permet de bénéficier de formations agricoles régulières. Ce taux est relativement plus bas dans les autres localités. En termes de participation aux formations agricoles, 42,5% des producteurs d'Ankilizato ont suivi une formation, un pourcentage similaire à Ankilivalo (42,5%), tandis que Ambatolahy affiche un taux de 37,5%. À Beharona et Bemanonga, 27,5% des producteurs ont participé à de telles formations, et ce taux est de 22,5% à Soaserana et Tsimafana. En ce qui concerne l'accès à l'information sur les prévisions climatiques, 50,3% des producteurs de riz bénéficient de ce type d'information. Cependant, ce taux est beaucoup plus élevé à Ankilizato, où 67,5% des enquêtés ont accès à des informations climatiques. Les producteurs d'Ankilizato ont également le taux le plus élevé de contact avec les agents de vulgarisation, atteignant 52,5%, suivis par ceux d'Ankilivalo et Bemanonga, également à 52,5%. Dans les autres localités, ce taux diminue, avec 48,9% à Tsimafana, 45% à Soaserana, 42,5% à Ambatolahy et 40% à Beharona. En termes de production, les riziculteurs enquêtés produisent en moyenne 5,56 tonnes de paddy de riz sur une superficie moyenne de 2,48 hectares. Le nombre moyen d'actifs agricoles par exploitation est de 8 personnes.

**Tableau 1: Caractéristiques socio-économiques des riziculteurs enquêtés, Auteur (2024)**

Variables qualitatives	Localités d'études (%)							
Instruit	Ambatolahy	Ankilivalo	Ankilizato	Beharona	Bemanonga	Soaserana	Tsimafana	Total
	85	62.5	87.5	70	87.5	62.5	77.5	76.0
Accès au crédit agricole	37.5	37.5	75	12.5	35	15	30	34.6
Membre d'une organisation paysanne	22.5	27.5	60	10	17.5	5	12.5	22.1
Participation à la formation agricole	37.5	42.5	55	27.5	27.5	22.5	22.5	22.5
Accès à l'information sur la prévision climatique	45.9	55	67.5	42.5	55	45	42.5	50.3
Contact avec Agents de vulgarisation	42.5	52.5	67.5	40	52.5	45	48.9	49
Variables quantitatives	Localités d'études (moyenne)							
Superficie totale exploitée (ha)	3.01	3.48	4.08	2.35	2.62	1.83	2.05	2.48
Production à chaque exploitation(t)	6.21	7.36	9.00	4.26	4.88	3.44	3.74	5.56
Nombre d'actif agricole	7.82	9.1	12.92	6.45	6.72	5.65	6.87	7.93

### Perceptions paysannes sur les manifestations de changements climatiques

Le changement climatique est unanimement reconnu par les producteurs rizicoles dans les sept localités étudiées. Les manifestations de changements climatiques observées par les riziculteurs incluent principalement la mauvaise répartition des pluies, le démarrage tardif des pluies, la baisse des cumuls pluviométriques, les poches de sécheresse, l'arrêt précoce des pluies, les vents violents et la hausse de la température. Ces phénomènes sont perçus comme des signes tangibles de l'évolution climatique dans leurs localités. Cependant, il est intéressant de noter que la proportion de producteurs observant chacune de ces manifestations varie d'une localité à l'autre. La figure ci-dessous illustre cette variation, mettant en évidence les différences dans la perception des producteurs rizicoles selon les caractéristiques climatiques spécifiques à chaque localité.



**Figure 2:** Perceptions paysannes sur les manifestations de changements climatiques, Auteur (2024)

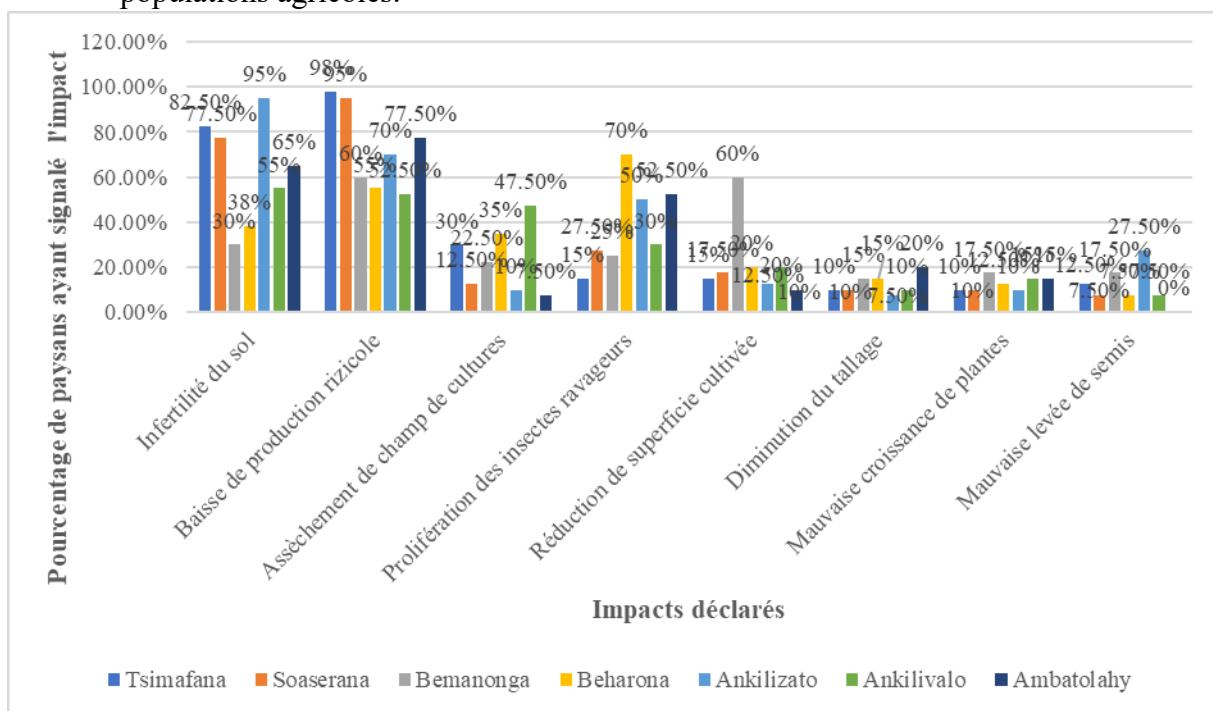
D'après cette figure, la hausse de la température est la manifestation la plus fréquemment observée, avec des taux de perception particulièrement élevés dans toutes les localités, atteignant 95,50 % à Ankilizato, 87,50 % à Beharona, et 77,50 % à Ankilivalo et Ambatolahy. En revanche, cette perception diminue progressivement dans les autres localités, atteignant seulement 52,50 % à Tsimafana. L'arrêt précoce des pluies est également perçu comme une manifestation importante du changement climatique, notamment dans les localités d'Ankilivalo (93 %), Bemanonga (87,50 %), et Ambatolahy (85 %), où la proportion de producteurs l'ayant remarqué est significativement plus élevée que dans les autres zones. À Ankilizato et Tsimafana, les perceptions sont moins fréquentes, atteignant respectivement 47,5 % et 43 %. Quant au démarrage tardif des pluies, cette manifestation est majoritairement perçue à Ankilivalo, où 92,50 % des producteurs l'ont signalée. Dans les autres localités, cette perception reste plus faible, avec des taux variant de 12 % à Beharona à 40 % à Tsimafana. Concernant la baisse du cumul pluviométrique, les producteurs ont noté une diminution progressive des précipitations au fil des ans, en particulier à Tsimafana (60 %) et Ankilizato (50 %). Cette tendance est moins marquée dans les autres localités, comme Soaserana (47 %), Ankilivalo (32 %) et Bemanonga (22,5 %). La perception des vents violents est relativement élevée à Bemanonga (52 %),

tandis que les autres localités montrent une perception beaucoup plus faible, notamment à Tsimafana (5 %) et Ankilivalo (10 %). La mauvaise répartition des pluies est une autre manifestation fréquemment perçue par les producteurs, en particulier à Ankilizato, où 60 % des enquêtés l'ont mentionnée. Cette perception tend à diminuer dans les autres localités. Enfin, la présence de poches de sécheresse a été remarquée par un nombre plus restreint de producteurs, avec des taux de perception allant de 25 % à Bemanonga à seulement 2,5 % à Ankilizato. Les localités de Soaserana, Ankilivalo et Ambatolahy rapportent des perceptions variantes entre 20 % et 22,5 %.

### Perception sur les impacts de changements climatiques

#### Impacts sur le système rizicole

Dans la Région Menabe, les changements climatiques ont eu des effets néfastes sur le système de riziculture. La figure suivante illustre ces différents impacts, dont le taux de perception varie d'une localité à l'autre parmi les populations agricoles.



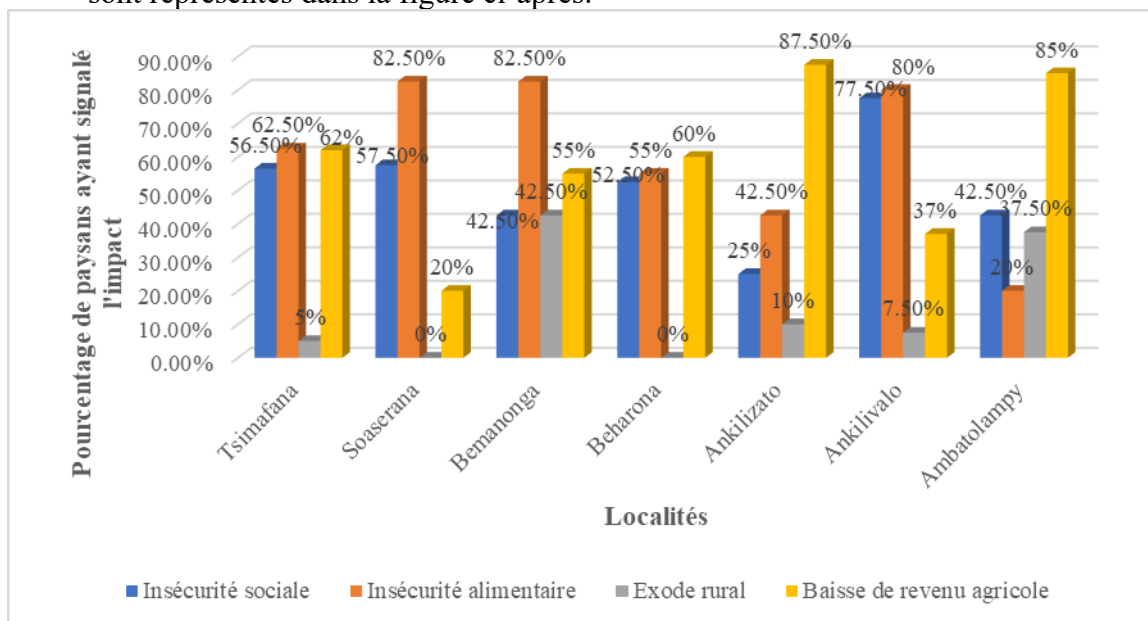
**Figure 3:** Impacts de changements climatiques déclarés par les paysans sur le système rizicole, Auteur (2024)

D'après ce diagramme, les impacts de changements climatiques perçus par les enquêtés incluent l'infertilité du sol, la baisse de la production rizicole, l'assèchement des champs de cultures, la prolifération des insectes ravageurs, la réduction de la superficie cultivée, la diminution du tallage, la mauvaise

croissance des plantes et la mauvaise levée des semis. Parmi ces impacts, la baisse de la production rizicole est l'effet le plus fréquemment mentionné, avec des taux de perception élevés : 98% des producteurs à Tsimafana, 95% à Soaserana, 77,5% à Ambatolahy, 70% à Ankilizato, 60% à Bemanonga, et 55,5% à Ankilivalo. Presque tous les riziculteurs ont constaté que les changements climatiques affectent négativement la qualité du sol. L'infertilité du sol est perçue par 95% des producteurs à Ankilizato, 82,5% à Tsimafana, 77,5% à Soaserana, 65% à Ambatolahy, 55% à Ankilizato, 38% à Beharona, et 30% à Bemanonga. La prolifération des insectes ravageurs est signalée par 70% des enquêtés à Beharona, 52,5% à Ambatolahy, 50% à Ankilizato, 30% à Ankilivalo, 27,5% à Soaserana, 25% à Bemanonga, et 15% à Tsimafana. Cependant, les autres impacts ont des taux de perception plus faibles dans les différentes localités, sauf à Ankilivalo, où 47,5% des producteurs signalent l'assèchement des cultures et 27,5% la mauvaise levée des semis. À Bemanonga, 60% des producteurs mentionnent la réduction de la superficie cultivée. À Ambatolahy, 20% rapportent une diminution du tallage, et à Bemanonga, 27,5% évoquent la mauvaise croissance des plantes

### Impacts socio-économiques

Les changements climatiques ont également eu des effets graves au niveau des structures socio-économiques des producteurs rizicoles. Ces effets sont représentés dans la figure ci-après.



**Figure 4:** Impacts socio-économiques de changements climatiques déclarés par les producteurs agricoles, Auteur (2024)

La figure met en évidence les proportions variables des enquêtés déclarant des effets socio-économiques liés aux changements climatiques dans les différentes localités étudiées. Ces variations sont statistiquement significatives, comme le confirme le test du khi-deux réalisé au seuil de 5 % ( $p < 0,001$ ). Ainsi, la baisse de revenu agricole est perçue comme un effet majeur par une forte proportion d'agriculteurs, notamment à Ambatolahy (85 %), Tsimafana (62 %), Beharona (60 %), Bemanonga (55 %), Ankilizato (37 %) et Ankilivalo (20 %). À Soaserana, cette proportion est également de 20 %. L'insécurité alimentaire est un autre impact fortement ressenti. Elle est mentionnée par 82,5 % des enquêtés à Soaserana et à Bemanonga, 80 % à Ankilivalo, 62,5 % à Tsimafana et 55 % à Beharona. En revanche, cette perception est moins marquée à Ankilizato (42,5 %) et à Ambatolahy (20 %). L'insécurité sociale est également largement évoquée, notamment à Ankilivalo (77,5 %), Soaserana (57,5 %), Tsimafana (56,5 %), Beharona (52,5 %), Bemanonga (42,5 %), Ambatolahy (25 %) et Ankilizato (20 %). Enfin, l'exode rural est cité comme une conséquence socio-économique du changement climatique par une proportion non négligeable d'enquêtés à Bemanonga (42,5 %), Ambatolahy (37,5 %), Ankilizato (10 %), Ankilivalo (7,5 %) et Tsimafana (5 %). Aucun répondant des localités de Beharona et Soaserana n'a, en revanche, mentionné ce phénomène.

### Stratégies d'adaptations mises en œuvre par les riziculteurs pour faire face aux changements climatiques

Face aux impacts croissants de changements climatiques, les riziculteurs ont adopté diverses stratégies d'adaptation pour minimiser les effets négatifs sur leurs activités agricoles. Ces stratégies varient selon les capacités économiques des producteurs et les spécificités agroécologiques des zones dans lesquelles ils évoluent. Le tableau ci-dessous présente un aperçu des principales stratégies mises en œuvre par les riziculteurs afin de s'adapter aux changements climatiques.

**Tableau 2:** Stratégies d'adaptations adoptées par les producteurs rizicoles, Auteur (2024)

Stratégies d'adaptations	Localités d'études (%)								Test de Khi-deux
	Ambatolahy	Ankilivalo	Ankilizato	Beharona	Bemanonga	Soaserana	Tsimafana	Total	
Utilisation des variétés à cycle court	7.5	87.5	15	17.5	85	15	12	34.2	$\text{Khi}^2=135.3$ , ddl=6, Pvalue<0.0001
Utilisation des engrais	55	75	95	92.5	90	95	92.5	85	$\text{Khi}^2=41.9$ , ddl=6, Pvalue<0.0001
Utilisation de motoculteur	15	22.5	45	0	40	0	2.5	17.8	$\text{Khi}^2=38$ , ddl=6, Pvalue<0.0001
Utilisation des produits phytosanitaires	75	12	35	95	40	92	10	51.4	$\text{Khi}^2=124.4$ , ddl=6, Pvalue<0.0001

Introduction des nouvelles spéculations	12.5	80	7.5	92.5	60	95	85	61.8	$Khi^2=140.5$ , ddl=6, Pvalue<0.0001
Utilisation de semences améliorées	92.5	12.5	87.5	75	12.5	10	90	54.2	$Khi^2=156.7$ , ddl=6, Pvalue<0.0001
Repiquage des jeunes plants	10	10	60	5	10	22.5	17.5	19.2	$Khi^2=54.8$ , ddl=6, Pvalue<0.0001
Culture contre saison	15	20	12.5	7.5	95	1	5	24.2	$Khi^2=130.2$ , ddl=6, Pvalue<0.0001
Modification de calendrier cultural	17.5	95	7.5	7.5	92.5	12.5	15	35.3	$Khi^2=168.4$ , ddl=6, Pvalue<0.0001

D'après les résultats présentés dans le tableau, la majorité des riziculteurs enquêtés, soit 85 %, considèrent l'utilisation des engrais comme une stratégie d'adaptation essentielle pour faire face aux effets des changements climatiques, et ce, dans l'ensemble des localités étudiées. En parallèle, l'introduction de nouvelles spéculations agricoles est également perçue comme une solution pertinente par 61,8 % des producteurs. Cette stratégie est particulièrement répandue à Soaserana, Beharona, Tsimañana, Ankilivalo et Bemanonga, où les taux d'adoption atteignent respectivement 95 %, 92,5 %, 85 %, 80 % et 80 %. De leur côté, 51,42 % des exploitants déclarent recourir à l'utilisation de produits phytosanitaires pour lutter contre les effets des variabilités climatiques, une pratique fortement observée à Beharona (95 %), Soaserana (92 %) et Ambatolahy (75 %). Enfin, l'adoption de semences améliorées constitue également une réponse d'adaptation importante, choisie par 54,2 % des riziculteurs. Cette option est privilégiée notamment à Ambatolahy (92,5 %), Tsimañana (90 %), Ankilizato (87,5 %) et Beharona (75 %), traduisant ainsi une volonté marquée de renforcer la résilience des cultures face aux perturbations climatiques croissantes.

## **Typologies des stratégies d'adaptations des riziculteurs face aux changements climatiques**

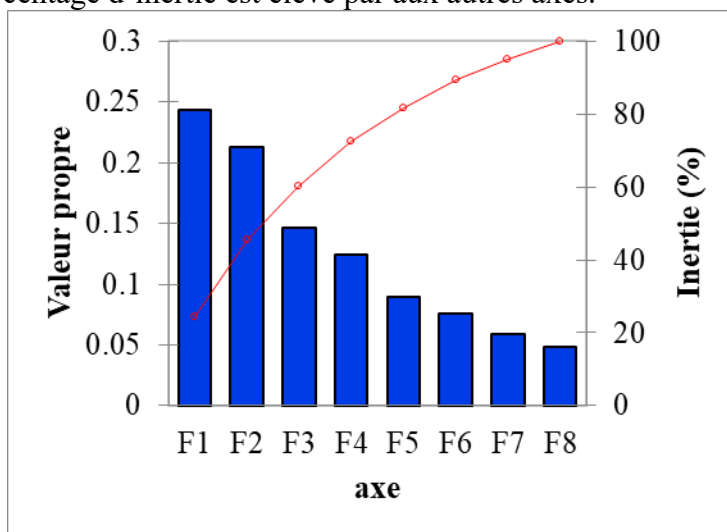
### **Caractérisation des stratégies d'adaptations**

La réalisation de l'AFCM permet d'examiner la relation entre les variables, la proximité des observations entre elles et la caractérisation des observations avec les variables. Le traitement des variables utilisées dans la classification a été choisi du fait de leur nature et de leur taille. La nature de ces variables a été déterminée à partir des variables qui apportent les informations similaires. Le tableau suivant représente ainsi les deux (02) axes utilisés dans l'explication des informations obtenues pour la présente étude.

**Tableau 3:** Deux axes utilisés pour l'explication des informations obtenues, Auteur (2024)

Axes	Valeur propre	Variabilité	% cumule
F1	0.243	24.291	24.291
F2	0.213	21.305	45.596

D'après ce tableau, ces deux axes choisis permettent d'expliquer les informations obtenues à un taux de 45,59 % pour l'analyse effectuée sur les 280 individus. La figure suivante confirme le choix de ces deux axes du fait que le pourcentage d'inertie est élevé par aux autres axes.



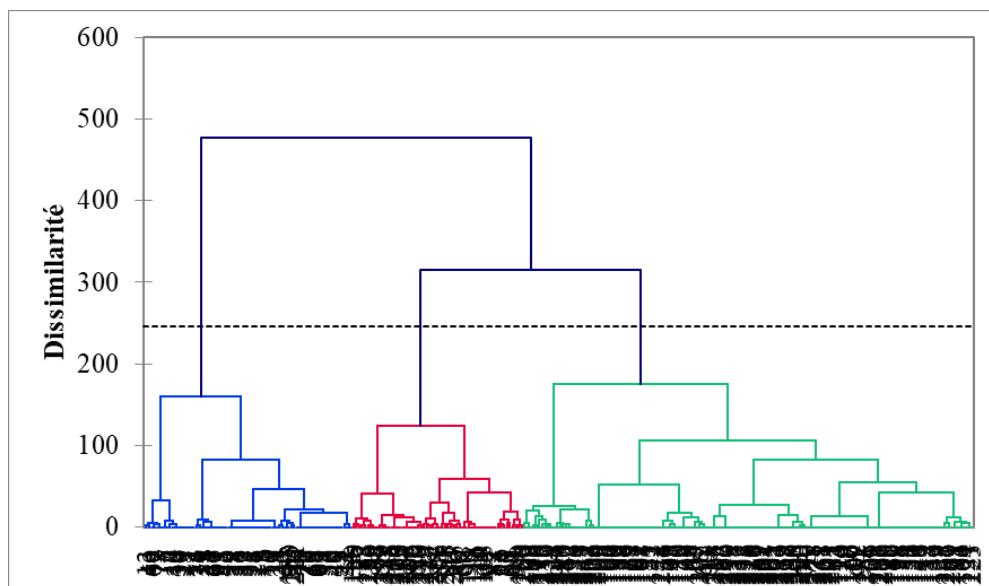
**Figure 6:** Scree plot, Auteur (2024)

D'après cette figure, Les F3, F4, F5, F6, F7, et F8 représentent respectivement 14,64%, 12,44%, 8,92%, 7,58%, 5,93% et 4,85% d'inerties obtenues. Ces axes apportent ainsi des informations moins élevées que les deux premiers axes. D'où l'importance du choix de ces deux premiers axes F1 et F2. Pour ces deux axes, chaque axe factoriel a été défini sur la base de l'étude de la contribution relative des modalités des variables à l'inertie expliquée par les axes.

### Identification des classes de riziculteurs suivant les stratégies d'adaptations

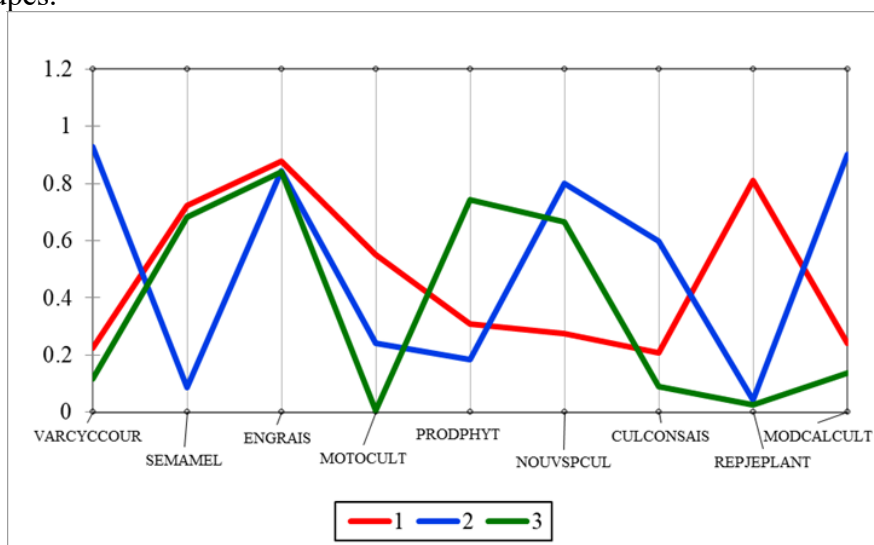
A l'issu de la réalisation de L'AFCM, puis l'élaboration de CAH, des groupements obtenus permettent de classer les stratégies d'adaptations des producteurs rizicoles. Ainsi trois classes des riziculteurs ont été établies et qui sont représentés dans la figure suivante.





**Figure 7:** Dendrogramme obtenu après l'élaboration de CAH, Auteur (2024)

Ce dendrogramme met en évidence une distinction claire entre les groupes de riziculteurs en fonction des stratégies d'adaptation qu'ils mobilisent face aux effets de changements climatiques. Chaque classe regroupe des producteurs partageant des choix stratégiques similaires, témoignant d'une diversité de réponses adaptatives selon les contextes socio-économiques et agroécologiques propres à chaque localité. La figure suivante illustre ainsi l'identification de ces classes de producteurs agricoles, en soulignant les spécificités des stratégies adoptées au sein de chacun des groupes.



**Figure 8:** Profil des classes, Auteur (2024)

D'après cette figure, la classe 1 regroupe des riziculteurs qui adoptent en majorité les stratégies d'adaptations comme l'utilisation des semences améliorées (SEMAMEL), utilisation des engrais (ENGRAIS), utilisation des motoculteurs (MOTOCULT), et la pratique du repiquage de jeunes plants (REPJEPLANT). L'utilisation de variétés à cycle court (VARCYCCOUR), utilisation des engrais (ENGRAIS), introduction des nouvelles spéculations (NOUVSPCUL), la pratique des cultures contre saisons (CULCONSAIS), et la modification du calendrier cultural (MODCALCULT) sont des stratégies d'adaptations appliquées par la plupart des riziculteurs de classe 2. Pour le cas des producteurs rizicoles de classe 3, ils préfèrent en majorité d'adopter les stratégies d'adaptations comme, l'utilisation des produits phytosanitaires (PRODPHYT), utilisation des semences améliorées (SEMAMEL), utilisation des engrais (ENGRAIS), et l'introduction des nouvelles spéculations (NOUVSPCUL).

### Description des classes de stratégies d'adaptations

La description de chaque classe s'effectue surtout à partir de la superficie totale (ha), production à chaque exploitation et le nombre moyen d'actif agricole des producteurs du riz.

**Tableau 4:** Caractéristique des classes, Auteur (2024)

Variables	Typologies des riziculteurs			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Total
Fréquence des individus par classes	58(20.71%)	70(25%)	152(53.57%)	280(100%)
Utilisation des variétés à cycle court	22.41	92.85%	11.84%	34.28%
Utilisation des engrais	87.93%	84.28%	84.21%	85%
Utilisation de motoculteur	55.17%	24.28%	0.65%	17.85%
Utilisation des produits phytosanitaires	31.08%	18.57%	74.34%	51.42%
Introduction des nouvelles spéculations	27.58%	80%	66.44%	61.78%
Utilisation de semences améliorées	72.41%	8.57%	68.42%	54.28%
Repiquage des jeunes plants	81.08%	4.28%	2.63%	19.00%
Culture contre saison	20.69%	60%	9.21%	24.28%
Modification de calendrier cultural	24.13%	90%	13.81%	35%
Superficie totale exploitée (ha)	3.63	2.44	2.50	2.86
Production à chaque exploitation(t)	7.85	4.57	4.32	8.33
Nombre moyen d'actif agricole	11.13	7	6.84	5.59

D'après ce tableau, les exploitants rizicoles de classe 1 produisent en moyenne 7,85 tonnes sur une superficie moyenne totale exploitée de 3,63

hectares avec l'actif agricole au nombre moyen de 11 personnes. Avec le nombre moyen d'actif agricole qui est égal à 7 personnes, les producteurs rizicoles de classe 2 produisent en moyenne de 4,57 tonnes de paddy de riz sur une superficie moyenne totale exploitée de 2,44 hectares. Pour le cas des exploitants agricoles de classe 3, ils produisent en moyenne 4.32 tonnes de paddy de riz sur une superficie moyenne totale exploitée de 2.50 hectares avec l'actif agricole au nombre moyen de 7 personnes.

### Déterminants des stratégies d'adaptations adoptées par les producteurs rizicoles face aux changements climatiques

Nombreux facteurs influent sur le choix des producteurs agricoles dans l'adoption de leurs stratégies d'adaptations pour faire face aux changements climatiques. Pour la présente étude, le tableau donne les résultats de la régression multinomiale du model logit montrant ces facteurs qui impactent les stratégies d'adaptations adoptées par les riziculteurs dans les différentes localités choisies de la Région Menabe. Les variables à expliquer sont représentées par les classes de stratégies d'adaptations mises en œuvre par les producteurs rizicoles.

**Tableau 5:** Résultat de la régression multinomiale, Auteur (2024)

Variables	Classe 1		Classe 2	
	$\beta$	Significatio n	$\beta$	Significatio n
SUPTOTALEXPLO I	-0.056227	0.824	-0.0014305	0.994
NBRANEXPLOI	-0.1433944	0.051	-0.1134196	0.029
NBRAAGR	0.1937003	0.082	0.0660427	0.507
MEMBORGPSN	-4.230896	0.001	-1.921631	0.028
PARTFORAGR	5.675204** *	0.000	0.88037	0.226
ACINFORPRCLTG	-1.583082	0.062	-1.965495	0.002
CONTAGVUL	3.313484**	0.015	5.315402** *	0.000
INSTR	0.4992707	0.684	1.083091*	0.071
ACCRED	2.24046*	0.019	0.0563884	0.922
Constante	-4.172144	0.038	-2.294433	0.059
Nombre d'observation = 280				
Prob>Chi <sup>2</sup> = 0.000				
Pseudo R <sup>2</sup> = 0.4893				
Log Likelihood = -143.60889				

\*\*\* : Significatif à 1% ; \*\* : Significatif à 5% ; \* : Significatif à 10%

D'après ce tableau, le présent model estimé est statistiquement significatif. Ainsi, parmi les variables explicatives choisies, cinq (05) variables ont une influence significative sur la probabilité des choix des exploitants rizicoles dans la mise en œuvre des stratégies d'adaptations pour atténuer les

effets des changements climatiques sur le système rizicole. La participation à la formation agricole, le contact avec les agents vulgarisateurs et l'accès au crédit impactent positivement et significativement au seuil respectif de 1%, 5% et 10% la probabilité des producteurs rizicoles de classe 1 d'adopter leurs stratégies d'adaptations. Pour la classe 2, Les facteurs qui influencent les décisions des producteurs rizicoles d'adopter les stratégies d'adaptations sont le contact avec les agents vulgarisateurs et le niveau d'instruction. L'influence de ces facteurs est positive et significative au seuil respectif de 1% et de 10%.

## Discussions

Cette étude menée dans sept localités de la Région Menabe a pour objectif de proposer des voies et des moyens facilitant l'adaptation des populations locales face aux changements climatiques. Elle a permis d'identifier les perceptions des producteurs rizicoles concernant les manifestations de changements climatiques, d'analyser les impacts et les stratégies d'adaptation mises en œuvre. Par ailleurs, la typologie des stratégies et les déterminants des choix d'adaptation ont également été étudiés.

Les résultats montrent que les producteurs rizicoles enquêtés sont largement éduqués, avec un taux d'instruction atteignant 75 %. Cela suggère que la majorité des producteurs sont capables de lire et d'écrire, ce qui leur permet d'assister à des formations agricoles. Cependant, la proportion de producteurs activement impliqués dans des formations agricoles reste faible, se limitant à 22,5 %. Cette faible participation s'explique par l'éloignement géographique des producteurs, beaucoup étant installés dans des zones enclavées. Cela conduit également à un faible taux de membres dans des organisations paysannes. Néanmoins, ceux qui y adhèrent ont un meilleur accès à l'information sur les évolutions climatiques et les stratégies d'adaptation. La formation agricole dispensée par les agents de vulgarisation permet également aux producteurs d'acquérir des techniques de riziculture adaptées aux variations climatiques. La production moyenne des exploitations rizicoles enquêtées est de 5,5 tonnes sur une superficie de 2,4 hectares, ce qui fait de ces producteurs des exploitants à petite échelle, un constat confirmé par l'étude de Vincent et *al.* (2023), qui indique que la majorité des agriculteurs à Madagascar sont de petits exploitants.

Concernant les perceptions de changements climatiques, les producteurs rizicoles des localités étudiées perçoivent clairement les effets de ce phénomène, notamment à travers la hausse des températures, l'arrêt précoce des pluies, le démarrage tardif des pluies, la répartition irrégulière des précipitations, les vents violents, les sécheresses et l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes. Ces résultats sont similaires à ceux observés par Ouédraogo et *al.* (2010), Melleville (2004), Fleut (2006), Yegbmey et *al.* (2014), Mehdhi et *al.* (2019), Yai et *al.* (2014), Kate et *al.*

(2014) et Gnangle et *al.* (2012), qui rapportent des perceptions semblables sur les manifestations de changements climatiques à travers diverses régions.

Les impacts de changements climatiques sur la riziculture, tels que la baisse de la production, l'infertilité des sols, la prolifération d'insectes ravageurs, la réduction des superficies cultivées, et la mauvaise croissance des plantes, ont été largement évoqués par les producteurs. Ces effets négatifs sont corroborés par les recherches de Rabezandrina (2003), Cloppet (2004), Fleut (2006), Rakotomalala (2008) et Ralaisabotsy (2016), qui soulignent l'érosion des sols et la vulnérabilité accrue des cultures aux ravageurs en raison du stress hydrique. L'insécurité alimentaire, sociale et la baisse des revenus agricoles, exacerbées par les impacts climatiques, sont également des réalités observées dans l'ensemble des localités étudiées. Ces phénomènes sont particulièrement graves à Ankilivalo, Soaserana, Tsimafana et Beharona, où les populations locales rapportent des attaques fréquentes de voleurs de bétail (*Dahalo*) et des kidnappings, aggravant l'insécurité sociale.

Pour faire face à ces impacts, les exploitants rizicoles adoptent diverses stratégies d'adaptation, telles que l'utilisation de variétés à cycle court, l'application d'engrais, l'utilisation de produits phytosanitaires, l'introduction de nouvelles spéculations, l'emploi de semences améliorées, la modification du calendrier culturel, et les cultures de contre-saison. Parmi ces stratégies, l'utilisation des engrais (85 % des enquêtés), des produits phytosanitaires (51,8 %) et des semences améliorées (54 %) sont les plus couramment mises en œuvre, ce qui reflète la nécessité de pallier la dégradation des sols et l'augmentation des parasites. Ces stratégies sont également soutenues par les travaux de Ranaivosolo (2015), Tiriha (2020), Dressa et *al.* (2009), et Vodounou et *al.* (2016) qui rapportent l'utilisation des variétés améliorées et des engrais comme étant des pratiques courantes chez les producteurs confrontés aux variabilités climatiques.

De nombreux facteurs influencent le choix des stratégies d'adaptation des producteurs rizicoles. Ces facteurs incluent la superficie exploitée, le nombre d'années d'expérience agricole, le nombre d'actifs agricoles, l'appartenance à une organisation paysanne, la participation à des formations agricoles, l'accès à l'information climatique, le niveau d'instruction et l'accès aux crédits. La présente étude révèle que la participation à la formation agricole, le contact avec les agents vulgarisateurs et l'accès aux crédits sont les principaux déterminants des choix d'adaptation des producteurs rizicoles. Les résultats montrent que la participation à la formation agricole est le facteur le plus déterminant pour l'adoption des stratégies d'adaptation, confirmant les travaux de Tsado et *al.* (2014), Aboubakar et *al.* (2016), et Tiriha (2021). Ce qui permet aux riziculteurs d'établir une relation avec les agents vulgarisateurs agricoles. Ainsi les producteurs agricoles bénéficient des différentes formations dans le but d'améliorer la productivité rizicole. Par ailleurs, les

études menées par Hinnou et *al.* (2018), Khonje et *al.* (2014), Adegbola et *al.* (2007), et Hermans (2017) confirme que l'affiliation des producteurs avec les agents vulgarisateurs agricoles permet à la fois aux exploitants agricoles de recevoir l'accès aux informations innovantes nécessaires et à l'accélération de l'adoption des nouvelles techniques adaptées à l'évolution climatique. L'accès à l'information par l'intermédiaire des agents vulgarisateurs, ainsi que l'accès aux crédits, joue également un rôle majeur, comme le souligne l'étude de Maddison (2007). Le niveau d'éducation est également un facteur clé, les producteurs mieux instruits étant plus enclins à adopter de nouvelles stratégies d'adaptation, ce qui est en accord avec les conclusions de Deressa et *al.* (2007) qui indiquent que l'éducation favorise l'adaptation aux changements climatiques. Ainsi, l'accès aux crédits permet aux producteurs d'avoir un plus grand choix de stratégies, car certaines nécessitent des investissements conséquents.

## Conclusion

La présente étude a permis d'identifier les perceptions paysannes des manifestations de changements climatiques, leurs impacts sur le système rizicole et les structures socio-économiques, ainsi que les stratégies d'adaptation mises en œuvre dans sept localités de la Région Menabe : Bemanonga, Beharona, Soaserana, Ankilivalo, Ankilizato, Ambatolahy et Tsimañana. Les résultats montrent que la majorité des riziculteurs perçoivent nettement les effets de changements climatiques, notamment la hausse des températures, l'arrêt précoce et le démarrage tardif des pluies, la baisse du cumul pluviométrique, les vents violents, la mauvaise répartition des pluies et l'apparition de poches de sécheresse.

Ces manifestations ont des effets marqués sur la riziculture, avec une baisse notable de la production, une infertilité croissante des sols et une recrudescence des ravageurs de cultures. Sur le plan socio-économique, les conséquences incluent l'insécurité alimentaire, la baisse des revenus agricoles, l'insécurité sociale et l'exode rural.

Pour y faire face, les riziculteurs mettent en œuvre diverses stratégies d'adaptation. Trois profils principaux se dégagent : une première classe recourant aux semences améliorées, aux engrais, aux motoculteurs et au repiquage de jeunes plants ; une deuxième classe adoptant les variétés à cycle court, l'introduction de nouvelles spéculations, les cultures de contre-saison et la modification du calendrier cultural ; une troisième classe combinant produits phytosanitaires, semences améliorées, engrais en quantité importante et introduction de nouvelles spéculations.

Ces stratégies sont fortement influencées par des facteurs tels que l'éducation, l'accès à la formation agricole, le contact avec les agents de vulgarisation, et l'accès aux crédits.

En dépit de ces efforts, les populations rizicoles continuent de subir les effets du changement climatique. Il apparaît donc indispensable que les décideurs publics et privés renforcent les politiques de soutien à la riziculture. Cela passe par la promotion des organisations paysannes, l'accès accru à la formation, le développement de la recherche participative, le renforcement des dispositifs de vulgarisation agricole, l'alphabétisation fonctionnelle et l'éducation environnementale. Les résultats de cette étude constituent ainsi une base précieuse pour orienter les politiques d'adaptation et atténuer durablement les effets de changements climatiques sur le système de riziculture à Madagascar.

### **Remerciements**

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde gratitude à notre encadreur, Professeur Titulaire REJO-FIENENA Félicitée, à notre co-encadreur, Docteur ANDRIAHARIMALALA Tahiana, ainsi qu'au Directeur de la DREA, au Chef de Service Agricole et aux Présidents *Fokontany* de chaque localité d'études, qui ont contribué à la réalisation de ce travail de recherche. Nous sommes extrêmement reconnaissants envers les responsables de l'Ecole Doctorale « Biodiversité et Environnements Tropicaux » de l'Université de Toliara pour l'appui pédagogique.

### **Déclaration éthique**

Cette recherche a été conduite dans le respect des principes éthiques de la recherche scientifique. Des entretiens ont été menés auprès des producteurs rizicoles dans sept localités d'études (Bemanonga, Beharona, Soaserana, Ankilivalo, Ankilizato Ambatolahy et Tsimañana), après avoir obtenu leur consentement éclairé. Les enquêtés ont été informés des objectifs de l'étude, de la nature de leur participation et de leur droit de se retirer à tout moment. Aucune information nominative n'a été collectée, et l'anonymat ainsi que la confidentialité des données ont été strictement respectés. Aucune autorisation formelle d'un comité d'éthique n'a été délivrée, mais toutes les précautions ont été prises pour garantir une conduite éthique de la recherche.

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

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

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



## References:

1. Abubakar, H.N., Kolo, I.N., Yabagi, A.A., & Garbat, Y. (2016). Adoption of production technologies by lowland rice farmers in Lavun Local Government Areas of Niger State, Nigeria. *International Journal of Agricultural Extension*, 4(1), 49–56.
2. Adegbola, Y.P., & Gardibrack, C. (2007). The effect of information sources on technology adoption and modification decision. *Agricultural Economics*, 37, 55–65.
3. Banque Africaine de Développement (BAD). (2003). *Revue du secteur agricole Madagascar*.
4. Centre de Recherche, d'Étude et d'Appui à l'Analyse Économique à Madagascar. (2014). *Monographie Région du Menabe* 59 p.
5. Deressa, T.T., Hassan, R.M., Ringler, C., Alemu, T., & Yesuf, M. (2007). Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Global Environmental Change*, 19(2), 248–255.
6. Cloppet, E. (2004). Impacts agronomiques et sylvicoles du changement climatique. *La Météorologie*, 45, 43–50.
7. Clot, N. (2008). *Changement climatique au Mali : introduction et développement du thème dans la délégation Interopération Sahel*. Interopération Sahel, 26 p.
8. Fadina, A.M.R., & Barjolle, D. (2018). Farmers' adaptation strategies to climate change and their implication in the Zou Department of South Benin. *Environments*, 5(12), 131.
9. Fleut, M.J. (2006). *Impacts des changements climatiques sur les agriculteurs de la Province du Zondoma au Burkina Faso : adaptation, savoir et vulnérabilité (Mémoire de fin d'études)*. Université du Québec à Montréal, 131 p.
10. Gnangle, R.G., & Sokpon, N. (2012). Perception locale du changement climatique et mesures d'adaptations dans la gestion des parcs à karité au Nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(1), 136–149.
11. Greene, W. H. (2012). *Econometric analysis* (7th ed.). Pearson Education.
12. Hermans, F., Sartas, M., Van Schagen, B., Van Asten, P., & Schut, M. (2017). Social network analysis of multi-stakeholder platforms in agricultural research for development: Opportunities and constraints for innovation and scaling. *PLOS ONE*, 12(12), e0169634.
13. Hinnou, C.L., Aniambossou, M., Houessionon, P., Adjovi, R.A., & Mongbo, L. (2018). Déterminants socio-économiques de l'adoption des technologies améliorées du riz local diffusées à l'une des



- plateformes d'innovation au Centre Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 83, 55–72.
14. Kate, S., Dagbenonbakin, G.D., Agbanaba, C.E., De Souza, J.F., Kpagbin, G., Azontondé, A., & Sinsin, B. (2014). Perceptions locales de la manifestation des changements climatiques et mesures d'adaptations dans la Commune de Banikoara au Nord Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 82(1), 7418–7435.
  15. Khonje, M., Manda, J., Alene, A.D., & Kassie, M. (2014). Analysis of adoption and impacts of improved maize varieties in Eastern Zambia. *World Development*, 66, 696–706.
  16. Maddison, D. (2007). The perception of and adaptation to climate change in Africa. *World Bank Policy Research Working Paper*, No. 4308.
  17. MAEP & JICA (2020). *Projet d'amélioration de la productivité rizicole, gestion de bassins versants et périmètres irrigués Papriz 2 : Technique spécifique pour la riziculture irriguée.*
  18. Mehdi, N., Sghaier, M., & Kadri, N. (2019). Water and climate change : Which adaptation strategies for irrigation water management in Southeast Tunisia? *New Medit*, 18(1), 15–28.
  19. Milleville, P. (2004). Activités agropastorales et aléas climatiques en région sahélienne. In *Le risque en agriculture* (pp. 233–239).
  20. Nasreen, A.A., Akpehe, G.A., & Awuaga, M.N. (2016). Adaptation strategies to climate change among rice farmers in Katsina-Ala Local Government Area of Benue State, Nigeria. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 9(10), 33–37.
  21. Ouédraogo, M., Dembélé, Y., & Somé, L. (2010). Perceptions et stratégies d'adaptations aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso. *Sécheresse*, 21(2), 87–90.
  22. Rabezandrina, J.J. (2003). Vulnérabilité des activités rurales face aux changements climatiques dans le Sud-Ouest de Madagascar. *Mémoire DEA, Université de Toliara*, 65p.
  23. Rakotomalala, J. (2008). Étude des séries évolutives des systèmes agraires en relation avec le changement climatique : cas de deux villages périphériques de la Réserve Spéciale de Bezaha Mahafaly (Mémoire d'ingénieur agronome). *Université d'Antananarivo, ESSA*, 44p.
  24. Ralaisabotsy, V.M.I. (2016). La croissance démographique face à la production rizicole. Cas du District d'Andapa, Région SAVA (Mémoire DEA). *Université d'Antananarivo, FDEGS*, 64p.
  25. Ranaivosolo, H.A. (2015). Impacts du changement climatique sur les activités agricoles et stratégies d'adaptations des agriculteurs de la

- Commune rurale de Marofandilia, District de Morondava, Région Menabe (Mémoire de Master). Université d'Antananarivo, 51p.
26. Sperling, F. (2003). Pauvreté et changement climatique : Réduire la vulnérabilité des populations pauvres par l'adaptation. PNUE-PNUD, 42 p.
  27. Tirihaia, A.G. (2020). Cultures vivrières face au changement climatique dans le District d'Ihosy, Région Ihorombe (Mémoire DEA). Université de Toliara, 50p.
  28. Tirihaia, A.G. (2021). Étude sur le diagnostic technique et organisationnel de la Coopérative TAFITA Ankilizato. Consultance auprès de l'ONG ONJA et du FDA Menabe, 23 p.
  29. Tsado, J.H., Ojo, M.A., & Ajayi, O.J. (2014). Impacts of training the trainers' programme on rice farmers' income and welfare in North Central Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 57–63.
  30. Tse, Y.K. (1987). A diagnostic test for the multinomial logit model. *Journal of Business and Economic Statistics*, 5(2), 283–286.
  31. Vincent, G., Pierre-Marie, B., & Isabelle, M.S. (2023). L'agriculture à Madagascar : Évolution, chiffres clés et défis. 38–45.
  32. Vodounou, J.B.K., & Onibon, D.Y. (2016). Agriculture paysanne et stratégies d'adaptations au changement climatique au Nord Bénin. *Cybergeog : European Journal of Geography*.
  33. Yai, D.E., Ahodode, B.G.C., & Biaou, F.C. (2014). Incidence du changement climatique sur la production agricole : cas de la Commune de Banikoara. *Outlook on Agriculture*, 27 p.
  34. Yegbemey, R.N., Yabi, J.A., Aihounton, G.B., & Paraiso, A. (2014). Modélisation simultanée de la perception et de l'adaptation des producteurs de maïs du Nord Bénin. *Cahiers Agricultures*, 23, 177–187. <https://doi.org/10.1684/agr>.

# **Suivi des Paramètres Physico-Chimiques des Eaux Souterraines du Bassin de l'Alima, affluent du Fleuve Congo : Campagnes de Grande Saison Sèche 2021 et 2022 dans les Districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji, République du Congo**

***Noida Janesia Lebel Mouakoumbat***

Doctorante, École nationale polytechnique,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Chester Gatsé Ebotehoua***

Docteur, Ecole Normale Supérieure,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Urbain Gampio Mbilou***

Professeur Titulaire CAMES, Unité de Recherche d'hydrologie et  
hydrogéologie, Département de géologie, Faculté des Sciences et  
Techniques, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n18p96](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p96)

Submitted: 09 April 2025

Accepted: 13 June 2025

Published: 30 June 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

## *Cite As:*

Mouakoumbat, N.J.L., Ebotehoua, C.G. & Mbilou, U.G. (2025). *Suivi des Paramètres Physico-Chimiques des Eaux Souterraines du Bassin de l'Alima, affluent du Fleuve Congo : Campagnes de Grande Saison Sèche 2021 et 2022 dans les Districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji, République du Congo*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (18), 96.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p96>

## **Résumé**

Cette étude, menée pendant les grandes saisons sèches de 2021 et 2022, a évalué la qualité hydrogéochimique des eaux souterraines des districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji, situés dans le bassin versant de l'Alima. L'objectif était de déterminer leur aptitude à la consommation humaine et à l'irrigation. Des échantillons ont été prélevés sur 26 ouvrages en 2021 et 34 en 2022 (sources aménagées, puits et forages). Les analyses, réalisées au laboratoire de La Congolaise des Eaux (LCDE), ont porté sur des paramètres physiques (pH, température, conductivité, TDS) et chimiques (cations et anions). Les résultats globaux indiquent que les eaux respectent les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour la potabilité. La composition chimique est principalement dominée par les ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$ .

Des variations ont été observées entre les années, avec des faciès bicarbonaté calcique et magnésien en 2021, et chloruré, sulfaté calcique et magnésien en 2022. L'influence des précipitations et de l'altération des silicates sur la chimie des eaux a été notée. Malgré une qualité chimique satisfaisante, l'étude souligne la persistance d'une acidité, une faible minéralisation et un potentiel de corrosion des infrastructures. Ces éléments, ainsi que les risques microbiologiques, nécessitent une surveillance continue pour prévenir d'éventuels risques sanitaires. Selon les critères de Wilcox, ces eaux sont jugées excellentes à bonnes pour l'irrigation. Cependant, un suivi microbiologique rigoureux est recommandé en raison de l'acidité et des risques de contamination. Ces conclusions sont cruciales pour l'élaboration de politiques de gestion de l'eau, visant à garantir la potabilité et la santé publique dans ces régions. Un suivi régulier et des interventions ciblées sont essentiels.

---

**Mots-clés:** Eaux souterraines ; physico-chimiques, qualité d'eau, saison sèche, bassin versant de l'Alima

---

## **Monitoring of Physico-Chemical Parameters of Groundwater in the Alima Basin, a Tributary of the Congo River: 2021 and 2022 Dry Season Campaigns in the Districts of Oyo, Tchikapika and Boundji, Republic of Congo**

***Noida Janesia Lebel Mouakoumbat***

Doctorante, École nationale polytechnique,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Chester Gatsé Ebotehoua***

Docteur, Ecole Normale Supérieure,  
Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

***Urbain Gampio Mbilou***

Professeur Titulaire CAMES, Unité de Recherche d'hydrologie et  
hydrogéologie, Département de géologie, Faculté des Sciences et  
Techniques, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo

---

### **Abstract**

This study, conducted during the major dry seasons of 2021 and 2022, assessed the hydrogeochemical quality of groundwater in the Oyo, Tchikapika, and Boundji districts, located within the Alima watershed. The aim was to determine their suitability for human consumption and irrigation. Samples were collected from 26 water points in 2021 and 34 in 2022 (developed springs, wells, and boreholes). Analyses, performed at La

Congolaise des Eaux (LCDE) laboratory, focused on physical parameters (pH, temperature, conductivity, TDS) and chemical parameters (cations and anions). Overall results indicate that the waters comply with World Health Organization (WHO) standards for potability. The chemical composition is primarily dominated by  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , and  $\text{Cl}^-$  ions. Variations were observed between years, with calcium and magnesium bicarbonate facies in 2021 and calcium and magnesium chloride-sulfate facies in 2022. The influence of precipitation and silicate weathering on water chemistry was noted. Despite satisfactory chemical quality, the study highlights persistent acidity, low mineralization, and potential for infrastructure corrosion. These factors, along with microbiological risks, necessitate continuous monitoring to prevent potential health hazards. According to Wilcox's criteria, these waters are considered excellent to good for irrigation. However, strict microbiological monitoring is recommended due to acidity and contamination risks. These conclusions are crucial for developing water management policies aimed at ensuring potability and public health in these regions. Regular monitoring and targeted interventions are essential.

---

**Keywords:** Groundwater; physicochemical, water quality, dry season, Alima watershed

## Introduction

Les eaux souterraines constituent une ressource essentielle pour la consommation humaine, l'agriculture et les activités industrielles (Kumar et al., 2022). Cependant, leur disponibilité et leur qualité sont menacées par les impacts climatiques et conjoints de l'industrialisation, de la culture agricole intensive et de la croissance démographique (Singh et al., 2020). Alors qu'elles jouent un rôle crucial dans les zones arides, elles restent tout aussi importantes en zones équatoriales, où elles bénéficient généralement d'une certaine protection naturelle contre la pollution. Pourtant, en milieu urbain, les activités anthropiques, telles que les rejets industriels et les installations sanitaires inadéquates, compromettent leur qualité (Kanohin-Otchoumou et al., 2017).

En République du Congo, notamment dans les zones rurales comme Oyo, Tchikapika et Boundji, les populations dépendent fortement des eaux souterraines, souvent sans évaluer leur qualité ni leur sécurité. L'absence d'infrastructures d'assainissement adéquates et l'expansion des activités agricoles exposent ces ressources à des contaminations chimiques et microbiologiques (Ambarref et al., 2007). De plus, les sécheresses récurrentes et la pression démographique accentuent ces menaces (Goula et al., 2006). Par ailleurs, la composition chimique des eaux souterraines varie en fonction de

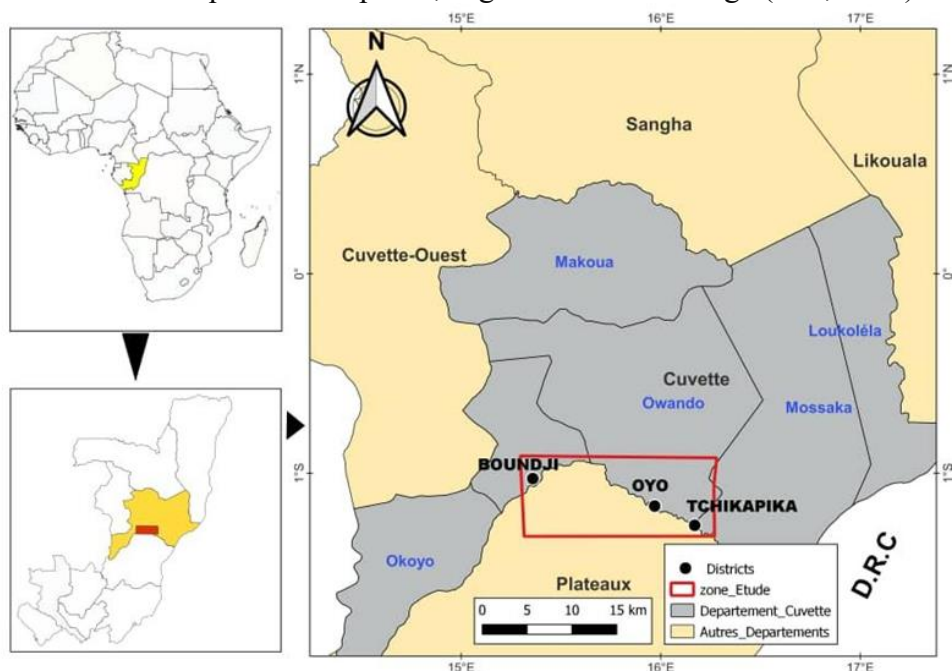
leur interaction avec les formations géologiques environnantes (Souleymane et al., 2020).

Dans ce contexte, cette étude a pour objectif de suivre l'évolution hydrogéochimique des eaux souterraines des districts étudiés au cours des saisons sèches de 2021 et 2022, afin d'identifier les facteurs influençant leur qualité et leur dynamisme.

## Matériels et méthodes

### *Présentation de la zone d'étude*

L'étude porte sur les districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji (Figure 1), situés à environ 400 m d'altitude dans la Cuvette Congolaise, au cœur du bassin du fleuve Congo (Laraque & Olivry, 1998). Cette région s'étend sur 5187,5 km<sup>2</sup> et abrite une population de 85 137 habitants. Ses principales activités économiques sont la pêche, l'agriculture et l'élevage (INS, 2018).

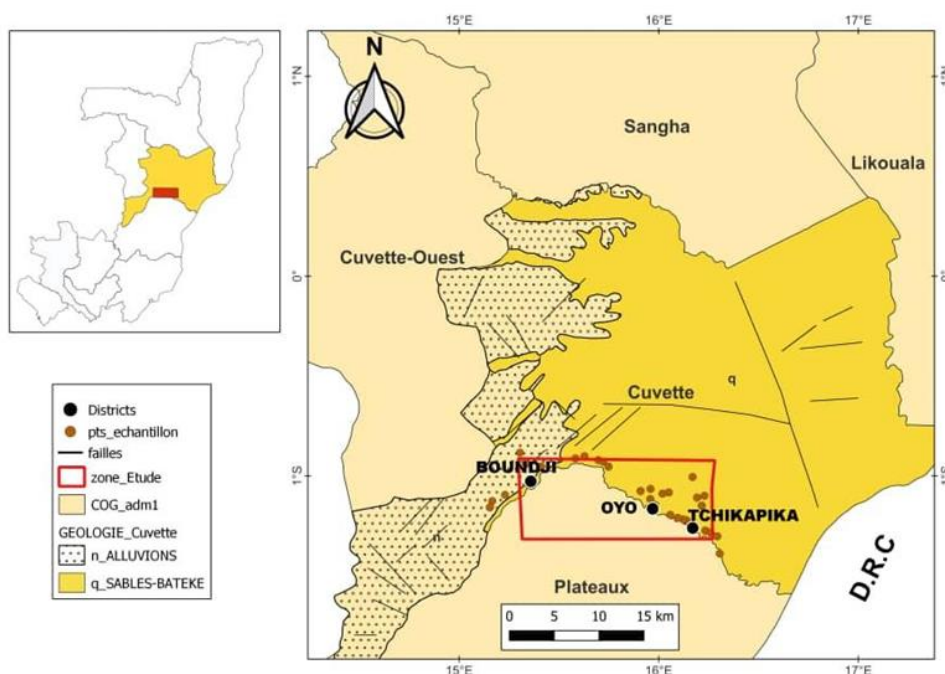


**Figure 1.** Localisation de la zone d'étude, éditée avec le logiciel QGIS, en utilisant la carte administrative de la République du Congo

Le climat est chaud et humide, sous l'influence des basses et hautes pressions intertropicales et se caractérise par un profil pluviométrique bimodal, comprenant deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches (Itoua et al., 2017). La pluviosité annuelle varie entre 1600 et 1800 mm, avec une température moyenne de 25°C (Itoua et al., 2017 ; Bocquier, 1960). La région est entourée d'une forêt ombrophile dense, qui couvre près de 48 % du bassin (Laraque and Olivry, 1998). La Cuvette est délimitée au Sud par des

formations sablonneuses des plateaux, à l'Ouest par des formations métamorphisées, au Nord par la République Centrafricaine, et à l'Est par le fleuve Congo et l'Oubangui (Bocquier, 1960).

Le contexte géologique (Figure 2) des districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji est simple. Il est caractérisé par des formations de couverture composées d'alluvions quaternaires fluviales argileuses ou sablonneuses. Ces formations sont susceptibles d'être très perméables et de stocker d'importantes quantités d'eau souterraine (Laraque & Olivry, 1998). La recharge des aquifères est probablement élevée en raison des fortes précipitations et de la présence d'aquifères très perméables (BRGM, 1982). Ces aquifères alluvionnaires sont essentiels pour l'approvisionnement en eau des communautés locales.



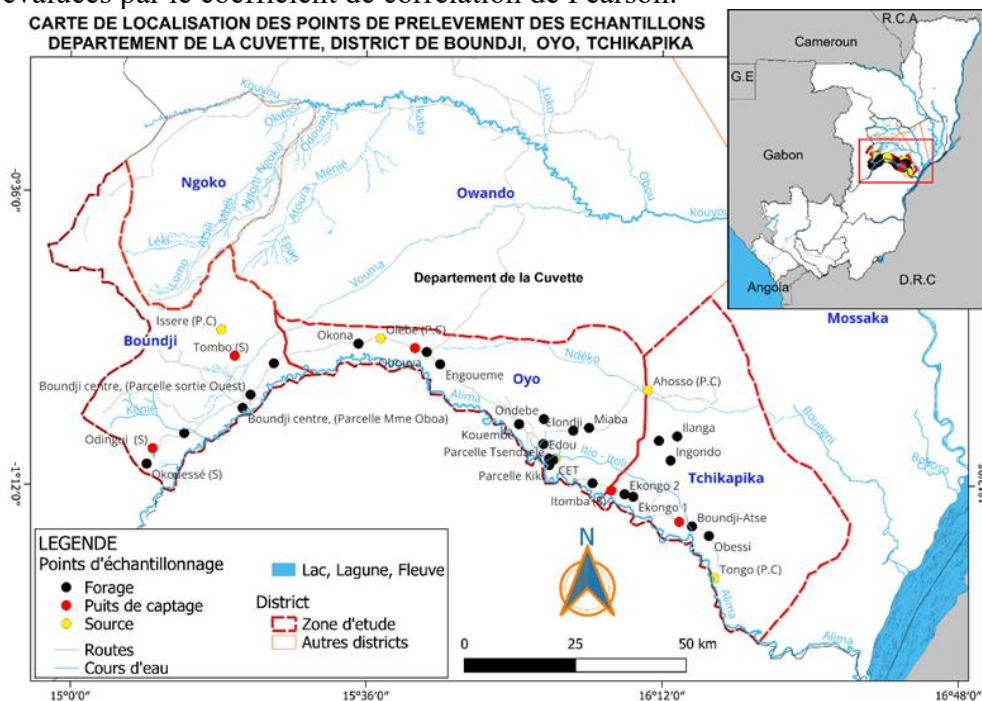
**Figure 2.** Extrait de la carte géologique de la zone d'étude, éditée avec le logiciel QGIS, en utilisant la carte géologique de la République du Congo

### ***Echantillonnage et analyses chimiques***

Pour les campagnes d'échantillonnage (Figure 3), 26 ouvrages ont été sélectionnés en 2021 et 34 en 2022. Ces ouvrages comprenaient 04 sources aménagées, 05 puits de captage et 25 forages. Ces points ont été choisis afin de représenter spatialement l'ensemble des aquifères des trois districts. La localisation des points échantillonnés, basée sur les coordonnées géographiques de chaque point de prélèvement et la carte hydrographique de la République du Congo, a été réalisée avec le logiciel QGIS et est illustrée dans la Figure 3 pour les deux campagnes.



Au cours de ces deux campagnes, les paramètres physiques des eaux ont été mesurés in situ à l'aide de puisettes ou de robinets des bornes-fontaines (Thierrin et al., 2003). Les échantillons, prélevés et stockés dans des flacons en polyéthylène de 1L, ont été conservés dans une glacière pour éviter la contamination et la variation de température. Un total de 60 échantillons d'eau a été collecté, dont 26 en août 2021 et 34 en août 2022. Ces échantillons ont ensuite été analysés au laboratoire de La Congolaise des Eaux (LCDE) pour les cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) selon les méthodes standard de l'APHA (20<sup>ème</sup> édition, 1998). Les mesures in situ incluait la température, déterminée à l'aide d'un thermomètre alcoolique, ainsi que la conductivité électrique et les TDS (solides dissous totaux), évalués à l'aide d'un conductimètre portable HachsensION+ EC5. Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre portable Hachsens. En laboratoire, des titrages ont été effectués pour  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Cl}^-$ . Le sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) ont été mesurés respectivement par spectrophotométrie et méthode colorimétrique. L'analyse de la silice a été réalisée par spectrophotométrie Shimadzu UV-1800, avec des solutions étalons de silice préparées à partir d'une solution mère de métasilicate de sodium. L'exactitude des analyses chimiques a été vérifiée par l'équilibre ionique selon Hounslow (1995), et les variations temporelles des paramètres de qualité de l'eau ont été évaluées par le coefficient de corrélation de Pearson.



**Figure 3.** Carte montrant la répartition spatiale des points d'échantillonnage



## Résultats et Discussion

### Statistiques descriptives

Les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans notre zone d'étude (districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji) ont été évaluées pour les grandes saisons sèches de 2021 et de 2022. Les résultats sont présentés respectivement dans les tableaux 1 et 2.

### Température

Les températures des eaux souterraines dans le district d'Oyo en saison sèche variaient de 27,5 à 27,9 °C en 2021, et de 23,3 à 29,5 °C en 2022. À Tchikapika, les températures allaient de 27,1 à 28,2 °C en 2021 et de 24,1 à 28,8 °C en 2022. Dans le district de Boundji, les températures variaient de 27,4 à 27,9 °C en 2021, et de 22,8 à 27,2 °C en 2022. Ces valeurs sont proches de celles de l'air, ce qui suggère des aquifères ouverts (Bocquier, 1960). La faible variation des températures indique une bonne qualité de l'eau, car elle ne modifie pas ses propriétés organoleptiques (Akil et al., 2014 ; Makhoukh et al., 2011).

**Tableau 1.** Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eaux souterraines des trois (3) districts, campagne grande saison sèche 2021

District	Statistique	pH	T°c	TDS	Ce	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Dureté
OYO (n=11)	Minimum	5,27	27,50	2,00	5,00	3,41	0,90	0,11	1,12	0,23	0,10	0,06	3,74
	Maximum	8,70	27,90	12,99	26,00	9,03	6,10	1,18	4,50	2,80	0,60	1,80	22,77
	Moyenne	7,63	27,73	5,05	11,22	5,86	2,44	0,34	2,54	0,63	0,25	0,74	8,94
	Variance (n)	0,87	0,02	8,79	32,94	3,08	2,25	0,10	0,95	0,49	0,02	0,28	24,15
	Ecart-type (n)	0,93	0,13	2,97	5,74	1,75	1,50	0,31	0,98	0,70	0,14	0,53	4,91
Tchikapika (n=7)	Minimum	4,65	27,10	2,00	5,00	1,80	0,37	0,10	0,41	0,18	0,11	0,06	1,77
	Maximum	7,95	28,20	18,41	17,00	10,37	1,42	0,54	1,84	32,00	1,14	0,09	134,62
	Moyenne	5,90	27,80	6,01	10,03	4,46	0,96	0,32	1,17	4,81	0,41	0,08	22,72
	Variance (n)	0,85	0,11	27,45	14,38	6,71	0,11	0,03	0,23	123,24	0,14	0,00	2088,77
	Ecart-type (n)	0,92	0,33	5,24	3,79	2,59	0,33	0,17	0,48	11,10	0,37	0,01	45,50
Boundji (n=8)	Minimum	5,39	27,40	3,00	6,00	1,83	0,12	0,05	0,28	0,09	0,12	0,04	1,24
	Maximum	7,79	27,90	24,97	51,00	8,53	2,13	0,80	1,48	0,76	0,36	0,13	5,67
	Moyenne	5,98	27,71	9,01	18,72	5,15	0,93	0,35	0,69	0,33	0,26	0,07	3,09
	Variance (n)	0,53	0,03	54,57	232,05	4,80	0,35	0,09	0,15	0,05	0,00	0,00	2,73
	Ecart-type (n)	0,73	0,16	7,39	15,23	2,19	0,59	0,31	0,39	0,22	0,06	0,03	1,65
Norme OMS (2019)		6,5-8,5	25	< 200	< 400	< 200	< 200	< 50	< 70	< 50	<12	< 150	< 200

n= nombre d'échantillon

## pH

Les pH dans le district d'Oyo variaient de 5,27 à 8,7 en 2021 et de 4,73 à 7,82 en 2022, indiquant une tendance légèrement acide à neutre. À Tchikapika, les pH allaient de 4,65 à 7,95 en 2021 et de 4,72 à 7,58 en 2022, avec une majorité légèrement acide. À Boundji, les pH variaient de 5,39 à 7,79 en 2021, et de 4,6 à 7,74 en 2022, restant généralement acides. La légère acidité est attribuée à l'acide carbonique formé par la combinaison de CO<sub>2</sub> libre et d'eau de pluie (Sethy et al., 2016 ; Souleymane et al., 2020).

## TDS et Conductivité électrique

Les valeurs de TDS variaient dans le district d'Oyo de 2 à 12,99 mg/L en 2021 et de 3,5 à 241,74 mg/L en 2022. À Tchikapika, elles allaient de 2 à 18,41 mg/L en 2021 et de 10,51 à 158,16 mg/L en 2022. À Boundji, les TDS variaient de 3 à 24,97 mg/L en 2021 et de 5,5 à 206,2 mg/L en 2022, toutes restant sous 500 mg/L, classant ces eaux comme douces (Subramani et al., 2005). La conductivité électrique (CE) variait de 5 à 26 µS/cm en 2021 et de 7 à 483 µS/cm en 2022 à Oyo. À Tchikapika, elle allait de 5 à 17 µS/cm en 2021 et de 21 à 316 µS/cm en 2022. À Boundji, les valeurs variaient de 6 à 51 µS/cm en 2021 et de 11 à 412 µS/cm en 2022. Ces résultats montrent que les eaux souterraines sont peu minéralisées, avec une minéralisation décroissante de 2021 à 2022, due aux faibles profondeurs des aquifères (Sandao et al., 2018) d'où ils sont prélevés.

**Tableau 2.** Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eaux souterraines des trois (3) districts, campagne grande saison sèche 2022

District	Statistique	pH	T°c	TDS	Ce	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Dureté
OYO (n=14)	Minimum	4,73	23,30	3,50	7,00	3,67	0,91	0,00	1,05	0,22	0,32	0,60	3,49
	Maximum	7,82	29,50	241,74	483,00	253,57	62,73	37,32	72,45	14,50	27,04	40,76	240,62
	Moyenne	6,33	26,91	93,02	185,87	89,86	24,16	7,31	27,88	5,58	10,40	15,69	92,59
	Variance (n)	1,64	3,03	5568,02	22226,65	7230,71	375,35	93,36	500,12	20,02	69,77	158,32	5515,62
	Ecart-type (n)	1,28	1,74	74,62	149,09	85,03	19,37	9,66	22,36	4,47	8,35	12,58	74,27
Tchikapika (n=10)	Minimum	4,72	24,10	10,51	21,00	3,31	2,73	0,00	3,15	0,63	1,17	1,78	10,46
	Maximum	7,58	28,80	158,16	316,00	165,90	41,08	5,32	47,40	9,48	17,68	26,67	157,40
	Moyenne	6,25	27,17	77,92	155,70	77,67	20,24	3,33	23,35	4,67	8,71	13,14	77,55
	Variance (n)	1,42	1,79	4301,16	17169,81	5306,57	290,17	2,61	386,28	15,47	53,83	122,34	4260,50
	Ecart-type (n)	1,19	1,34	65,58	131,03	72,85	17,03	1,62	19,65	3,93	7,34	11,06	65,27
Boundji (n=11)	Minimum	4,60	22,80	5,50	11,00	2,98	1,43	0,00	1,65	0,34	0,61	0,93	5,52
	Maximum	7,74	27,20	206,20	412,00	216,30	53,56	33,00	61,80	12,36	23,07	34,78	205,21
	Moyenne	5,37	24,77	30,98	61,91	24,88	8,05	3,97	9,29	1,86	3,46	5,22	30,85
	Variance (n)	0,73	1,92	3208,28	12808,08	3673,28	216,42	86,34	288,18	11,52	40,18	91,32	3176,94
	Ecart-type (n)	0,85	1,39	56,64	113,17	60,61	14,71	9,29	16,98	3,39	6,34	9,56	56,36
Norme OMS (2019)		6,5-8,5	25	< 200	< 400	< 200	< 200	< 50	< 70	< 50	< 12	< 150	< 200

### **Dureté totale, calcium et magnésium**

La présence de calcium et de magnésium dans l'eau détermine la dureté (Ojekunle et al., 2020). Les concentrations de dureté des eaux souterraines échantillonnées dans les districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji pendant les saisons sèches 2021 et 2022 révèlent des variations significatives. En 2021, à Oyo, la dureté variait de 3,74 à 22,77 mg/L (CG-05 et CG-11), à Tchikapika de 1,77 à 134,62 mg/L (CG-16 et CG-20), et à Boundji de 1,28 à 5,67 mg/L (CG-29 et CG-26), la majorité des échantillons étaient classés comme « douce », à l'exception de quelques échantillons de Tchikapika et Oyo qui étaient « dure » d'après la classification de Sawyer & McCarthy (1967). En 2022, Oyo affichait des valeurs de 3,49 à 240,62 mg/L (CG-07 et CG-13), avec 40 % en « dure », tandis que Tchikapika présentait 50 % en « douce » et 50 % en « modérément dure », et Boundji 82 % en « douce ». Les concentrations de  $\text{Ca}^{2+}$  en 2021 variaient à Oyo de 1,12 à 4,5 mg/L (CG-05 et CG-11), à Tchikapika de 0,41 à 1,84 mg/L, et à Boundji de 0,28 à 1,48 mg/L. En 2022, Oyo affichait des concentrations de 1,05 à 72,45 mg/L, Tchikapika de 3,15 à 47,4 mg/L, et Boundji de 1,65 à 61,8 mg/L. Les concentrations de  $\text{Mg}^{2+}$  en 2021 allaient de 0,23 à 2,8 mg/L à Oyo, de 0,18 à 32 mg/L à Tchikapika, et de 0,09 à 0,76 mg/L à Boundji, tandis qu'en 2022, elles variaient de 0,21 à 14,50 mg/L à Oyo, de 0,63 à 9,48 mg/L à Tchikapika, et de 0,34 à 12,36 mg/L à Boundji. Toutes les concentrations de  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  étaient inférieures aux limites admissibles de l'OMS (2019).

### **Potassium et sodium**

L'étude présente les concentrations de  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  dans les districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji pendant les grandes saisons sèches de 2021 et 2022. En 2021, la concentration en  $\text{K}^+$  à Oyo varie de 0,1 à 0,6 mg/L, à Tchikapika de 0,11 à 1,14 mg/L, et à Boundji de 0,12 à 0,36 mg/L. Pour l'année 2022, ces valeurs ont significativement augmenté, atteignant 0,32 à 27,04 mg/L à Oyo, 1,17 à 17,68 mg/L à Tchikapika, et 0,61 à 23,07 mg/L à Boundji.

Concernant  $\text{Na}^+$ , les concentrations relevées à Oyo pour l'année 2021 étaient de 0,06 à 1,8 mg/L. A Tchikapika, elles variaient de 0,06 à 0,09 mg/L, et à Boundji de 0,04 à 0,13 mg/L. En 2022, ces concentrations ont évolué pour atteindre 0,6 à 40,76 mg/L à Oyo, 1,78 à 26,67 mg/L à Tchikapika, et 0,93 à 34,78 mg/L à Boundji. Bien que les concentrations de  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  pendant la grande saison sèche 2021 soient inférieures à celles de 2022, toutes restent en deçà des niveaux admissibles selon les normes de l'OMS (2019).

### **Ion bicarbonate**

Les concentrations en ions bicarbonate des échantillons d'eau souterraine prélevés dans les districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji varient

entre 3,41 mg/L et 9,03 mg/L en grande saison sèche 2021 pour Oyo, 1,8 mg/L et 10,37 mg/L pour Tchikapika, et 1,83 mg/L et 8,53 mg/L pour Boundji. Au cours de la période d'étiage 2022, les valeurs sont significativement plus élevées : 3,67 mg/L à 253,57 mg/L pour Oyo, 3,31 mg/L à 165,9 mg/L pour Tchikapika, et 2,98 mg/L à 216,3 mg/L pour Boundji. On observe une forte concentration en ions bicarbonate en 2022 par rapport à 2021.

### **Ion chlorure**

Le tableau 1 présente les concentrations d'ions chlorure dans les districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji pendant la saison sèche 2021. Dans le district d'Oyo, la concentration de  $\text{Cl}^-$  variait de 0,9 à 6,1 mg/L, avec des minimum et maximum observés dans les échantillons CG-05 et CG-11, respectivement. Pour Tchikapika, les valeurs variaient de 0,37 à 1,42 mg/L, avec CG-20 et CG-21 comme échantillons extrêmes. À Boundji, les concentrations allaient de 0,12 à 2,13 mg/L, avec CG-29 et CG-30 respectivement comme valeurs minimales et maximales. Le tableau 2 indique les concentrations d'ions chlorure en 2022. À Oyo, les valeurs moyennes allaient de 0,91 à 62,73 mg/L, avec CG-07 et CG-13 comme extrêmes. À Tchikapika, les concentrations variaient de 2,73 à 41,08 mg/L, tandis qu'à Boundji, elles allaient de 1,43 à 53,56 mg/L, avec les échantillons CG-36 et CG-34 comme points extrêmes. Les concentrations d'ions chlorure restent inférieures au seuil acceptable de 250 mg/L (OMS, 2019), et aucune conséquence négative sur la santé humaine liée à une consommation excessive n'a été rapportée (Jain et al., 2010).

### ***Analyse de corrélation de Pearson***

Les tableaux 3 à 8 présentent les statistiques des eaux souterraines dans les districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji. Les coefficients de corrélation de Pearson pour la grande saison sèche de 2021 sont détaillés dans les tableaux 3 à 5, et ceux pour 2022 figurent dans les tableaux 6 à 8.

Pour 2021, le tableau 3 montre que, dans le district d'Oyo, sur 66 corrélations, 12 sont significatives au niveau de 1 % et 4 au niveau de 5 %. Des corrélations positives notables incluent celles entre pH et  $\text{Ca}^{2+}$ , TDS et CE (0,964), ainsi que  $\text{Cl}^-$  avec  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , indiquant une tendance à former des composés dans les eaux souterraines (Ganiyu et al., 2018).

**Tableau 3.** Matrice de corrélation pour les échantillons d'eaux souterraines dans le district d'Oyo campagne grande saison sèche 2021

	pH	T°c	TDS	Ce	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Dureté
pH	1,000											
T°	-0,422	1,000										
TDS	-0,475	0,348	1,000									
Ce	-0,390	0,263	0,964	1,000								
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,168	-0,070	-0,178	-0,042	1,000							
Cl <sup>-</sup>	0,421	-0,687	-0,148	-0,107	-0,055	1,000						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,350	-0,436	0,115	0,085	-0,005	0,248	1,000					
Ca <sup>2+</sup>	0,564	-0,515	-0,152	-0,075	0,276	0,900	0,036	1,000				
Mg <sup>2+</sup>	0,327	-0,421	0,067	0,074	-0,279	0,820	-0,129	0,704	1,000			
K <sup>+</sup>	0,413	-0,117	-0,033	0,145	0,339	0,090	-0,415	0,331	-0,004	1,000		
Na <sup>+</sup>	0,487	-0,465	-0,363	-0,237	0,185	0,646	-0,391	0,677	0,741	0,332	1,000	
Dureté	0,471	-0,502	-0,036	0,007	-0,027	0,927	-0,058	0,909	0,936	0,162	0,771	1,000

Le tableau 4 souligne des corrélations similaires dans Tchikapika, avec des relations positives entre pH et divers ions (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>).

**Tableau 4.** Matrice de corrélation pour les échantillons d'eaux souterraines dans le district de Tchikapika campagne grande saison sèche 2021

	pH	T°c	TDS	Ce	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Dureté
pH	1,000											
T°	0,245	1,000										
TDS	-0,204	0,063	1,000									
Ce	-0,346	0,168	0,893	1,000								
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,322	-0,893	-0,270	-0,385	1,000							
Cl <sup>-</sup>	-0,767	0,123	0,025	0,201	-0,039	1,000						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,697	0,136	0,436	0,740	-0,131	0,542	1,000					
Ca <sup>2+</sup>	-0,152	-0,574	-0,582	-0,393	0,693	-0,116	0,101	1,000				
Mg <sup>2+</sup>	0,908	0,242	-0,238	-0,221	-0,416	-0,722	-0,508	-0,024	1,000			
K <sup>+</sup>	0,001	-0,650	-0,341	-0,626	0,687	0,019	-0,642	0,159	-0,212	1,000		
Na <sup>+</sup>	0,181	0,125	-0,143	0,185	-0,223	-0,366	0,329	0,457	0,511	-0,685	1,000	
Dureté	0,904	0,227	-0,253	-0,231	-0,398	-0,725	-0,506	0,003	1,000	-0,208	0,523	1,000

Remarques : La corrélation est significative au seuil de 0,01 (bilatéral) ;  
La corrélation est significative au seuil de 0,05 (bilatéral).

Le tableau 5 relatif aux échantillons d'eaux souterraine du district de Boundji, collectés durant la grande saison sèche de 2021, révèle des corrélations positives significatives. On observe notamment une corrélation positive entre le pH et K<sup>+</sup>.

**Tableau 5.** Matrice de corrélation pour les échantillons d'eaux souterraines dans le district de Boundji campagne grande saison sèche 2021

	pH	T°c	TDS	Ce	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Dureté
pH	1,000											
T°	0,392	1,000										
TDS	-0,458	-0,307	1,000									
Ce	-0,448	-0,321	0,999	1,000								
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,052	0,607	-0,152	-0,172	1,000							
Cl <sup>-</sup>	-0,115	0,521	0,221	0,224	0,070	1,000						
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,164	-0,024	-0,362	-0,378	-0,076	-0,318	1,000					

Ca <sup>2+</sup>	-0,367	-0,028	0,208	0,196	0,749	-0,215	-0,314	1,000				
Mg <sup>2+</sup>	-0,348	0,451	0,027	0,006	0,796	0,066	0,107	0,584	1,000			
K <sup>+</sup>	0,584	0,364	-0,038	-0,029	0,453	0,098	-0,637	0,369	0,120	1,000		
Na <sup>+</sup>	0,757	0,334	-0,213	-0,218	0,146	-0,425	-0,088	-0,061	-0,007	0,393	1,000	
Dureté	-0,402	0,226	0,136	0,118	0,867	-0,090	-0,127	0,900	0,880	0,280	-0,040	1

En 2022, le tableau 6 indique pour Oyo une corrélation positive significative entre le pH et plusieurs ions (TDS, CE, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>), renforçant l'idée d'une interdépendance chimique entre ces paramètres (Kumar, 2014).

**Tableau 6.** Matrice de corrélation pour les échantillons d'eaux souterraines dans le district d'Oyo campagne grande saison sèche 2022

	pH	T°c	TDS	Ce	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Dureté
pH	1,000											
T°c	0,392	1,000										
TDS	-0,458	-0,307	1,000									
Ce	-0,448	-0,321	0,999	1,000								
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,052	0,607	-0,152	-0,172	1,000							
Cl <sup>-</sup>	-0,115	0,521	0,221	0,224	0,070	1,000						
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,164	-0,024	-0,362	-0,378	-0,076	-0,318	1,000					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,367	-0,028	0,208	0,196	0,749	-0,215	-0,314	1,000				
Ca <sup>2+</sup>	-0,348	0,451	0,027	0,006	0,796	0,066	0,107	0,584	1,000			
Mg <sup>2+</sup>	0,584	0,364	-0,038	-0,029	0,453	0,098	-0,637	0,369	0,120	1,000		
K <sup>+</sup>	0,757	0,334	-0,213	-0,218	0,146	-0,425	-0,088	-0,061	-0,007	0,393	1,000	
Dureté	-0,402	0,226	0,136	0,118	0,867	-0,090	-0,127	0,900	0,880	0,280	-0,040	1

Le tableau 7 révèle des corrélations similaires pour Tchikapika, incluant le pH et le TDS.

**Tableau 7.** Matrice de corrélation pour les échantillons d'eaux souterraines dans le district de Tchikapika campagne grande saison sèche 2022

	pH	T°c	TDS	Ce	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Dureté
pH	1,000											
T°c	0,732	1,000										
TDS	0,983	0,785	1,000									
Ce	0,983	0,785	1,000	1,000								
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,985	0,789	1,000	1,000	1,000							
Cl <sup>-</sup>	0,983	0,785	1,000	1,000	1,000	1,000						
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,678	0,408	0,662	0,662	0,662	0,662	1,000					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,327	0,022	0,275	0,275	0,272	0,275	-0,111	1,000				
Ca <sup>2+</sup>	0,983	0,785	1,000	1,000	1,000	1,000	0,662	0,275	1,000			
Mg <sup>2+</sup>	0,983	0,785	1,000	1,000	1,000	1,000	0,662	0,276	1,000	1,000		
K <sup>+</sup>	0,983	0,785	1,000	1,000	1,000	1,000	0,662	0,275	1,000	1,000	1,000	
Dureté	0,983	0,785	1,000	1,000	1,000	1,000	0,662	0,275	1,000	1,000	1,000	1,000

Le tableau 8 pour Boundji confirme des relations positives entre pH et autres ions au niveau de 1 %.

**Tableau 8.** Matrice de corrélation pour les échantillons d'eaux souterraines dans le district de Boundji, campagne grande saison sèche 2022

	pH	T°c	TDS	Ce	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Dureté
pH	1											
T°c	-0,023	1,000										
TDS	0,852	-0,017	1,000									
Ce	0,852	-0,016	1,000	1,000								
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,902	-0,066	0,977	0,977	1,000							
Cl <sup>-</sup>	0,852	-0,017	1,000	1,000	0,977	1,000						
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,136	-0,107	0,135	0,135	0,012	0,136	1,000					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,123	0,303	0,108	0,108	-0,101	0,108	0,654	1,000				
Ca <sup>2+</sup>	0,852	-0,016	1,000	1,000	0,977	1,000	0,135	0,108	1,000			
Mg <sup>2+</sup>	0,852	-0,017	1,000	1,000	0,977	1,000	0,135	0,108	1,000	1,000		
K <sup>+</sup>	0,852	-0,016	1,000	1,000	0,976	1,000	0,136	0,108	1,000	1,000	1,000	
Dureté	0,852	-0,016	1,000	1,000	0,977	1,000	0,136	0,108	1,000	1,000	1,000	1,000

En résumé, les corrélations entre les paramètres des eaux souterraines sont similaires dans les trois districts. On note une corrélation entre les ions PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> à Oyo et Boundji, laquelle est absente à Tchikapika. Aucune corrélation positive n'a été observée entre le PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et les autres paramètres à chikapika.

### ***Faciès hydrochimiques des eaux souterraines***

Pour caractériser la composition chimique des eaux souterraines dans les districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji, les analyses chimiques sont présentées à l'aide de deux types de diagrammes : le diagramme triangulaire de Piper et des diagrammes binaires, tel que celui de Chadha. Ces diagrammes permettent de déterminer les différents faciès hydrochimiques des eaux souterraines de la région.

### **Diagramme de Piper**

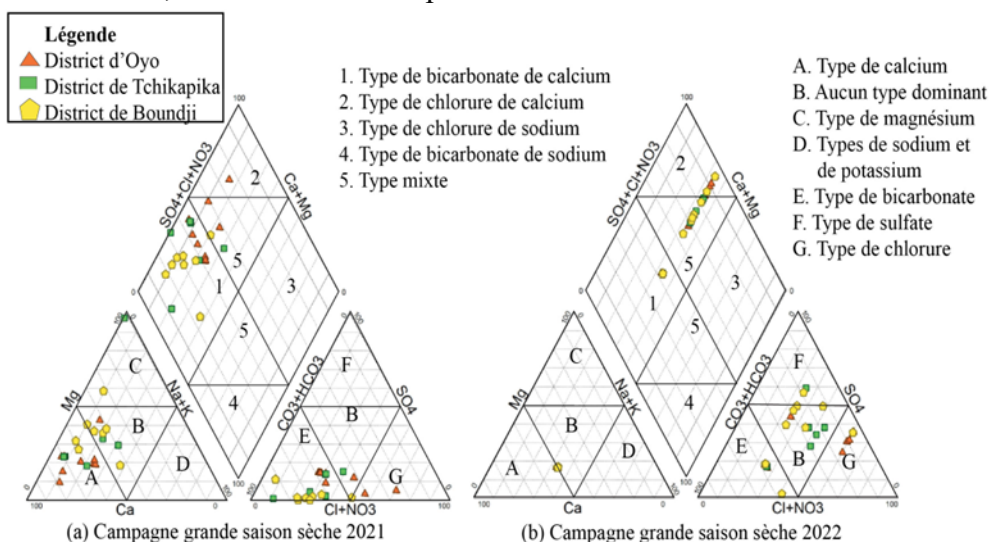
L'hydrochimie des eaux souterraines des districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji a été analysée pendant la grande saison sèche de 2021 et 2022, en utilisant le diagramme trilineaire de Piper (Figure 4a, b) pour visualiser les concentrations d'ions (Akil et al., 2014). En 2021, 75 % des échantillons étaient de type bicarbonate de calcium (Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), tandis que 10 % étaient chlorurés. 70 % des 26 échantillons se situaient dans la zone 1. Ces eaux, généralement peu minéralisées, résultent de la dissolution de minéraux carbonatés, les bicarbonates provenant probablement de l'altération de roches silicatées (Adams et al., 2001 ; Bouteldjaoui & Taupin, 2023 ; Mgbenu & Egbueri, 2019).

En 2022, parmi les 36 échantillons analysés, 28 % étaient de type mixte (Ca-Mg-Cl), 13 % chlorure de calcium, et les types bicarbonate et chlorure n'étaient pas dominants (respectivement 17 % et 14 %). L'hydrochimie n'affichait pas de type dominant ; les faciès mixtes pouvaient être influencés



par des échanges d'ions inverses, la dissolution de minéraux évaporitiques et une contamination anthropique (Bouteldjaoui & Taupin, 2023). Les eaux chlorurées et sulfatées, généralement plus minéralisées, résultent souvent de l'infiltration et de la dissolution des roches argileuses.

L'analyse des eaux souterraines des districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji en 2021 montre deux faciès chimiques : bicarbonaté calcique et chloruré calcique, avec des pics pour le calcium, les chlorures et les bicarbonates. Les échantillons CG-19 et CG-09 affichent les valeurs les plus élevées, tandis que les sulfates sont faibles à Boundji (CG-28, CG-33). En 2022, les faciès sont bicarbonaté calcique et bicarbonaté sodi-potassique, avec des pics pour le calcium, le sodium-potassium et les bicarbonates. Boundji (CG-36) et Oyo (CG-12) ont les valeurs les plus élevées, et les sulfates sont les plus faibles (CG-34, CG-25). La minéralisation est dominée par les bicarbonates, calcium et sodium-potassium.



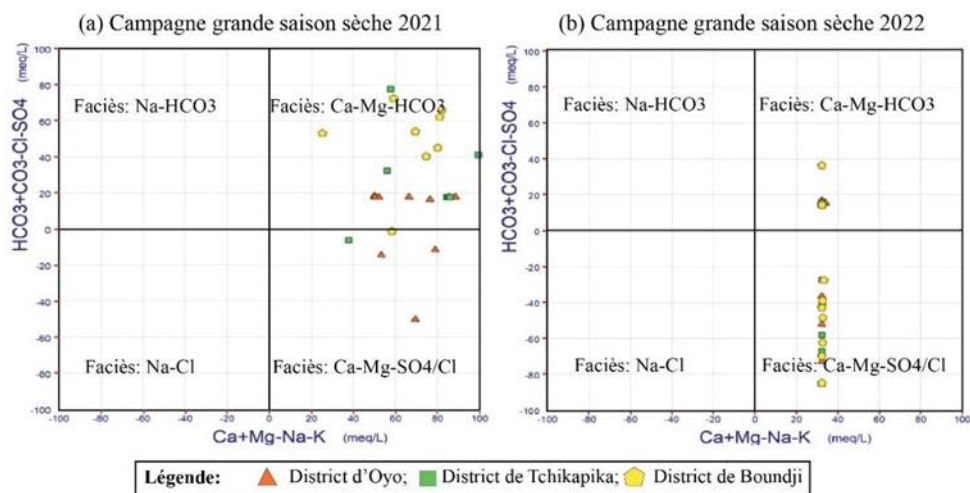
**Figure 4.** Répartition des faciès chimiques des eaux souterraines du bassin de l'Alima, sous bassin de la Cuvette congolaise

## Diagramme de Chadha

Les échantillons d'eaux souterraines des districts de la zone d'étude, collectés lors des grandes saisons sèches de 2021 et 2022, ont été analysés à l'aide du diagramme de Chadha (Figure 5a, b) afin d'étudier les processus hydrochimiques, incluant l'échange de cations, la pollution par le ciment, et d'autres problèmes hydrochimiques (Chadha, 1999). Les résultats montrent qu'en 2021, 78 % des échantillons présentent un faciès bicarbonaté calcique et magnésien ( $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ ), tandis que 22 % affichent un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien ( $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ ).



Les analyses des eaux souterraines des districts de la zone d'étude pour la grande saison sèche 2022 (Figure 6b) révèlent que 26 % des échantillons appartiennent au type bicarbonaté calcique et magnésien ( $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ ) et 74 % au faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien ( $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ ). Le groupe bicarbonaté calcique et magnésien ( $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ ) représente les eaux de recharge, tandis que le groupe chloruré et sulfaté calcique et magnésien ( $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ ) indique des eaux avec excès en Ca-Mg-Cl, ayant subi un échange ionique inverse (Murhula et al, 2019). Ces résultats suggèrent que l'aquifère est alimenté par les eaux de pluie, dont la durée de séjour dans la formation favorise l'interaction eau-roche (altération chimique) (Murhula et al, 2019). Les deux groupes montrent un excès de métaux alcalino-terreux ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) par rapport aux alcalins ( $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ), mais le groupe  $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  présente un léger déficit en anions faibles ( $\text{HCO}_3^-$ ) comparé aux anions forts ( $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ) (Murhula et al., 2019).



**Figure 5.** Diagramme de Chadha montrant le positionnement des différents échantillons d'eaux souterraines

### ***Origines des ions majeurs et processus de minéralisation***

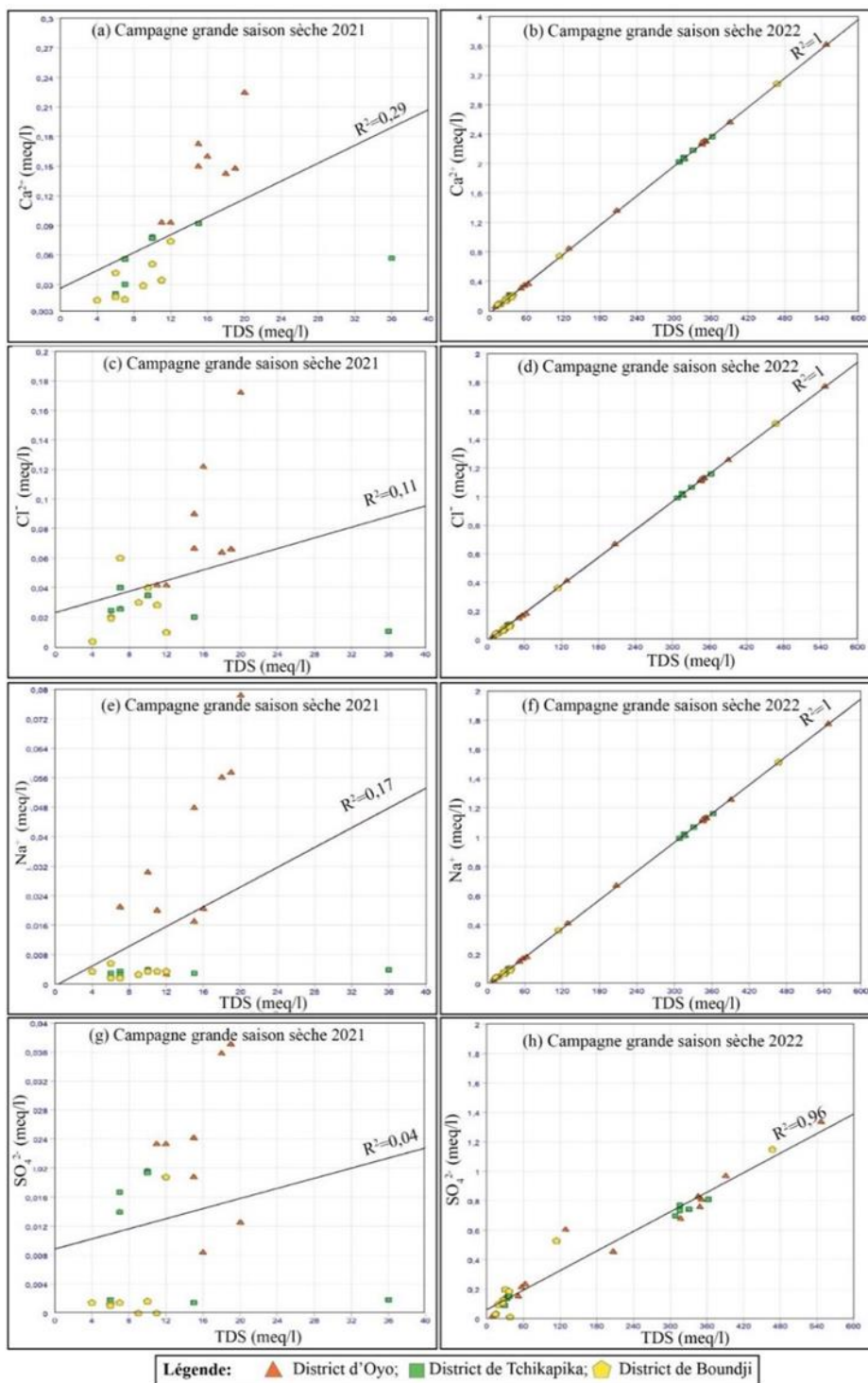
Plusieurs chercheurs ont utilisé divers types de diagrammes bivariés pour identifier les processus hydrochimiques contrôlant la chimie des eaux souterraine. Ces processus sont influencés par de nombreux facteurs, notamment la composition chimique de l'eau de recharge, la nature des minéraux, l'interaction eau-roche, la dissolution/précipitation des phases minérales, l'échange d'ions, l'absorption et la désorption, l'évaporation, les processus de mélange et activités humaines (Ansari & Umar, 2019; Brindha et al., 2017; Husain et al., 2020; Li et al., 2018; Lyu et al., 2019; Roy et al., 2020).

## **Diagrammes binaires de corrélations entre les éléments chimiques majeurs**

La Figure 6 illustre les corrélations entre les éléments chimiques majeurs des eaux souterraines, offrant un aperçu de la salinité pour une gestion efficace de la qualité de l'eau. Pendant la grande saison sèche de 2021 (Figure 6a, c, e, g), une faible corrélation a été notée entre le TDS et les ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ , due à leurs origines différentes. En revanche, en 2022 (Figure 6b, d, f, h), une forte corrélation positive a été observée entre le TDS et ces mêmes ions, indiquant leur importance dans la chimie des eaux souterraines (Mondal et al, 2011). Notamment, une corrélation élevée ( $R^2 > 0,9$ ) entre le TDS et les ions  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Na}^+$  révèle leur rôle de contrôle dans la chimie des eaux souterraines de certains puits de la zone d'étude.

## **Diagramme de Gibbs**

Le diagramme de Gibbs (1970) est largement utilisé pour analyser les sources influençant la chimie des eaux souterraines (Khan & Jhariya, 2018). Il relie l'élément eau et les caractéristiques lithologiques de l'aquifère, notamment les précipitations, l'interaction roche-eau et l'évaporation (Krishna Kumar et al., 2015 ; Selvakumar et al., 2017). Ce diagramme représente les cations et anions en fonction du solide total dissous (TDS), avec des rapports spécifiques comme  $[(\text{Na}^+)/(\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})]$  et  $[\text{Cl}^-/(\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)]$ . Les campagnes de grande saison sèche en 2021 et 2022 (Figure 7) montrent que la majorité des échantillons révèlent une dominance de l'interaction précipitation-eau, indiquant que la précipitation est une source majeure de composants chimiques dans les eaux souterraines des districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji.



**Figure 6.** Diagramme binaire de corrélations entre les éléments chimiques majeurs des eaux souterraines

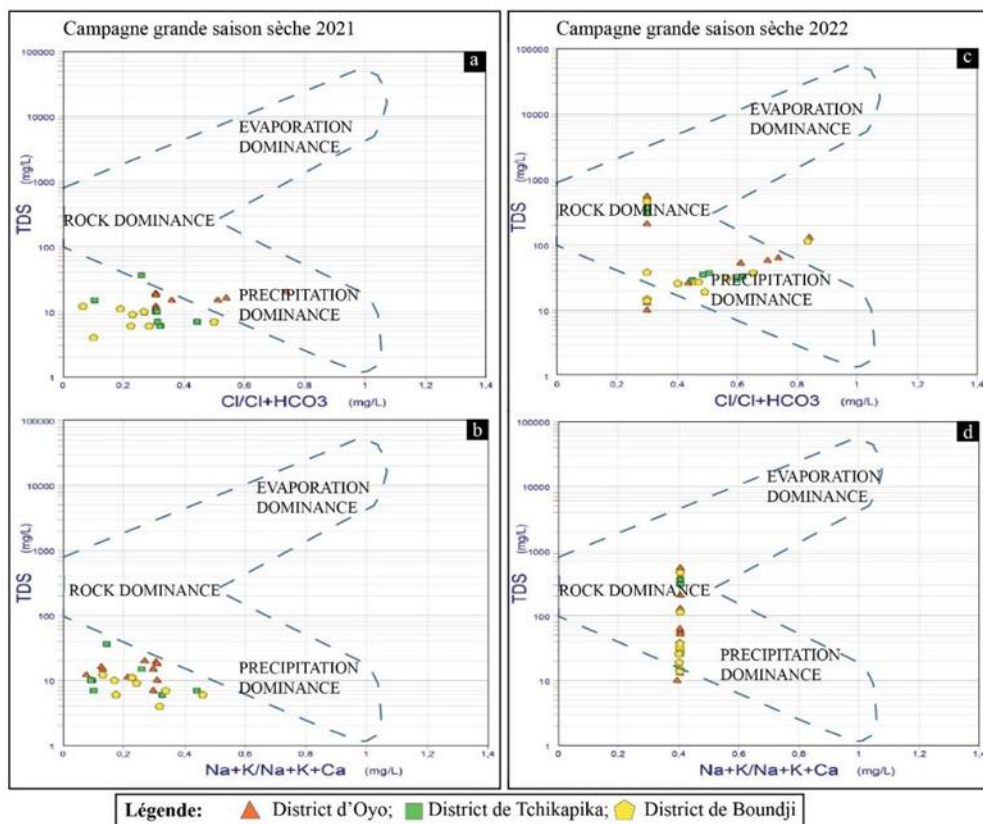


Figure 7. Mécanisme contrôlant la chimie des eaux souterraines

### Relation des rapports d'ions majeurs

Le diagramme bivarié  $Na^+$  versus  $Cl^-$  (Figure 8a, b) a été utilisé pour analyser la chimie de l'eau dans les districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji pendant les grandes saisons sèches de 2021 et 2022. En 2021, tous les échantillons se situaient en dessous du rapport 1 :1, cela indique que la dissolution de l'halite contrôle la chimie de l'eau, avec un excès de  $Cl^-$  provenant de la dissolution des sels minéraux ou des réactions d'échange de cations (Appelo & Postma, 1996 ; Sajil Kumar et al., 2020 ; Bouteldjaoui & Taupin, 2023). En 2022, la majorité des échantillons se trouvaient près de ce rapport. Ceci suggère que la dissolution des halites ou des minéraux évaporitiques a contribué à la présence de  $Na^+$  et  $Cl^-$  (Bouteldjaoui & Taupin, 2023 ; Souleymane et al., 2020).

Pour le graphique  $HCO_3^-$  versus  $Ca^{2+}+Mg^{2+}$  (Figure 8c, d), en 2021, les échantillons d'Oyo ont montré une contribution de  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  par dissolution de dolomite, tandis que ceux de Boundji et Tchikapika étaient moins marqués.

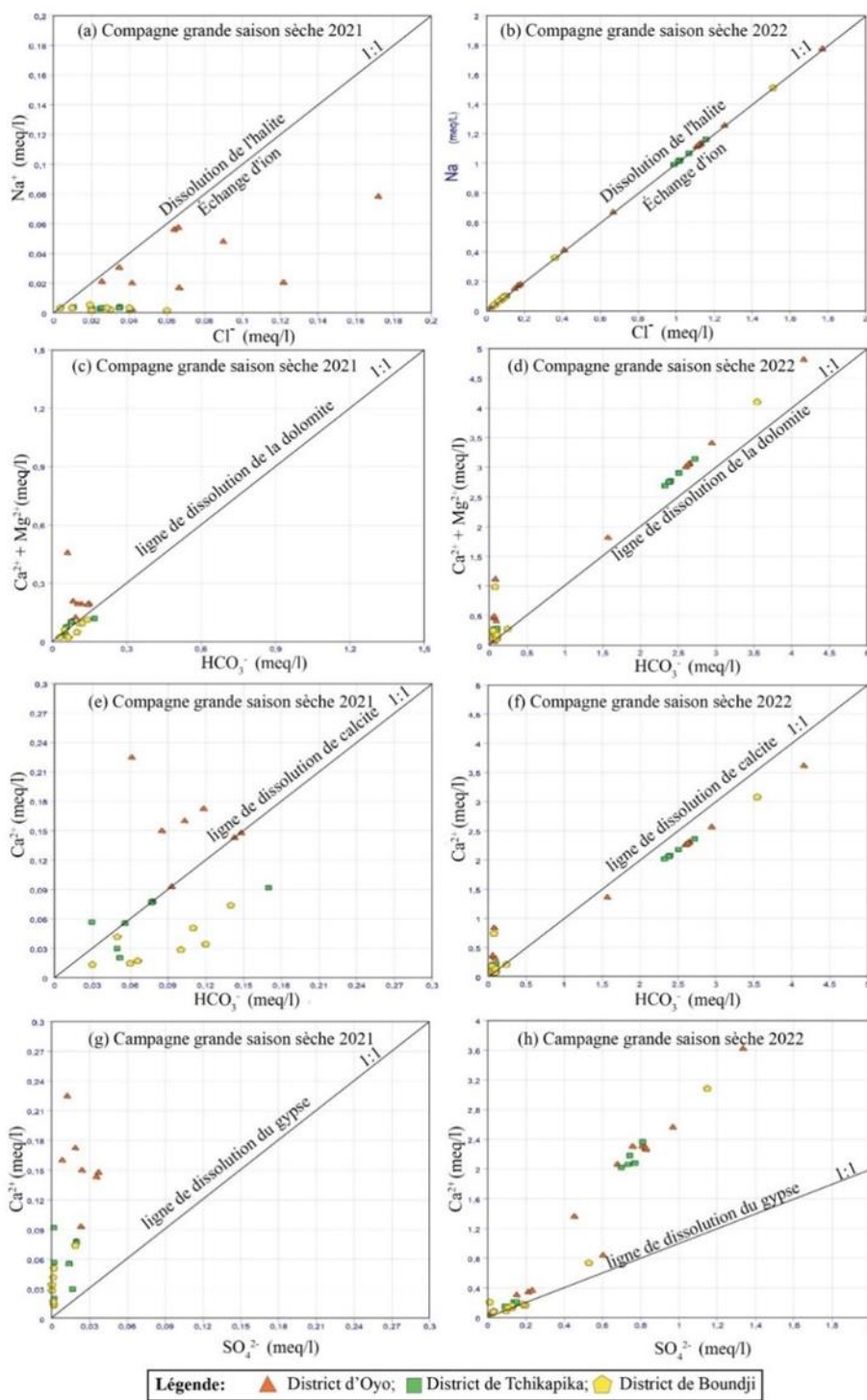


Figure 8. Diagramme binaire pour les différents échantillons d'eaux souterraines

En 2022, Oyo et Tchikapika montraient une moindre contribution de ces ions par dolomite, alors que Boundji était proche de l'équilibre, ce qui suggérait une dissolution des carbonates.

Concernant  $\text{HCO}_3^-$  versus  $\text{Ca}^{2+}$  (Figure 8e, f) en 2021, les échantillons d'Oyo indiquaient une dissolution de calcite, tandis que ceux de Tchikapika et Boundji étaient en dessous de la ligne d'équilibre, montrant une faible contribution en  $\text{HCO}_3^-$ . Durant la saison sèche de 2022, la majorité des échantillons étaient proches de l'équilibre, ce qui indiquait que  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Ca}^{2+}$  provenaient de la dissolution de calcite.

La relation  $\text{Ca}^{2+}$  versus  $\text{SO}_4^{2-}$  (Figure 8g, h) montre qu'en 2021, les échantillons étaient au-dessus de l'équilibre, ce qui suggérait d'autres sources de  $\text{Ca}^{2+}$ , comme la dissolution de minéraux carbonatés. Au cours de l'année 2022, les échantillons d'Oyo et Tchikapika étaient également au-dessus de l'équilibre, ce qui indiquait une faible contribution du  $\text{Ca}^{2+}$  par dissolution du gypse, tandis que ceux de Boundji étaient près de l'équilibre, ce qui suggérait que la dissolution du gypse pouvait contribuer à ces ions (Chen et al, 2021 ; Sajil Kumar et al, 2020).

### ***Qualité des eaux souterraines à l'irrigation***

La qualité des eaux à l'irrigation est définie par plusieurs méthodes basées, d'une part, sur le pourcentage de sodium (%Na) versus la conductivité (diagramme de Wilcox, Figure 9a, c) et, d'autre part, sur le taux d'adsorption de sodium (SAR) versus conductivité (diagramme USSL, Figure 9b, d).

### **Pourcentage de sodium**

La qualité de l'eau pour l'irrigation dépend de sa minéralisation et de ses effets sur les plantes et le sol (Ravikumar et al., 2011). Le pourcentage de sodium dans l'eau souterraine est crucial pour évaluer son aptitude à l'irrigation (Sajil Kumar et al., 2014). Selon le diagramme de Wilcox (1948), les échantillons des saisons sèches de 2021 et 2022 se situent dans le champ excellent pour l'irrigation.

### **Taux d'adsorption de sodium (SAR)**

Le taux d'adsorption de sodium (SAR), qui rapporte le sodium au calcium et au magnésium, indique le risque lié au sodium (Wilcox et al., 1954). Une concentration élevée de Na est toxique pour les cultures et dégrade la structure du sol (Sajil Kumar et al., 2014). Le SAR dans les districts d'Oyo, Tchikapika et Boundji varie respectivement de 0,011–0,183 et 0,14–1,143 pour 2021 et 2022. Les résultats, illustrés dans un diagramme USSL (U.S Salinity Laboratory Staff, 1954), montrent que les échantillons de 2021 sont dans la zone Faible\_Faible1, ce qui indique une faible salinité et un risque minimum de sodium échangeable, tandis que ceux de 2022 se situent dans la



zone Faible-Moyenne\_Faible1, ce qui suggère une salinité moyenne avec un faible risque pour l'irrigation (Vasanthavigar et al., 2012).

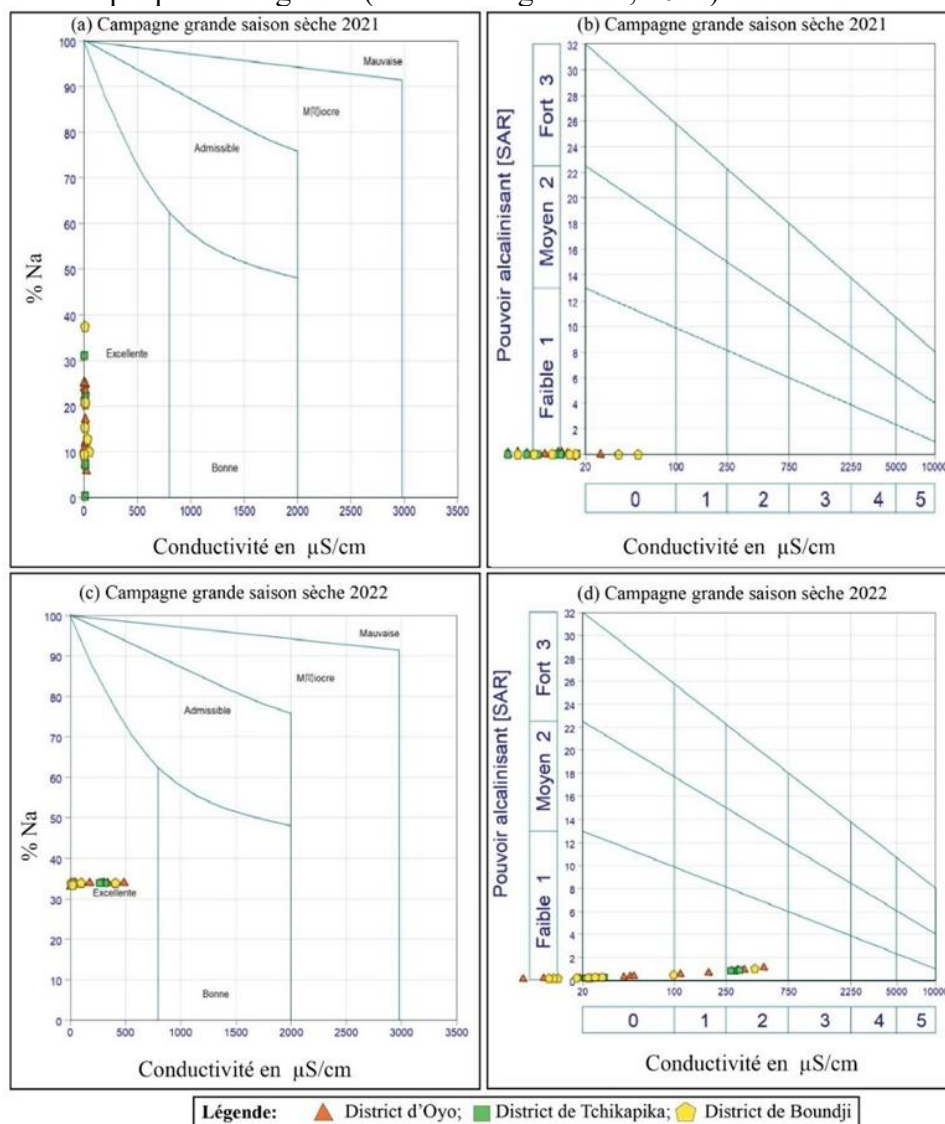


Figure 9. Diagramme de Wilcox et Riverside pour les eaux souterraines

## Conclusion

Cette étude a examiné l'évolution des paramètres hydrogéochimiques des eaux souterraines d'Oyo, Tchikapika et Boundji durant la grande saison sèche de 2021 et 2022. L'objectif était d'analyser leur qualité pour la consommation et l'irrigation. Les résultats relèvent que les eaux respectent globalement les normes de l'OMS, bien que des différences notables aient été observées entre les deux années. En 2021, les faciès prédominants étaient

bicarbonaté calcique et magnésien, alors qu'en 2022, ils étaient chlorurés et sulfatés calcique et magnésien. L'acidité de l'eau, combinée à des températures élevées et une faible minéralisation, présente des risques potentiels de corrosion pour les infrastructures et de prolifération microbienne. Une surveillance continue est donc nécessaire. Les éléments chimiques dominants, tels que le  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$ , proviennent de l'hydrolyse des silicates et des sels minéraux. Selon le diagramme de Wilcox, l'eau est jugée excellente à bonne pour l'irrigation, étant conforme aux critères de pourcentage de sodium (%Na) et de rapport d'adsorption du sodium (SAR) du diagramme USSL. Bien que la conformité chimique limite l'impact direct sur la santé publique, une gestion rigoureuse de l'eau doit inclure des analyses microbiologiques régulières afin de garantir la potabilité et la santé des populations.

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

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

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

## References:

1. Adams, S., Titus, R., Pietersen, K., Tredoux G., & Harris, C. (2001). Hydrochemical characteristics of aquifers near Sutherland in the Western Karoo, South Africa: *Journal of hydrology*, Vol. 241, Issues 1-2, pp. 91-103.
2. Akil, A., Hassan, T., Lahcen, B., & Abderrahim, L. (2014). Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc: *European Scientific Journal*, Vol. 10, Issues 23.
3. Ambarref, M., Saadia, A., Bernoussi, A., & Haddouchi, B. (2007). Mapping vulnerability to groundwater pollution: application to the Gharb plain (Morocco): *Rev Sci Eau*, Vol. 20, Issues 2, pp. 185-199.
4. Ansari, J. A., Umar, R. (2019). Evaluation of hydrogeochemical characteristics and groundwater quality in the quaternary aquifers of Unnao District, Uttar Pradesh, India: *HydroResearch*, Vol. 1, pp. 36-47.
5. Appelo, C., & Postma D. (1996). *Geochemistry, groundwater and pollution* (3rd corrected print): Balkema, Rotterdam, Vol. 536.
6. Bocquier, G (1960). Note concernant les travaux pédologiques dans la cuvette congolaise, République du Congo.



7. Bouteldjaoui, F., & Taupin JD. (2023). Assessment of some bottled natural mineral waters and spring waters in Algeria using multivariate statistical analysis, hydrogeochemical approaches and water quality index (WQI): International Journal of Environmental Analytical Chemistry, pp. 1-25.
8. BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) (1982). Notice explicative de la carte de planification des ressources en eau du Gabon et du Congo, Serie hydrogéologie de Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH), 116pp, Ouagadougou. Burkinafasso.
9. Brindha, K., Pavelic, P., Sotoukee, T., Douangsavanh, S., & Elango L. (2017). Geochemical characteristics and groundwater quality in the Vientiane plain, Laos: Exposure and Health, Vol. 9, Issues. 2, pp. 89-104.
10. Chadha, D (1999). A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data: Hydrogeology journal, v. 7, p. 431-439.
11. Chen, W., Zhang, Y., Shi, W., Cui, Y., Zhang, Q., Shi, Y., & Liang, Z. (2021). Analysis of Hydrogeochemical Characteristics and Origins of Chromium Contamination in Groundwater at a Site in Xinxiang City, Henan Province: Applied Sciences, Vol. 11, Issues. 24, pp. 11683.
12. Ganiyu, S., Badmus, B., Olurin, O., & Ojekunle Z. (2018). Evaluation of seasonal variation of water quality using multivariate statistical analysis and irrigation parameter indices in Ajakanga area, Ibadan, Nigeria: Applied water science, Vol. 8, pp. 1-15.
13. Gibbs, RJ (1970). Mechanisms controlling world water chemistry: Science, Vol. 170, Issues. 3962, pp. 1088-1090.
14. Goula, BTA., Savane, I., Konan, B., Fadika V., & Kouadio GB. (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide): VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement, Vol. 7, Issues. 1.
15. Husain, MS., Umar, R., & Ahmad S. (2020). A comparative study of springs and groundwater chemistry of Beas and Parbati valley, Kullu District, Himachal Pradesh, India: HydroResearch, Vol. 3, pp. 32-47.
16. INS (Institut National de la Statistique), (2020). Annuaire statistique du departement de la Cuvette 2018.
17. Itoua, TR., Mahoungou, GI., Maloba-Makanga, JD., Maniaka, FW., Samba-Kimbata, MJ. (2017). Evolution Decennale Des Regimes Pluviometriques Au Nord-Congo (République du Congo) de 1932 à 2011. Revues-ufhb-ci.org.
18. Jain, C., Bandyopadhyay, A., & Bhadra A. (2010). Assessment of ground water quality for drinking purpose, District Nainital,

- Uttarakhand, India: Environmental monitoring and assessment, Vol. 166, pp. 663-676.
19. Khan, R., & Jhariya D. (2018). Hydrogeochemistry and groundwater quality assessment for drinking and irrigation purpose of Raipur City, Chhattisgarh: Journal of the Geological Society of India, Vol. 91, pp. 475-482.
  20. Krishna Kumar, S., Logeshkumaran, A., Magesh, N., Godson, PS., & Chandrasekar N. (2015). Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India: Applied Water Science, Vol. 5, pp. 335-343.
  21. Kumar, L., Deitch, MJ., Tunio, IA., Kumar A., Memon SA., Williams L., Tagar U., Kumari R., & Basheer S. (2022). Assessment of physicochemical parameters in groundwater quality of desert area (Tharparkar) of Pakistan: Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, Vol. 6, pp. 100232.
  22. Kumar, PS (2014). Evolution of groundwater chemistry in and around Vaniyambadi industrial area: differentiating the natural and anthropogenic sources of contamination: Geochemistry, Vol. 74, Issues 4, pp. 641-651.
  23. Laraque, A., & Olivry, J. (1998). Two hydrological systems close but opposite of the Congo-Zaire: the Congolese basin and Teke plateaux, in Proceedings International Conference on tropical climatology, meteorology and hydrology in memoriam Franz Bultot, Bruxelles (Belgium), pp. 22-24 May 1996, 1998, Royal Meteorological Institute of Belgium; Royal Academy of Overseas Sciences.
  24. Li, P., Wu, J., Tian, R., He, S., He X., Xue, C., & Zhang K. (2018). Geochemistry, hydraulic connectivity and quality appraisal of multilayered groundwater in the Hongdunzi Coal Mine, Northwest China: Mine Water and the Environment, Vol. 37, Issues 2, pp. 222-237.
  25. Lyu, M., Pang, Z., Yin, L., Zhang, J., Huang, T., Yang, S., Li Z., Wang, X., & Gulbostan, T. (2019). The control of groundwater flow systems and geochemical processes on groundwater chemistry: a case study in Wushenzhao Basin, NW China: Water, Vol. 11, Issues. 4, pp. 790.
  26. Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Van Clooster, M. (2011). Contribution a l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental): LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN. , Issues 9, pp. 2521-9782.
  27. Mgbenu, CN., & Egbueri J.C. (2019). The hydrogeochemical signatures, quality indices and health risk assessment of water

- resources in Umunya district, southeast Nigeria: Applied water science, Vol. 9, Issues 1, p. 22.
28. Mondal, N., Singh, V., Saxena, V., & Singh, V. (2011). Assessment of seawater impact using major hydrochemical ions: a case study from Sadras, Tamilnadu, India: Environmental monitoring and assessment, Vol. 177, pp. 315-335.
29. Murhula, EM., Kutangila, SM., Birhenjira, EM., & Muyisa, SK. (2019). Hydrogéochimie et susceptibilité à la contamination des eaux souterraines dans le secteur de Panzi, ville de Bukavu, RD Congo: Geo-Eco-Trop, Vol. 43, Issues 1, pp. 197-209.
30. Ojekunle, ZO., Adeyemi, AA., Taiwo AM., Ganiyu, SA., & Balogun MA., (2020). Assessment of physicochemical characteristics of groundwater within selected industrial areas in Ogun State, Nigeria: Environmental pollutants and bioavailability, Vol. 32, Issues 1, pp. 100-113.
31. OMS, World Health Organization (W.H.O), (2019). Guidelines for drinking-water quality, Fourth edition. 2011. ISBN 978 92 4 154815 1 [cited 2019 Nov 24]. Available from: <http://www.who.int>.
32. Ravikumar, P., Somashekar, R., & Angami, M. (2011). Hydrochemistry and evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in the Markandeya River basin, Belgaum District, Karnataka State, India: Environmental monitoring and assessment, Vol. 173, pp. 459-487.
33. Roy, A., Keesari, T., Mohokar, H., Pant, D., Sinha, UK., & Mendhekar G. (2020). Geochemical evolution of groundwater in hard-rock aquifers of South India using statistical and modelling techniques: Hydrological Sciences Journal, Vol. 65, Issues 6, pp. 951-968.
34. Sajil Kumar, P., Delson, PD., & James, E. (2014). Evaluation of groundwater chemistry in Vaniyambadi industrial area with special reference on irrigation utility: National Academy Science Letters, Vol. 37, pp. 493-502.
35. Sajil Kumar, P., Mohanan, AA., & Ekanthalu, VS. (2020). Hydrogeochemical analysis of Groundwater in Thanjavur district, Tamil Nadu; Influences of Geological settings and land use pattern: Geology, Ecology, and Landscapes, Vol. 4, Issues 4, pp. 306-317.
36. Sandao, I., Babaye, MSA., Ousmane, B., & Michelot, JL. (2018). Apports des isotopes naturels de l'eau à la caractérisation des mécanismes de recharge des aquifères du bassin de la Korama, Région de Zinder, Niger: International Journal of Biological and Chemical Sciences, Vol. 12, Issues 4, pp. 1931-1954.
37. Sawyer, C., & McCarthy, P. (1967). Chemical and sanitary engineering, McGraw-Hill, New York.

38. Selvakumar S., Chandrasekar N., Kumar G. (2017). Hydrogeochemical characteristics and groundwater contamination in the rapid urban development areas of Coimbatore, India: Water Resources and Industry, Vol. 17, pp. 26-33.
39. Sethy, SN., Syed, TH., Kumar, A., & Sinha, D. (2016). Hydrogeochemical characterization and quality assessment of groundwater in parts of Southern Gangetic Plain: Environmental Earth Sciences, Vol. 75, pp. 1-15.
40. Singh, A., Patel, AK., Ramanathan, A., & Kumar M. (2020). Climatic influences on arsenic health risk in the metamorphic precambrian deposits of Sri Lanka: a re-analysis-based critical review: Journal of Climate Change, Vol. 6, Issues 1, pp. 15-24.
41. Souleymane, IMS., Babaye, MSA., Alhassane, I., & Boureima, O. (2020). Caractérisations hydrogéochimiques et qualités des eaux de la nappe phréatique du haut bassin versant de la Korama, commune de Droum/région de Zinder (Niger/Afrique de l'Ouest): International Journal of Biological and Chemical Sciences, Vol. 14, Issues 5, pp. 1862-1877.
42. U.S Salinity Laboratory Staff. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture.
43. Subramani, T., Elango, L., & Damodarasamy, S. (2005). Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India: Environmental Geology, Vol. 47, pp. 1099-1110.
44. Thierrin, J., Steffen, P., Cornaz, S., Vuataz, F.-D., Balderer, W., & Looser, M. (2003). Echantillonnage des eaux souterraines: Guide pratique: Publications de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), pp. 1-83.
45. Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., & Prasanna, M. (2012). Evaluation of groundwater suitability for domestic, irrigational, and industrial purposes: a case study from Thirumanimuttar river basin, Tamilnadu, India: Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 184, pp. 405-420.
46. Wilcox, L., Blair, GY., & Bower, C. (1954). Effect of bicarbonate on suitability of water for irrigation: Soil Science, Vol. 77, Issues 4, pp. 259-266.
47. Wilcox, LV. (1948). The quality of water for irrigation use.

## **Injections du plasma riche en plaquettes (PRP) dans la gonarthrose : expérience d'un service de médecine interne/rhumatologie en Afrique subsaharienne**

***Adama Bah***

Service de Rhumatologie, Hôpital Ignace Deen de Conakry, FSTS  
Université Gamal Abdel Nasser de Conakry, Guinée

***Cheikh Ahmadou Bamba Diaw***

Service de médecine interne  
Rhumatologie du CHN Dalal Jamm, Dakar, Sénégal

***Julien Djossou***

Service de Rhumatologie  
Centre Hospitalier International de Calavi (CHIC), Bénin

***Cheikh Wane Ndongo***

***Aly Salane***

***Souhaibou Ndongo***  
Service de médecine interne  
Rhumatologie du CHN Dalal Jamm, Dakar, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n18p122](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p122)

Submitted: 05 December 2024

Accepted: 12 June 2025

Published: 30 June 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Bah, A., Diaw, C.A.B., Djossou, J., Ndongo, C.W., Salane, A. & Ndongo S. (2025). *Injections du plasma riche en plaquettes (PRP) dans la gonarthrose : expérience d'un service de médecine interne/rhumatologie en Afrique subsaharienne*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (18), 122. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p122>

### **Résumé**

**Introduction :** Le plasma riche en plaquettes (PRP) se définit comme une fraction plasmatique issue du sang autologue qui possède une concentration en plaquettes au-dessus de la normale. Ces dernières années, le recours aux injections de PRP pour traiter la gonarthrose a considérablement augmenté. L'objectif de cette étude préliminaire et transversale était d'évaluer les résultats du traitement de 11 patients ayant la gonarthrose par des injections de PRP. **Patients et méthode :** Il s'agissait d'une étude transversale descriptive sur une période de 6 mois allant du 1<sup>er</sup> janvier 2023 au 30 juin 2023. Elle portait sur les patients suivis au service de Médecine Interne /

Rhumatologie du CHN Dalal Jamm pour gonarthrose chez qui une injection de PRP était indiquée. **Résultats :** Le nombre de patients recruté était de 11. Huit (8) cas étaient bilatéraux. L'âge moyen des patients était de 53 ans avec des extrêmes de 28 et 80 ans. Le sexe masculin prédominait avec un sex-ratio de 1,2. Les patients hypertendus étaient au nombre de 5 et le diabète était retrouvé 4 fois. La gonarthrose était de siège fémoro-tibial interne (FTI) dans 63% des cas. La gonarthrose évoluait en moyenne depuis 5 ans avec un écart type 1.21. Les patients avaient reçu 1 à 2 injections de PRP. Aucun incident ou accident n'a été noté. Amélioration de la douleur après injection du PRP a été noté sur L'EN moyenne 3.5/10 avec l'écart type de 1.32 versus 7,7/10 avec l'écart type 3.21 avant traitement et 3,5 sur 10. **Conclusion :** Le PRP est une thérapie qui a fortement émergé ces dernières années en raison de sa réussite en améliorant la douleur et fonction articulaire. Ses indications se sont vite étendues au traitement de la pathologie arthrosique, notamment la gonarthrose. Des études plus larges sur les populations permettrons de mieux définir sa place dans la stratégie thérapeutique de la gonarthrose.

---

**Mots-clés:** PRP, Gonarthrose, Afrique Subsaharienne

---

## **Platelet-Rich Plasma (PRP) Injection in Gonarthrosis: Experience of an Internal Medicine/Rheumatology Department in Sub-Saharan Africa**

***Adama Bah***

Service de Rhumatologie, Hôpital Ignace Deen de Conakry, FSTS  
Université Gamal Abdel Nasser de Conakry, Guinée

***Cheikh Ahmadou Bamba Diaw***

Service de médecine interne  
Rhumatologie du CHN Dalal Jamm, Dakar, Sénégal

***Julien Djossou***

Service de Rhumatologie  
Centre Hospitalier International de Calavi (CHIC), Bénin

***Cheikh Wane Ndongo***

***Aly Salane***

***Souhaibou Ndongo***

Service de médecine interne  
Rhumatologie du CHN Dalal Jamm, Dakar, Sénégal

---

### **Abstract**

**Introduction:** Platelet-rich plasma (PRP) is defined as a plasma fraction derived from autologous blood that has an above-normal platelet concentration. In recent years, the use of PRP injections to treat knee osteoarthritis has increased significantly. The objective of this preliminary, cross-sectional study was to evaluate the results of treating 11 patients with knee osteoarthritis with PRP injections. **Patients and Methods:** This was a descriptive cross-sectional study over a 6-month period from January 1, 2023, to June 30, 2023. It included patients treated at the Internal Medicine/Rheumatology Department of the Dalal Jamm CHN for knee osteoarthritis for whom a PRP injection was indicated. **Results:** Eleven patients were recruited. Eight (8) cases were bilateral. The mean age of the patients was 53 years, ranging from 28 to 80 years. The male sex predominated, with a sex ratio of 1.2. Hypertensive patients were present in five cases, and diabetes was present in four cases. Knee osteoarthritis was located in the medial femoro-tibial (MT) region in 63% of cases. The knee osteoarthritis had been progressing for an average of five years. Patients had received one to two PRP injections. No incidents or accidents were noted. With PRP injections, the mean NE decreased from 7.7 to 3.5, and an improvement in function was noted in all patients. **Conclusion:** PRP is a therapy that has emerged strongly in recent years due to its success in



improving pain and joint function. Its indications have quickly expanded to the treatment of osteoarthritis, particularly knee osteoarthritis. Larger population studies will help better define its role in the treatment strategy for knee osteoarthritis.

---

**Keywords:** PRP, Knee osteoarthritis, Sub-Saharan Africa

## **Introduction**

L'arthrose est une affection dégénérative des articulations caractérisée par une dégradation progressive du cartilage associée à une ostéophytose marginale, des remaniements de l'os sous-chondral et une inflammation minime de la membrane synoviale (Lamzalah Y et al, 2017).

La gonarthrose est l'arthrose du genou. L'arthrose est la pathologie articulaire la plus fréquente et représente un enjeu médico-économique majeur compte tenu du handicap croissant qu'elle entraîne et de sa forte prévalence dans la population générale (Idrissi Ouali O et al, 2023).

Actuellement, les thérapeutiques médicamenteuses restent purement symptomatiques, avec comme objectif de diminuer le retentissement fonctionnel et la douleur car aucune d'entre elles n'a réussi à démontrer des effets chondro-protecteurs cliniquement pertinents (Guillemin F et al, 2012). Le plasma riche en plaquettes (PRP) ou platelet-rich plasma se définit comme une fraction plasmatique issue du sang autologue qui possède une concentration en plaquettes au-dessus de la normale (Lamzalah Y et al, 2017). Utilisés initialement en implantologie dentaire, le PRP s'est largement répandu dans plusieurs spécialités, notamment en rhumatologie. Ces dernières années, le recours aux injections de PRP pour traiter l'arthrose, en particulier la gonarthrose, a considérablement augmenté (Zhang W et al, 2010).

Les injections de PRP ont été instaurées dans la gonarthrose au service de Médecine Interne / Rhumatologie du centre hospitalier national (CHN) Dalal Jamm.

L'objectif de cette étude préliminaire était d'évaluer les résultats du traitement de 11 patients ayant la gonarthrose par des injections de PRP.

## **Patients et méthode**

Il s'agissait d'une étude transversale descriptive et analytique sur une période de 6 mois allant du 1er janvier 2023 au 30 juin 2023 menée dans le service de Médecine Interne / Rhumatologie au Centre Hospitalier National Dalal Jamm de Guédiawaye Dakar.

Elle a été réalisée après approbation par le comité éthique de notre université et obtention du consentement écrit éclairé des patients.

Elle concernait tous les patients qui avaient reçu une ou deux injections de PRP pour une gonarthrose.



Ceux qui avaient bénéficié d'une injection de PRP pour une indication autre que la gonarthrose, ceux dont l'évolution n'a pas pu être évaluée, les porteurs de prothèse de genoux, ceux ayant les troubles de l'hémostase et les perdus de vue n'étaient pas inclus.

Le diagnostic de l'arthrose a été établi sur la base d'argument clinique (gonalgie mécanique) et paraclinique à travers les radiographies de genoux qui mettaient en évidence les signes d'arthrose (pincements, ostéophytes, ostéo-condensations et géodes).

La numération formule sanguine a été réalisée chez la majorité des patients (n=8), les plaquettes étaient dans les normes (150000-450000 /mm<sup>3</sup>).

Le PRP était obtenu à partir de 9ml du sang autologue prélevé dans un tube contenant du citrate de sodium dans une bonne condition d'asepsie suivi de la centrifugation dans une centrifugeuse de marque REGENKIT qui fait 1 tour à la vitesse de 1100g pour une durée de 6mn.

Plus de 90% de plaquettes seront récupérés qui expriment leurs efficacités et puretés, 6ml de PRP sont injectés dans chaque genou /séance. Ces injections ont été faites par le médecin rhumatologue ayant la connaissance et la maîtrise qui s'est d'abord bien rassuré de l'absence des contre indications relatives et absolues notamment la fièvre, l'infection, les lésions cutanées, la prise médicamenteuse (aspirine, anticoagulant, AINS, antiagrégant plaquettaire), grossesse ou allergie.

Les points forts de notre étude étaient la confiance, la disponibilité de la centrifugeuse et du personnel compétant pour les malades dans notre service par contre, le manque d'information sur la disponibilité de la centrifugeuse et le niveau économique bas des patients ont été nos limites.

Un questionnaire a été élaboré pour recueillir et analyser les données suivantes :

- **Epidémiologiques** : âge, sexe, indice de masse corporelle(IMC) à travers le poids et la taille, profession, adresse, nationalité, spécialité du référant
- **Cliniques** : douleur, antécédents, terrain, mode de vie, localisation de la gonarthrose, siège de la gonarthrose, durée d'évolution.
- **Paracliniques** : basé sur la classification radiologique de Kellgren et Lawrence (Kellgren JH , Lawrence JS. 1957).
- **Thérapeutiques** : moyens médicamenteux (les antalgiques, les anti-arthrosiques, les infiltrations de dérivés cortisoniques). Le traitement antérieur, nombre de séances de PRP, incidents, accidents.
- **Evolution** : intensité de la douleur évaluée par l'échelle numérique (EN).

Les données ont été collectées à l'aide du logiciel Excel version 16.77.1 puis transférées dans le logiciel Epi info 3.5.4. Pour l'analyse et l'élaboration de tableaux et figures.

## Résultats

Durant la période d'étude, nous avons recruté 11 patients dont l'âge moyen était de 53 ans avec des extrêmes de (28 et 80 ans).

Notre série était composée de 6 hommes (55%) et 5 femmes (45%) soit sex-ratio de 1,2.

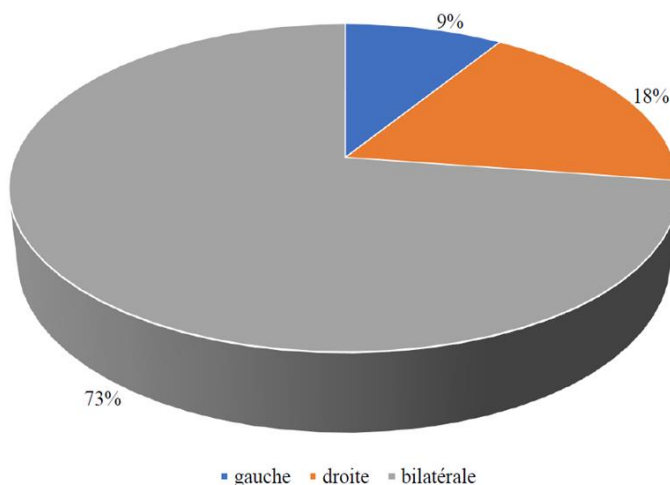
Neufs de nos patients soit 82% étaient obèses, l'IMC moyenne était de 34.69 écart-type 3.45 avec extrêmes de 33.7 et 41.11.

La quasi-totalité des patients étaient de nationalité sénégalaise avec 9 cas sur 11 dont certains ont été adressés par des médecins généralistes et d'autres par les rhumatologues exerçant dans d'autres CHU où la pratique de l'injection du PRP n'est pas aisée.

Tous les patients étaient douloureux (100%), l'hypertension artérielle (HTA) et le diabète étaient les tares les plus retrouvées avec respectivement 5 et 4 cas.

Un cas de dyslipidémie à type d'hypercholestérolémie a été retrouvé. Deux patients étaient tabagiques dont un alcool-tabagique.

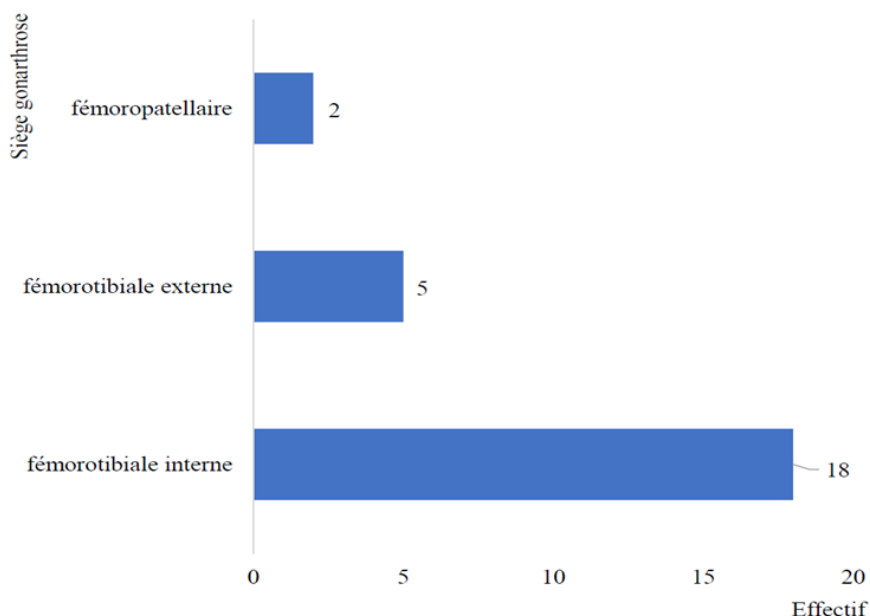
La gonarthrose était bilatérale dans 8 cas (73%) et unilatérale dans 3 cas dont 1 cas (9%) localisé à gauche et 2 cas (18%) localisés à droite (figure 1).



**Figure 1 :** Répartition des patients selon la localisation de la gonarthrose

La durée moyenne d'évolution de la gonarthrose était de 5 ans avec un écart type 1.21.

Elle était de siège fémoro-tibial interne dans 18 cas, fémorotibiale externe 5 cas, fémoropatellaire 2 cas.



**Figure 2 :** Répartition des patients selon le siège de la gonarthrose

Selon la classification radiologique de Kellgren et Lawrence, sept patients étaient au stade 4, trois au stade 3 et un seul au stade 2.

Tous les patients avaient reçu un traitement à base d'antalgiques. Septe (7) patients étaient sous anti arthrosique.

Plus de la majorité des patients avaient bénéficié d'une seule séance de PRP (n=8).

Trois (3) patients avaient reçu une deuxième injection de PRP.

Aucun accident ni incident n'avait été retrouvé dans notre série.

A travers l'échelle numérique(EN), l'intensité de la douleur était améliorée chez neuf (9) ptients après le traitement, deux (2) patients considéraient qu'elle était aussi intense voire plus intense après le traitement.

L'EN moyenne était de 7,7 sur 10 avec l'écart type 3.21 avant traitement et 3,5 sur 10 l'écart type 1.32 après traitement.

Nous avons évalué le score de WOMAC avant et après le traitement chez tous les patients.

Une amélioration du score de WOMAC était notée chez tous les patients.

Avant le traitement, 6 patients avaient un score de WOMAC sévère. Après le traitement, 5 patients avaient un score de WOMAC minime (Tableau 1).

**Tableau 1 : Répartition des patients selon le score de WOMAC**

Score de WOMAC	Avant traitement	Après traitement
Aucune (0)	0	3
Minime (25)	0	5
Modérée (50)	3	3
Sévère (75)	6	0
très sévère(100)	2	0

## Discussion

Notre étude porte sur l'injection de plasma riche en plaquette (PRP) dans la gonarthrose chez 11 patients recrutés selon les critères définis plus haut, elle revêt un intérêt épidémiologique, clinique, paraclinique, thérapeutique et évolutif.

Dans la littérature (Lamzalah et al, 2017), dans leur série de 45 patients, avaient rapporté un âge moyen de 58,13 ans +/- 10 ans. Dans sa série de 21 patients, (Belayachi et al, 2019) a noté un âge moyen de 50,9 ans avec des extrêmes de 44 et 61 ans et 11 de ses patients avaient un âge entre 50 et 59 ans. (Patel et al, 2013) ont relevé un âge moyen de 51,6 ans, sur une série de 25 cas, avec des extrêmes entre 34 et 70 ans.

Dans notre série, l'âge des patients variait entre 28 et 80 ans, avec une moyenne d'âge de 53 ans. Une moyenne d'âge qui rejoint approximativement les données de la littérature.

Dans la série de 48 cas de (Vaquerizo et al, 2013), le sexe féminin prédominait. De même que dans celle de 39 cas de (Gormeli et al, 2017). Dans celle de 22 cas de (Halpren et al, 2013), la prédominance était masculine.

Notre série a noté une prédominance masculine avec un sex-ratio de 1,2. Ce qui pourrait être expliqué par le fait que les hommes seraient plus solvables. (Tableau 2).

**Tableau 2 : Répartition du sexe par rapport à la littérature**

Auteurs	Pays	Effectif	Sexe masculin	Sexe féminin
VAQUERIZO et al. (2013)	Espagne	48	16	32
HALPREN et al. (2013)	États-Unis	22	17	05
GORMELI et al. (2015)	Turquie	39	16	23
SMITH et al. (2016)	États-Unis	15	05	10
LAMZALAH et al. (2016)	Maroc	45	02	43
BELAYACHI (2019)	Maroc	21	08	13
Notre série	Sénégal	11	06	05

La quasi-totalité des patients ont été adressés par des médecins généralistes et d'autres par les rhumatologues exerçants dans d'autres CHU où la pratique de l'injection du PRP n'est pas aisée.

Ce constat pourrait être expliqué par deux faits : La non disponibilité du PRP dans les autres établissements les obligeant à référer ; le manque de

sensibilisation des autres spécialistes sur la disponibilité du PRP dans notre service.

L'HTA, le diabète et la dyslipidémie étaient les tares les plus retrouvés.

Dans la méta-analyse de (Swain et al, 2020) sur 42 cas, l'HTA était retrouvée chez 50% des sujets. Ces résultats sont superposables à ceux de notre série. Chez nos patients ; l'HTA a été notée dans 45,5%.

Quatre de nos patients étaient diabétiques soit 36,3%. Cette fréquence était de 14% dans l'étude de (Swain et al, 2020). Un cas de dyslipidémie a été trouvé dans notre série. Ce résultat est largement inférieur comparé au résultat de la méta-analyse de (Swain et al, 2020), où la fréquence de la dyslipidémie était de 48%. L'étude de ces comorbidités retrouve son intérêt dans l'arthrose métabolique.

Par rapport à la prise en charge thérapeutique, dans notre série, les antalgiques (11 cas sur 11) ; les anti-arthrosiques (7 cas sur 11) et les infiltrations de dérivés cortisoniques (4 cas sur 11) ont été les moyens thérapeutiques les plus utilisés.

Ces choix thérapeutiques sont en accord avec les recommandations de la société française de rhumatologie sur la prise en charge pharmacologique de la gonarthrose.

Dans notre série, 8 patients 11 (73%), présentaient une gonarthrose bilatérale.

Les données de la littérature sont hétérogènes sur ce paramètre. En effet, la gonarthrose était bilatérale dans la série de (Lamzalah et al, 2017), Filardo et (Halpren et al, 2013) avec des pourcentages respectifs de 93,5 ; 20,83 et 05,55 %

La gonarthrose était de siège fémoro-tibial interne dans 12 cas (63%), bicompartimentale dans 5 cas (fémoro-tibiale interne, fémoro-tibiale externe dans 3 cas, fémoro-tibiale interne et fémoropatellaire dans 2 cas), tri compartimentale dans 1 cas.

(Lamzalah et al, 2017), sur une population de 45 patients ; avaient rapporté une gonarthrose chez 33 patients et une gonarthrose bicompartimentale dans 11 cas (9 cas de gonarthrose femero-tibial interne (FTI) / femero tibiale externe (FTE) et 2 cas de gonarthrose femero-tibial interne (FTI) / femero patellaire (FP).

Le nombre de séance varie selon les auteurs. Ce nombre était de 1 à 2 injections dans notre étude.

Ce résultat est superposable aux différents auteurs dont la majorité préconise 3 injections, comme (Smith et al, 2016), (Sanchez et al, 2008) et (Spakova et al, 2012), (tableau 3).

**Tableau 3 : Comparaison du nombre d'injection selon les données de la littérature**

Auteurs	Pays	Nombre d'injections
Wang-saegusa et al. (2010)	Espagne	3
Spakova et al. (2012)	Slovaquie	3
Sanchez et al. (2012)	Espagne	3
Vaquerizo et al. (2013)	Italie	3
Patel et al. (2013)	Inde	2
Duymus et al. (2016)	Turquie	2
Smith et al. (2016)	Etats-Unis	3
Belayachi (2019)	Maroc	1 à 3
Notre série	Sénégal	1 à 2

Par rapport aux accidents et incidents, aucun effet indésirable ni complication majeure n'a été noté chez les différents auteurs à notre connaissance. C'est le cas dans l'étude de (Belayachi et al, 2019).

Les mêmes résultats ont été rapportés par notre série, ceci renforce le profil de sécurité des injections de PRP. En effet du fait de son caractère autologue, le PRP est bien toléré. Cependant il faut insister sur les mesures strictes d'asepsie lors de l'injection.

Concernant l'évolution, notre série rapporte une nette amélioration de l'intensité de la douleur après le traitement par le PRP.

Selon les données de la littérature, le score de WOMAC a été plus utilisé pour l'évaluation de la douleur.

Sur le plan fonctionnel, Une amélioration du score de WOMAC a été noté chez tous les patients de notre série. Cette amélioration est superposable aux résultats des différentes études, notamment celle de (Sanchez et al, 2008) et de (Vaquerizo et al, 2013).

Dans une population de 33 patients, (Duymus et al, 2017) rapporte une diminution de la moyenne de l'index de WOMAC de 27,8%, passant de 76,1 à 54,9. Cette diminution était de 26,7% (N=101) dans l'étude de (Napolitano et al 2012) et de 27,4% (N=153) selon (Wang-Saegusa et al 2011).

## Conclusion

Le PRP est une thérapie qui a fortement émergé ces dernières années en raison de sa réussite en améliorant la douleur et fonction articulaire. Ses indications se sont vite étendues au traitement de la pathologie arthrosique, notamment la gonarthrose.

Des études plus larges sur les populations permettrons, de mieux définir sa place dans la stratégie thérapeutique de la gonarthrose.

**Sincères remerciements :** A tous ceux qui ont participés à la prise en charge des patients d'une manière ou d'une 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.

**Déclaration relative aux participants humains:** Cette étude a été approuvée par le service de médecine interne / rhumatologie Centre Hospitalier National Dalal Jamm, Dakar, Sénégal où elle a été réalisée, après consentement de tous les participants (les 11 cas) et les principes de la déclaration d'Helsinki ont été respectés.

### References:

1. Lamzalah Y, Nassar K, Rachidi W, Janani S, Mkinsi O.  
L'apport du plasma riche en plaquette dans la gonarthrose, étude prospective à propos de 45 cas. *Révue rhumatisme*. 2017; 83 : A 213
2. Idrissi Ouali. O, El Menzouar. I, Maïouak .M, Akasbi. N, Harzy.T.  
Profil épidémiologique et caractéristique de la gonarthrose gériatrique et non gériatrique. *Révue rhumatisme*.2023 ; 90 : A253-A254.
3. Guillemin F, Rat A-C, Roux CH, Fautrel B, Mazieres B, Chevalier X, et al. The KHOALA cohort of knee and hip osteoarthritis in France. *Joint Bone Spine*. 2012;79(6):597-603.
4. Zhang W, Nuki G, Moskowitz RW, Abramson S, Altman RD, Arden NK, et al. OARSI recommendations for the management of hip and knee osteoarthritis: Part III: changes in evidence following systematic cumulative update of research published through January 2009. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2010;18(4):476-499.
5. Belayachi B. L'intérêt du Plasma Riche en Plaquettes (PRP) dans la prise en charge de la gonarthrose : expérience du service de traumatologie orthopédie à l'hôpital militaire Avicenne de Marrakech. *Faculté de médecine et de pharmacie de Marrakech*;
6. Patel S, Dhillon MS, Aggarwal S, Marwaha N, Jain A.  
Treatment with platelet-rich plasma is more effective than placebo for knee osteoarthritis: a prospective, double-blind, randomized trial. *Am J Sports Med*. 2013; 41(2):356-364.
7. Vaquerizo V, Plasencia MÁ, Arribas I, Seijas R, Padilla S, Orive G, et al.  
Comparison of intra-articular injections of plasma rich in growth factors (PRGF-Endoret) versus Durolane hyaluronic acid in the treatment of patients with symptomatic osteoarthritis: a randomized controlled trial. *Arthroscopy*. 2013;29(10):1635-1643.

8. Görmeli G, Görmeli CA, Ataoglu B, Çolak C, Aslantürk O, Ertem K. Multiple PRP injections are more effective than single injections and hyaluronic acid in knees with early osteoarthritis: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(3):958-965.
9. Halpern B, Chaudhury S, Rodeo SA, Hayter C, Bogner E, Potter HG, et al. Clinical and MRI Outcomes After Platelet-Rich Plasma Treatment for Knee Osteoarthritis. 2013;23(3):238-239.
10. Swain S, Sarmanova A, Coupland C, Doherty M, Zhang W. Comorbidities in Osteoarthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. 2020;72(7):991-1000.
11. Smith PA. Intra-articular Autologous Conditioned Plasma Injections Provide Safe and Efficacious Treatment for Knee Osteoarthritis: An FDA-Sanctioned, Randomized, Double-blind, Placebo-controlled Clinical Trial. *Am J Sports Med.* 2016;44(4):884-891
12. Sanchez C, Deberg MA, Bellahcène A, Castronovo V, Msika P et al. Phenotypic characterization of osteoblasts from the sclerotic zones of osteoarthritic subchondral bone. *Arthritis Rheum.* 2008;58(2):442-455.
13. Spaková T, Rosocha J, Lacko M, Harvanová D, Gharaibeh A. Treatment of Knee Joint Osteoarthritis with Autologous Platelet-Rich Plasma in Comparison with Hyaluronic Acid. 2012;91(5):411-417.
14. Duymus TM, Mutlu S, Dernek B, Komur B, Aydogmus S, Kesiktas FN. Choice of intra-articular injection in treatment of knee osteoarthritis: platelet-rich plasma, hyaluronic acid or ozone options. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(2):485-492.
16. Napolitano M, Matera S. Autologous platelet gel for tissue regeneration in degenerative disorders of the knee. 2012 [cité le 22 novembre 2023];  
Disponible sur: <https://doi.org/10.2450/2011.0026-11>.
17. Wang-Saegusa A, Cugat R, Ares O, Seijas R, Cuscó X, Garcia-Balletbó M, Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 1957, 16 : 494-502.



## Connaissances, attitudes et pratiques des professionnels de santé en matière de cancer du col de l'utérus dans la commune de Parakou (Bénin) en 2024

*Achille Awadé Afoukou Obossou*

*Rachidi Imorou Sidi*

*Roger Klipézo*

*Marie-Claire Balle Pognon*

*Samiath Bakari*

*Sedjro Raoul Atade*

*Mahublo Vinadou Vodouhe*

*Koffi Féréra Yehouessi*

*Fanny Maryline Nouessèwa Hounkponou Ahouingnan*

*Kabibou Salifou*

UER en gynécologie Obstétrique, Faculté de Médecine,  
Université de Parakou, Bénin

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n18p134](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p134)

Submitted: 07 May 2025

Accepted: 24 June 2025

Published: 30 June 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Obossou, A.A.A., Imorou Sidi, R., Klipézo, R., Balle Pognon, M.-C., Bakari, S., Atade, S. R., Vodouhe, M. V., Yehouessi, K. F., Hounkponou Ahouingnan, F. M. N., & Salifou, K. (2025). *Connaissances, attitudes et pratiques des professionnels de santé en matière de cancer du col de l'utérus dans la commune de Parakou (Bénin) en 2024*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (18), 134. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p134>

### Résumé

**Introduction :** En Afrique et dans les pays en développement, le cancer du col de l'utérus (CCU) est le cancer le plus diagnostiqué chez les femmes. **Objectifs :** Évaluer le niveau de connaissances, d'attitude et de pratique des professionnels de santé en matière de cancer du col utérin dans la commune de Parakou au Bénin. **Méthodes :** Il s'est agi d'une étude transversale descriptive, à visée analytique avec collecte prospective de données, réalisée sur une période de 09 semaines allant du 1<sup>er</sup> juillet au 05 septembre, impliquant les professionnels de santé de la commune de Parakou. **Résultats :** Au total 116 professionnels de santé avaient participé à l'étude. L'âge moyen était de  $29 \pm 6,62$  ans, avec des extrêmes de 21 à 52 ans.

Parmi eux, 92,17 % (107), connaissaient le HPV comme facteur de risque principal ; 52,17 % (61), ignoraient l'existence des vaccins. Le niveau de connaissance sur le cancer du col de l'utérus était globalement insuffisant (54 enquêtés soit 46,55 %). Quatre-vingt-dix-huit virgule vingt-huit pour cent (98,28 %) soit 114 enquêtés considéraient le cancer du col de l'utérus (CCU) comme une affection grave. Concernant le dépistage, 46,55 % (54) estimaient qu'il était bien organisé et 77,59 % (90), soutenaient un dépistage systématique. Globalement, 51,72 % (60), avaient une attitude juste face au cancer du col. En pratique, 80,17 % (93), sensibilisaient leurs patientes sur les facteurs de risque, et 69 % (80), avaient procédé au dépistage. Parmi eux, 76,25 % (88), utilisaient l'IVA (inspection visuelle après application d'acide acétique) /IVL (inspection visuelle après application de Lugol), 32,50 % (38), le test HPV et 17,50 % (20) le frottis cervico utérin (FCU). Seulement 6,45 % (7), prescrivaient le FCU systématiquement. Au total, 38,79 % (45), avaient une pratique adéquate, et 89,66 % (104), des agents avaient un score CAP global acceptable, influencé par le secteur d'activité (privé), l'absence de formation continue, la catégorie socio-professionnelle infirmier et le sexe masculin. **Conclusion :** Ces résultats soulignent la nécessité de formations médicales continues des professionnels de santé sur le diagnostic et la prise en charge de cette pathologie.

---

**Mots-clés:** Cancer du col de l'utérus -connaissances- attitudes- pratiques, Parakou

---

## **Knowledge, attitudes, and practices of health professionals regarding cervical cancer in the municipality of Parakou (Benin) in 2024**

*Achille Awadé Afoukou Obossou*

*Rachidi Imorou Sidi*

*Roger Klipézo*

*Marie-Claire Balle Pognon*

*Samiath Bakari*

*Sedjro Raoul Atade*

*Mahublo Vinadou Vodouhe*

*Koffi Féréra Yehouessi*

*Fanny Maryline Nouessèwa Hounkponou Ahouingnan*

*Kabibou Salifou*

UER en gynécologie Obstétrique, Faculté de Médecine,  
Université de Parakou, Bénin

---

### **Abstract**

**Introduction:** In Africa and developing countries, cervical cancer is the most commonly diagnosed cancer among women. **Objectives:** To assess the level of knowledge, attitudes, and practices of healthcare professionals regarding cervical cancer in the municipality of Parakou in Bénin. **Methods:** This was a descriptive cross-sectional study, with an analytical aim and prospective data collection, carried out over a period of 9 weeks from July 1 to September 5, involving health professionals in the commune of Parakou. **Results:** A total of 116 health professionals participated in the study. The average age of participants was  $29 \pm 6.62$  years, ranging from 21 to 52 years. 92.17% (107) were aware of HPV as the main risk factor; 52.17% (61) were unaware of the existence of vaccines. Overall knowledge about cervical cancer was inadequate (54 of the surveyed, or 46.55%). 98.28% (114), considered cervical cancer a serious condition. Regarding screening, 46.55% (54) felt it was well organized, and 77.59% (90), supported systematic screening. Overall, 51.72% (60) had an appropriate attitude toward cervical cancer. In practice, 80.17% (93) raised awareness among their patients about risk factors, and 69% had conducted screenings. Among them, 76.25% (88), used VIA (visual inspection after application of acetic acid)/IVL (visual inspection after application of Lugol), 32.50% (38) used the HPV test, and 17.50% (20) used the FCU. Only 6.45% (7), prescribed the Cervical smear systematically. In total, 38.79% (48) had adequate practice, and 89.66% (104) of the healthcare providers had an acceptable overall CAP score, influenced by the sector of

activity, absence of continuing education, socio-professional category, and gender. **Conclusion:** These results highlight the need for ongoing training of healthcare professionals to improve the early diagnosis and management of this condition.

---

**Keywords:** Cervical cancer-knowledge- attitudes- practices, Parakou

## Introduction

Le cancer du col de l'utérus est une néoformation maligne aux dépens des cellules du col de l'utérus. A l'échelle mondiale, le cancer du col de l'utérus (CCU) est classé au 4ème rang, aussi bien en termes d'incidence que de mortalité chez les femmes, après ceux du sein, du côlon-rectum et du poumon (El Fakir et al., 2013). Cette maladie, considérée comme une complication d'une infection sexuellement transmissible, possède un développement insidieux s'étendant sur une période de 10 à 20 ans, permettant ainsi un délai substantiel pour le dépistage précoce. Dans les pays à faibles ressources, le cancer du col de l'utérus est la première cause de décès par cancer chez la femme suivi de celui du sein (Obossou et al., 2021).

Selon les estimations de Globocan en 2018, environ 570 000 nouveaux cas de cancer du col de l'utérus étaient recensés dans le monde, entraînant environ 311 000 décès, soit un taux de mortalité de 54,6 % (Bray et al., 2018). Plus de 85% des décès surviennent dans des pays en développement. C'est un cancer émergent qui est en progression constante en Afrique subsaharienne, avec plus de 75 000 nouveaux cas et 50 000 décès en 2015 (OMS, 2021).

Concernant l'Afrique centrale, plus de 12 000 nouveaux cas avaient été signalés, avec une mortalité atteignant 9 400 cas, ce qui correspond à un taux de 78,3 %. Au Cameroun, ce type de cancer figure en deuxième position en termes de fréquence chez les femmes, avec des incidences de 25,2 % pour le cancer du col et 35,1 % pour le cancer du sein (Bray et al., 2018).

La situation est similaire dans presque tous les pays en développement, où environ 80 % des cas atteignent un stade avancé au moment du diagnostic, réduisant ainsi considérablement les options thérapeutiques disponibles (Belglaia et al., 2019).

Au Bénin la mortalité était de 14,3 pour 100000 habitants pour une incidence de 21,5 pour 100000 habitants (Ministère de la santé Bénin, 2019).

Une étude menée à Parakou en 2017 a révélé que le cancer du col était en première position (54,44%) suivis du cancer du sein (34,44%) (Obossou et al., 2017).

Une étude réalisée au Maroc selon Berraho et al. en 2013 chez des médecins généralistes a mis en évidence un déficit de connaissances crucial ; 81,8 % ignoraient l'incidence de cette pathologie et 92,8 % n'avaient jamais

pratiqué de frottis cervico-utérins, révélant ainsi un gap important dans la formation continue (Berraho et al.,2013).

À Parakou, en 2016, bien que 68,4 % des agents de santé connaissaient les méthodes de dépistage, seulement 40,6 % étaient informés des méthodes thérapeutiques (Obossou et al.,2021).

Le personnel de santé joue un rôle clé dans le cadre de la prévention et du dépistage du cancer du col de l'utérus. Leur position privilégiée au sein du continuum de soins leur permet d'améliorer la sensibilisation, l'information et l'incitation des patientes au dépistage.

C'est dans ce sens que s'inscrit la présente étude dont l'objectif est d'évaluer les Connaissances, Attitudes et Pratiques en matière de cancer du col de l'utérus chez les professionnels de santé de la commune de Parakou en 2024.

## **Materiels et Methodes**

Notre étude a eu pour cadre, les différentes formations sanitaires publiques et privées de la commune de Parakou au Bénin. La ville de Parakou dispose de deux (2) hôpitaux, sept (7) formations sanitaires périphériques publiques et quinze (15) formations privées autorisées disposant de service de maternité. Dans ces hôpitaux, l'ensemble du personnel intervenant dans les activités de consultations prénatales, postnatales, médecine générale, de gynécologie ou de planning familial s'élevait à 154.

Il s'est agi d'une étude transversale descriptive, à visée analytique avec un recrutement exhaustif de tous les professionnels de santé de la commune de Parakou. La collecte des données s'est déroulée du 1er juillet au 05 septembre 2024 soit une période de 09 semaines.

La population d'étude était constituée de l'ensemble des professionnels de santé exerçant dans les formations sanitaires de la ville de Parakou.

Ont été inclus dans cette étude :

- Les professionnels de santé (médecins généralistes, sages-femmes, infirmiers) exerçant dans les maternités des formations sanitaires retenues ;
- Intervenants dans les activités de consultations prénatales, postnatales, médecine générale, de gynécologie ou de planning familial ;
- Présents sur les sites les jours d'enquête.

Étaient exclus de cette étude :

- Les professionnels de santé non consentants
- Les gynécologues, qui sont les experts dans le domaine

Les variables dépendantes de notre étude étaient : le niveau de connaissances, d'attitudes et de pratiques des professionnels de santé maternelle en matière du cancer du col utérin.

En s'inspirant du modèle d'Essi et al. (2013), l'évaluation du niveau de connaissance a été quantifiée. Il était restitué en 4 niveaux (mauvais, insuffisant, moyen et bon).

- Moins de 50% de bonnes réponses = Mauvais
- [50 ; 65]% de bonnes réponses = Insuffisant
- [65 ; 85]% de bonnes réponses = Moyen
- Plus de 85% de bonnes réponses = Bon

Pour ce qui concerne l'attitude, la grille d'analyse a mis l'accent sur 4 critères (juste, approximatif, erroné et néfaste) (modèle Essi).

- Moins de 50% de bonnes réponses = Néfaste
- [50 ; 65]% de bonnes réponses = Erronée
- [65 ; 85]% de bonnes réponses = Approximative
- Plus de 85% de bonnes réponses = Juste

L'analyse de la pratique a été établie en 3 niveaux (néfaste, inadéquat, adéquat), selon le modèle d'Essi et al.

- Moins de 50% de bonnes réponses = néfaste
- [50 ; 85]% de bonnes réponses = inadéquat
- Plus de 85% de bonnes réponses = adéquat

Les données recueillies ont été saisies à l'aide du logiciel épidata, ensuite extraites et analysées à l'aide des logiciels MedCalc (version 19.4.1), R Studio et Epi Info version 7.2

Les variables quantitatives ont été exprimées en moyennes avec un écart type et les variables qualitatives en pourcentages simple. Le test statistique Chi2 de Pearson ou de Fisher a été utilisé selon le cas pour la comparaison des données qualitatives. La différence a été considérée comme statistiquement significative pour une probabilité  $P < 0,05$ .

Les consentements écrits des enquêtés ont été obtenus.

## Résultats

### *Description de la population d'étude*

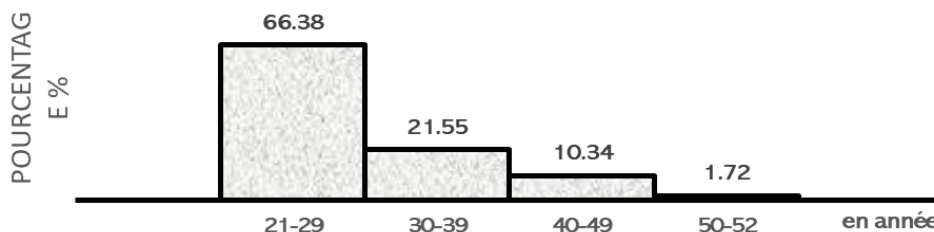
A l'issue de notre enquête menée auprès des professionnels de santé de la ville de Parakou sur les connaissances, attitudes et pratiques en matière de cancer du col de l'utérus, 116 agents sur un total de 154 ont participé à l'enquête soit un taux de participation de 75,32%.

### Caractéristiques sociodémographiques

#### L'âge

L'âge moyen était de  $29,26 \pm 6,62$  ans avec les extrêmes compris entre 21 et 52 ans. L'âge modal était de 26 ans et la majorité des enquêtés avait un

âge compris entre 21 et 29 ans. La répartition par âge est représentée sur la figure ci-dessous (figure 1).



**Figure 1 :** Répartition des professionnels de santé enquêtés sur le cancer du col selon l'âge (Parakou ; 2024)

### Catégorie socioprofessionnelle, niveau d'exercice, secteur d'activité et ancienneté

Parmi les professionnels de santé inclus dans l'étude, 70,69% (82) étaient des femmes et 29,31% (34) des hommes.

La majorité des participants étaient des sages-femmes 46,55% (54), suivies des infirmiers(ières) 27,59% (32) et des médecins généralistes 25,86% (30). La majorité exerçait dans le secteur privé 68,97% (80). En termes d'ancienneté, la plupart avaient entre 1 et 5 ans d'expérience 69,83% (81).

En ce qui concerne le niveau d'exercice, la majorité des participants travaillaient au niveau périphérique de la pyramide sanitaire 94,83% (110).

Tous ces éléments sont représentés dans le tableau I.

**Tableau I :** Répartition des professionnels de santé enquêtés sur le CCU selon la nationalité, catégorie socio-professionnelle, lieu d'exercice, ancienneté et niveau d'exercice (Parakou, 2024)

	Effectifs (n=116)	%
Nationalité		
▪ Béninoise	116	100,00
▪ Autre	-	-
Catégorie socio professionnelle		
▪ Sage-femme	54	46,55
▪ Médecin généraliste	30	25,86
▪ Infirmier (ières)	32	27,59
Lieu d'exercice		
▪ Public	36	31,03
▪ Privé	80	68,97
Ancienneté dans la profession		
▪ Moins d'un an	07	06,03
▪ [1 ; 5[	81	69,83
▪ [5 ; 10[	11	09,48
▪ [10 ; 15[	06	05,17
▪ [15 ; 20[	05	04,31
▪ ≥ 20	06	05,17
Niveau d'exercice		
▪ Périphérique	110	94,83
▪ Intermédiaire	06	05,17

## Données relatives aux connaissances du personnel

### *Facteur étiologique et voies de transmission*

L'enquête a retrouvé que 92,17% (107) des professionnels de santé identifiaient correctement l'infection par le virus du papillome humain (VPH) comme la principale cause du CCU.

Concernant les voies de transmission, 93,04% (108) des répondants reconnaissaient la transmission par voie sexuelle directe, ainsi que le contact indirect avec des objets contaminés 24,35% (28) et même la baignade dans des piscines 28,70% (33).

### Moyens de dépistage

La majorité des professionnels de santé reconnaissent le frottis cervico-utérin, 90,43% (105), l'IVA/IVL, 87,83% (102), le test de recherche d'ADN du HPV, 53,91% (63) comme les moyens de dépistage du cancer du col de l'utérus (CCU).

### Signes à la phase précancéreuse ou de cancer invasif

Seulement 30,43% (35) des participants avaient pu dire que la maladie n'était précédée d'aucun signe à la phase précancéreuse.

En ce qui concerne les signes à la phase cancéreuse, la majorité des professionnels de santé identifiaient les métrorragies spontanées ou provoquées 93,04% (108), les anomalies du col au spéculum 77,39% (90), les leucorrhées rebelles 68,70% (80) comme des signes évocateurs du cancer du col de l'utérus (CCU).

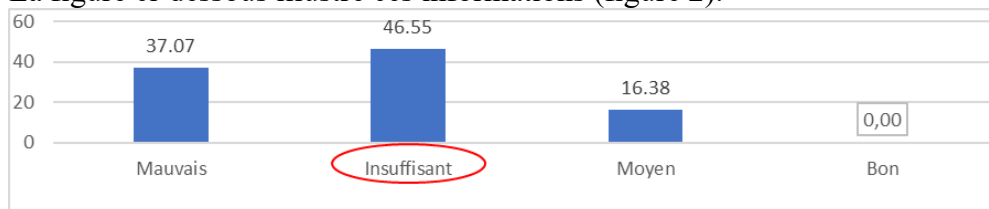
### Stratégies de prévention primaire

En ce qui concerne les stratégies de prévention primaire, éviter les IST 84,35% (98), la vaccination contre le HPV 81,74% (95) et le port de préservatifs 76,52% (89) étaient les méthodes les plus reconnues.

### Niveau de connaissance globale

Le niveau global était jugé principalement insuffisant 46,55 % (54), et 37,07 % (43) des participants avaient des connaissances qualifiées de mauvaises. Seuls 16,38 % (19) avaient montré un niveau moyen.

La figure ci-dessous illustre ces informations (figure 2).



**Figure 2 :** Répartition des professionnels de santé enquêtés sur le CCU selon leur niveau de connaissance globale (Parakou, 2024)



### **Variables relatives aux attitudes des professionnels de santé enquêtés** ***Perception sur la gravité, la conduite du dépistage, le caractère curable et le rôle de la médecine traditionnelle***

Pour la majorité des professionnels de la santé 98,28 % (114), le cancer du col de l'utérus était une affection grave. En ce qui concerne le dépistage, les opinions étaient partagées : 46,55 % (54) jugeaient qu'il était bien organisé, 43,10 % (50) le trouvaient mal organisé,

La majorité des professionnels de la santé 90,52 % (105) estimait qu'une issue favorable au cancer du col de l'utérus était possible si diagnostic posé tôt.

Le rôle de la médecine traditionnelle : 67,24 % (78) pensaient qu'elle pouvait contribuer en servant de relais pour la sensibilisation.

Le tableau suivant résume ces informations (tableau II).

**Tableau II:** Répartition enquêtés sur le cancer du col de l'utérus (CCU) selon leur perception sur la gravité, la conduite du dépistage, le caractère curable et le rôle de la médecine traditionnelle (Parakou, 2024)

	Effectifs (n=116)	%
Gravité du CCU		
▪ Affection grave	114	98,28
▪ Affection pas grave	01	0,86
▪ Ne sait pas	01	0,86
Jugement envers la conduite du dépistage du CCU au Bénin		
▪ Bien organisée	54	46,55
▪ Mal organisée	50	43,10
▪ Inexistante	-	-
Perception de l'issue du CCU	12	10,34
▪ Oui si diagnostic précoce	105	90,52
▪ Oui si prise en charge adéquate	07	06,03
▪ Non parce que processus cancéreux irréversible	03	02,59
▪ Ne sait pas	01	0,86
La médecine traditionnelle est capable d'agir sur le CCU		
▪ Oui, en servant de relais pour la sensibilisation	78	67,24
▪ Oui, en le traitant	-	-
▪ Aucune idée	38	32,76

### **Dépistage systématique du CCU, niveau d'engagement personnel dans les campagnes de prévention**

Une large majorité des professionnels de santé, soit 77,59 % (90) se déclaraient favorables au dépistage systématique du cancer du col de l'utérus (CCU) ; Cependant, 18,10 % (21) n'étaient pas favorables ; les raisons évoquées étaient : un personnel insuffisant et l'inutilité du dépistage en absence de signes évocateurs.

En ce qui concernait leur niveau d'engagement personnel dans la campagne de prévention du CCU, seulement 13,79 % (16) des professionnels sont très engagés. Le tableau suivant présente ces résultats (Tableau III).

**Tableau III:** répartition des professionnels de santé enquêtés sur le cancer du col de l'utérus selon leur attitude face au dépistage systématique, et leur niveau d'engagement personnel dans les campagnes de prévention, (Parakou, 2024)

	Effectifs (n=116)	%
Dépistage systématique du CCU		
▪ Favorable	90	77,59
▪ Non favorable <sup>1</sup>	21	18,10
▪ Ne sait pas	05	04,31
Total	116	100,00
Niveau d'engagement personnel dans la campagne de prévention du CCU		
▪ Pas du tout engage	12	10,34
▪ Peu engage	46	39,66
▪ Engagé	42	36,21
▪ Très engage	16	13,79

### Appréciation de l'efficacité des tests de dépistage

Pour ce qui était du frottis cervico-utérin, 92,24 % (107) des professionnels le jugeaient efficace. Seuls 5,17 % (6) estimaient qu'il était peu efficace et 2,59 % (3) restaient indécis. Le tableau suivant présente ces résultats (tableau IV).

**Tableau IV:** Repartition enquêtés selon leur appréciation de l'efficacité de l'IVA et l'IVL, du frottis cervico-vaginal et du test HPV dans le dépistage du cancer du col de l'utérus (Parakou, 2024)

	Effectifs (n=116)	%
Jugement relatif à l'efficacité du test HPV		
▪ Efficace	110	94,83
▪ Peu efficace	04	03,45
▪ Non efficace	02	01,72
▪ Ne sait pas	-	-
Jugement relatif à l'efficacité de IVA et IVL		
▪ Efficace	96	82,76
▪ Peu efficace	16	13,79
▪ Non efficace	01	0,86
▪ Ne sait pas	03	02,59
Jugement relatif à l'efficacité du frottis cervico-utérin		
▪ Efficace	107	92,24
▪ Peu efficace	06	05,17
▪ Non efficace	-	-
▪ Ne sait pas	03	02,59

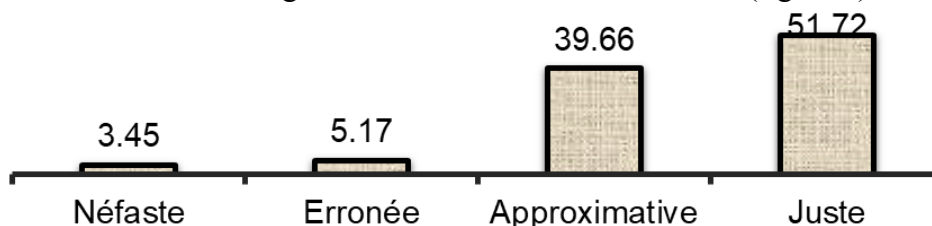
### Attitude face aux signes évocateurs du CCU

La totalité soit 100,00 % des enquêtés se tournait vers la référence de la patiente à un spécialiste.

<sup>1</sup> personnel insuffisant (07,76%) et absence de signes évocateurs (10,34%)

### Attitude globale des agents

L'examen global des attitudes des professionnels de santé révèle : 51,72 % (65) présentent des attitudes justes, 39,66 % (46) affichent des attitudes approximatives. Les attitudes néfastes et erronées demeurent relativement faibles. La figure ci-dessous illustre ces données (figure 3).



**Figure 3 :** Répartition des professionnels de santé enquêtés selon leur attitude globale face au cancer du col de l'utérus (Parakou, 2024)

### Pratiques sur le cancer du col de l'utérus

#### *Formation initiale sur le dépistage, occasions de dépistage*

La majorité des agents de santé 72,41 % (84) a appris le dépistage du cancer du col de l'utérus (CCU) lors de leur formation et près de 69 % (80) ont eu l'occasion de procéder à ce dépistage à leur patiente (Tableau V).

**Tableau V :** Répartition des professionnels de santé enquêtés selon le bénéfice de formation initiale, l'occasion de procéder au dépistage du CCU (Parakou, 2024)

	Effectifs (n=116)	%
Apprentissage du dépistage du CCU lors de la formation initiale ou continue		
▪ Oui	84	72,41
▪ Non	32	27,59
Avoir eu l'occasion de procéder au dépistage du CCU aux patientes		
▪ Oui	80	68,97
▪ Non	36	31,03

### Prescription de frottis cervico-utérin

L'analyse des données a révélé que seulement 26,72 % (31) des professionnels ont prescrit des frottis cervico-utérins, tandis que 73,28 % (85) ne l'ont pas fait.

#### *Les professionnelles de santé féminines enquêtées ayant bénéficié de frottis cervico-utérin*

Seulement 15,66 % (18) des participantes ont bénéficié d'un frottis cervico-vaginal. Le tableau ci-après résume ces informations (Tableau VI).

**Tableau VI : Répartition des professionnelles de Santé féminins et des conjoints du personnel masculin enquêtées de la Ville de Parakou, selon le bénéfice de Frottis Cervico-utérin**

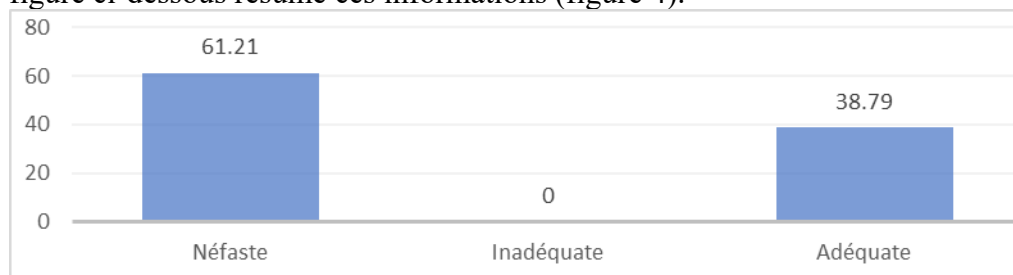
	Effectifs	%
Enquêtées sexe féminin		
▪ Oui	13	15,66
▪ Non	70	84,34
Total	83	100,00
Epouses enquêtées sexe masculin		
▪ Oui	04	11,76
▪ Non	30	88,24
Total	34	100,00

### Les professionnels de santé féminins enquêtées ayant bénéficié du test HPV

Parmi les femmes enquêtées, seulement 20,91% (24) ont bénéficié du test HPV contre 79,09% (92) qui n'ont jamais fait ce test de dépistage.

### Pratique globale des professionnels

L'analyse des données a révélé que 61,21 % (71) des professionnels de santé avaient des pratiques néfastes et 38,79 % (48) avaient des pratiques adéquates. Aucun professionnel n'avait présenté des pratiques inadéquates. La figure ci-dessous résume ces informations (figure 4).



**Figure 4 : Répartition des enquêtés selon leur pratique globale face au cancer du col de l'utérus (Parakou, 2024)**

### Facteurs influençant le niveau de connaissance, l'attitude et la pratique des professionnels enquêtés, face au cancer du col de l'utérus.

Le secteur privé est associé significativement aux mauvaises connaissances ( $p=0,0263$ ).

L'absence de formation continue est associée significativement aux mauvaises attitudes ( $RP = 28,5, p = 0,0007$ ).

En ce qui concerne la catégorie socio-professionnelle, les infirmiers(ières) ont les mauvaises pratiques ( $p=0,001$ )

Concernant le sexe, les hommes montrent une prévalence élevée de mauvaise pratique par rapport aux femmes.

L'absence de formation continue est associée significativement aux taux élevés de mauvaises pratiques. Ces informations sont répertoriées dans le tableau ci-dessous (Tableau VII).

**Tableau VII : Facteurs associés aux connaissances, attitudes et pratiques des agents de santé sur le CCU (Parakou, 2024)**

	N	Mauvaise <sup>2</sup> n(%)	Bonne <sup>3</sup> n(%)	RP [IC95%]	P-Value
<b>Connaissances</b>					
Lieu d'exercice					
▪ Privé	80	72(90,00)	08(10,00)	1,29 [1,03 – 1,62]	0,0263
▪ Public	36	25(69,44)	11(30,56)	1	
<b>Attitudes</b>					
Formation(s) continue(s) sur le CCU					
▪ Non	84	75(89,29)	09(10,71)	28,5 [4,14 – 196,9]	0,0007
▪ Oui	32	01(03,13)	31(96,88)	1	
<b>Pratiques</b>					
Catégorie socio professionnelle					
▪ Médecin	30	19(63,33)	11(36,67)	1,48 [0,98 – 2,24]	0,0593
▪ Infirmier	32	29(90,63)	03(09,38)	2,12 [1,53 – 2,95]	<0,001
▪ Sage-femme	54	23(42,59)	31(57,41)	1	
Sexe					
▪ Masculin	34	29(85,29)	04(11,76)	1,56 [1,24 – 1,97]	0,0001
▪ Féminin	82	46(56,10)	36(43,90)	1	
Formation(s) continue(s) sur le CCU					
▪ Non	84	62(73,81)	22(26,19)	2,62 [1,48 – 4,63]	0,0009
▪ Oui	32	09(28,13)	23(71,88)	1	

## Discussion

Le HPV était identifié comme principal facteur de risque de ce cancer par 92,17% des professionnels de notre étude. Kombiogo et *al* (2020) au Burkina Faso, avait noté 59,2% ; Almazrou et *al*. (2020) en Arabie Saoudite, avait rapporté 94%.

Selon Tebeu et *al*. (2020) au Cameroun, 35% des professionnels de santé connaissaient le HPV comme principal facteur de risque.

La hausse du niveau de connaissance de ce facteur par les agents, serait probablement due aux efforts des différents pays pour améliorer le dépistage et la prise en charge des femmes en ce qui concerne ce cancer.

La majorité des professionnels de santé reconnaissent le FCU (90,43%), l'IVA/IVL (87,83%), le test HPV (53,91%) comme les moyens de dépistage du cancer du col de l'utérus (CCU).

Dans l'étude de Obossou et *al*. (2021) seulement 6,8% des agents de santé avaient une bonne connaissance des moyens de dépistage. Cet écart

<sup>2</sup> Mauvaise = Mauvais + Insuffisant

<sup>3</sup> Bonne = Moyen + Bon

significatif serait dû à la manière d'application de l'échelle de mesure utilisée. Sawadogo et *al* (2016) au Burkina Faso en 2016, notait que moins de 50% des prestataires de santé avaient une bonne connaissance des moyens de dépistage (39,8%). Au Burundi, Selon Ndizeye et *al*, en 2018, 15,3 % des médecins généralistes connaissaient l'IVA/IVL comme méthode de dépistage. Au Cameroun Mc Carey et *al*, (2011), seulement 38% et 47% des agents de santé connaissaient l'IVA/IVL et le test HPV comme des moyens de dépistage. Ce faible taux de connaissance des moyens de dépistage serait dû à l'insuffisance de formation médicale continue et l'absence de dépistage organisé du cancer du col de l'utérus dans ces différents pays. En effet, les agents de santé participant au dépistage doivent maîtriser dans les détails les différents moyens utilisés.

Le niveau de connaissance global des professionnels de notre étude était insuffisant (46,55%) contrairement à ce qu'avait trouvé Obossou et *al* (2021) en 2016 selon lequel le niveau de connaissance global était moyen (71,4%).

Selon l'étude de Obossou et *al*. (2021), les professionnels de la tranche d'âge de 55 à 64 ans avaient le meilleur niveau de connaissance, or les professionnels de notre étude, étaient majoritairement jeunes avec une tranche d'âge comprise entre 21 et 29 ans. Il existe donc une corrélation entre l'âge et le niveau de connaissance. En effet, l'expérience serait acquise durant les années d'exercice de la fonction médicale.

Cependant dans notre étude, le niveau de connaissance n'était pas corrélé à l'âge ; même les agents qui avaient plus de 10 ans d'expérience avaient une mauvaise connaissance (83,33%). Le niveau de connaissance était plutôt lié au secteur d'activité. En effet, le secteur privé est associé significativement aux mauvaises connaissances( $p=0,0263$ ).

Dans l'étude de Obossou et *al*. (2021) les médecins gynécologues et les médecins généralistes avaient le meilleur niveau de connaissance. C'est également le cas dans l'étude de Kombiogo et *al*, au Burkina Faso, en 2020. Ce constat s'expliquerait par une meilleure assimilation des notions reçues sur le cancer du col de l'utérus lors de la formation médicale initiale, le contenu et la durée de la formation médicale étant nettement supérieurs à ceux de la formation paramédicale.

En ce qui concerne le dépistage, les opinions étaient partagées : 46,55 % jugeaient qu'il était bien organisé, 43,10 % le trouvaient mal organisé. Dans l'étude de Obossou et *al*. (2021) ; 86,5% des agents trouvaient que le dépistage était mal organisé. Le gouvernement du Bénin a pourtant élaboré un programme national de lutte contre les maladies non transmissibles dont l'un des objectifs est de réduire la prévalence du CCU. Des stratégies et activités ont été élaborées dans ce sens. Parmi ces stratégies figuraient la mise en place de deux registres de cancer (à Cotonou et à Parakou), la mise en place d'un

programme de dépistage du cancer du col et la formation d'agents de santé au dépistage. Le faible financement du programme ne permet pas le fonctionnement optimal des deux registres de cancer et les autres stratégies (Ministère de la santé Bénin, 2019). Mais ces dernières années ci, des efforts ont été faits par l'état à travers la dotation en matériels informatiques (ordinateurs) et moyens roulants (motos) pour les deux registres afin d'améliorer leur fonctionnement.

La majorité (77,59%) des professionnels de notre étude étaient favorables au dépistage systématique. Cependant, une étude effectuée au Maroc par Belglaiaa et *al*, en 2019, a montré que le taux de participation des professionnels de santé aux activités de dépistage reste encore faible. L'étude de Diallo et *al*, (2024) en Guinée Conakry avait montré que 64,4% des femmes n'avaient pas un suivi gynécologique. De même, dans notre étude sur 83 agents de santé féminins, seulement 15,66% ont bénéficié une fois du frottis cervico-utérin. Le dépistage du CCU n'est donc pas encore ancré dans les habitudes des femmes, aussi bien dans la population que chez les professionnels de santé. Il serait aussi bien de faire de la lutte contre cette maladie, une priorité dans les hôpitaux, en l'intégrant dans les programmes de santé reproductive, notamment lors des consultations prénatales, postnatales et de planification familiale.

Près de 69 % des professionnels de notre étude ont eu l'occasion de procéder au dépistage à leur patiente.

Selon Marie Tebeu et *al*. (2020) au Cameroun, seulement 4% des médecins généralistes avaient dépisté au moins une femme pour lésions précancéreuses au cours des douze mois précédant l'enquête. Une étude réalisée par Sawadogo et *al*. au Burkina Faso en 2016 a révélé que les prestataires de santé ne réalisaient ni le dépistage ni la prise en charge du cancer du col de l'utérus dans leurs établissements, avec des taux respectifs de 40,4 % et 93,8 % des cas. Dans une perspective similaire, Zahedi et *al*, ont rapporté en 2014 en Haïti que la participation des professionnels de la santé au dépistage du cancer du col de l'utérus était supérieure à celle observée dans notre étude, 25 % d'entre eux déclarant avoir effectué un dépistage de manière générale. Une étude réalisée par Didi-Kouko et *al*, en 2018, chez les femmes professionnelles de santé de la ville d'Abidjan a permis de noter que parmi elles, 217 soit 61 % n'avaient jamais pratiqué leur propre dépistage, dont 192 par négligence. Également, une étude réalisée au Maroc par Berraho et *al*. (2013) dans la région de Fès, a rapporté que les raisons de la non pratique du FCU rapportées par les médecins se répartissent principalement entre l'absence de formation (69%) et le manque de moyens (tables gynécologiques, spéculum, etc...).

De tout ceci, il ressort que le dépistage systématique n'est pas encore ancré dans les habitudes des professionnels de santé et il urge d'intensifier les

formations continues pour une amélioration des connaissances de ces professionnels de santé au profit de leurs patientes.

### **Conclusion**

Au terme de cette étude, la moitié des enquêtés ont une connaissance insuffisante et une attitude juste face au cancer du col de l'utérus par contre seulement le tiers a une pratique adéquate. Ces résultats soulignent la nécessité d'une formation continue des professionnels de santé pour améliorer le diagnostic précoce et la prise en charge de cette pathologie.

### **Limite de l'étude**

L'enquête réalisée par un questionnaire auto-administré comporte un certain nombre de limites. La principale limite porte sur le fait qu'il s'agit d'une étude déclarative. Par conséquent, les données que nous avons obtenues restent non vérifiées et il est probable, comme cela a déjà été montré, qu'il existe un écart entre ce que l'enquêté dit faire et ce qu'il fait en réalité.

Une autre limite réside sur les conditions de réponse au questionnaire auto-administré. Les questionnaires ayant été remplis par les personnels enquêtés durant les horaires de service, il ne nous a pas été possible de nous assurer que ces questionnaires ont été remplis sans l'aide d'une tierce personne. Malgré ces limites éventuelles, nous pensons que les informations recueillies auprès des catégories de professionnels interrogés apportent des éléments de réponse aux objectifs de cette étude. Les outils ont été préalablement testés et corrigés.

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

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

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

**Déclaration relative aux participants humains :** Cette étude a été approuvée par le Comité Local d'Ethique pour la Recherche Biomédicale (CLERB-UP) de l'Université de Parakou sous le numéro 631/2024/CLERB-UP/P/SP/RLSA du 2 Août 2024 et les principes de la Déclaration d'Helsinki ont été respectés.

### **References:**

1. Almazrou S, Saddik B, Jradi H. (2020) Knowledge, attitudes, and practices of Saudi physicians regarding cervical cancer and the human



- papilloma virus vaccine. *J Infect Public Health* ;13(4) :584-90. DOI : 10.1016/j.jiph.2019.09.002
2. Belglaiaa E, Mougin C. (2019) Le cancer du col de l'utérus : état des lieux et prévention au Maroc. *Bull Cancer (Paris)* ;106(11) :1008-22. DOI : 10.1016/j.bulcan.2019.08.020
  3. Berraho M, El Fakir S, Abda N, Mathoulin-Pelissier S, Nejjar C. (2013) Connaissances et pratiques des médecins vis-à-vis du cancer du col de l'utérus et de l'infection HPV à Fès. *Santé Publique* ;25(3):351-7. DOI : 10.3917/spub.253.0351
  4. Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, Siegel RL, Torre LA, Jemal A. (2018) Global cancer statistics 2018 : GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA A Cancer J Clinicians* ;68(6):394-424. DOI : 10.3322/caac.21492
  5. Diallo MH. (2021) Connaissances, attitudes et pratiques des femmes en matière de dépistage du cancer du col de l'utérus (CCU) au centre médical communal de Coronthie Conakry- Guinée. *J SAGO Gynécologie – Obstétrique Santé Reprod [Internet]*. 2021 [cité 27 oct 2024];22(1). Disponible sur: <http://www.jsago.org/index.php/jsago/article/view/88>
  6. Didi-Kouko CJ, Zo Koui AS, Bambara AH, Traoré K, Adoubi I. (2018) Les femmes professionnelles de santé (FPS) de la ville d'Abidjan face au dépistage du cancer du col de l'utérus. *Carcinol Prat En Afr* ;4-8. Disponible sur : [http://www.santetropicale.com/manelec/fr/cancerologie/carcino\\_clin.asp?action=pdf&id\\_numero=11&id=carcino\\_2017\\_01\\_01](http://www.santetropicale.com/manelec/fr/cancerologie/carcino_clin.asp?action=pdf&id_numero=11&id=carcino_2017_01_01)
  7. El Fakir S, Abda N, Najdi A, Bendahou K, Obtel M, Berraho M, et al. (2013) Pratiques des médecins généralistes des centres de santé de la Préfecture de Fès vis-à-vis du dépistage du cancer. *Santé Publique* ;25(5) :685-91. DOI : 10.3917/spub.135.0685
  8. Essi MJ, Njoya O. (2013) L'enquête CAP en recherche médicale. *Health Sci Dis [Internet]*. [cité 7 oct 2024];14(2). Disponible sur: <http://hsd-fmsb.org/index.php/hsd/article/view/183>
  9. Komboigo EB, Sawadogo YAS, Some DA, Kouraogo B, Kabore S, Kouraogo S, et al. (2020) Diagnostic et traitement des lésions précancéreuses et cancéreuses du col utérin : Connaissances et attitudes des prestataires de soins dans les maternités du district sanitaire de Boromo, Burkina Faso. *Sci Santé* ;43(1):47-56.
  10. Marie Tebeu P, Saint Saba Antaon J, Adjeba M, Pikop F, Tsuala Fouogue J, Ndom P. (2020) Connaissances, attitudes et pratiques des professionnels de santé sur le cancer du col de l'utérus au Cameroun. *Santé Publique* ;32(5-6) :489-96. DOI : 10.3917/spub.205.0489

11. McCarey C, Pirek D, Tebeu PM, Boulvain M, Doh AS, Petignat P. (2011) Awareness of HPV and cervical cancer prevention among Cameroonian healthcare workers. BMC Womens Health ;11(1):45. DOI: 10.1186/1472-6874-11-45
12. Ministère de la santé & OMS (Bénin, 2019). Plan stratégique de lutte contre le cancer du col de l'utérus et les autres cancers gynécologiques et mammaires de la femme, au Bénin de 2019-2023. Cotonou :MS : PNLMT ;2019.100p.
13. Ndizeye Z, Vanden Broeck D, Vermandere H, Bogers JP, Van Geertruyden JP. (2018) Knowledge and practices of general practitioners at district hospitals towards cervical cancer prevention in Burundi, 2015: a cross-sectional study. Glob Health ;14 :4. DOI : 10.1186/s12992-018-0321-5
14. Obossou AAA, Tognifode MV, Brun L, Balle MC, Denakpo JL, et al. (2017) Epidemiology and Management of Gynecological and Breast Cancers in the Two Reference Hospitals of Parakou, in North Benin. Oncol Cancer Case Rep 3: 133. doi: 10.4172/2471-8556.1000133
15. Obossou AAA, Ahouingnan FM, Atadé SR(2021) Connaissances, attitudes et pratiques des professionnels de santé en matière de cancer du col de l'utérus à Parakou au Bénin en 2016. European Scientific Journal ESJ, 17 (25):291-303. DOI :10.19044/esj.2021.v17n25p290
16. Organization WH. (2021) Stratégie mondiale en vue d'accélérer l'élimination du cancer du col de l'utérus en tant que problème de santé publique. World Health Organization ; 2021. 60 p.
17. Sawadogo YA, Kiemtoré S, Kain DP. (2016) Connaissances, attitudes et pratiques des prestataires de santé face au cancer du col de l'utérus dans la ville de Ouagadougou, Burkina Faso. Afr Jr Online; 39 (1-2). Disponible sur : <https://www.ajol.info/index.php/stss/article/view/164040>
18. Tonato Bagnan JA, Denakpo JL, Aguida B, Hounkpatin L, Lokossou A, De Souza J, et al. (2013) Épidémiologie des cancers gynécologiques et mammaires à l'hôpital de la Mère et de l'Enfant-Lagune (HOMEL) et à la clinique universitaire de gynécologie et d'obstétrique (CUGO) de Cotonou, Bénin. Bull Cancer (Paris) ;100(2):141-6.DOI: 10.1684/bdc.2013.1702
19. Zahedi L, Sizemore E, Malcolm S, Grossniklaus E, Nwosu O. (2014) Knowledge, Attitudes and Practices Regarding Cervical Cancer and Screening among Haitian Health Care Workers. Int J Environ Res Public Health ;11(11):11541-52.

## **Etude de la co-circulation des virus Grippaux et SARSCoV-2 dans les sites sentinelles d'Infection Respiratoire Aigüe Sévère de la Grippe en République de Guinée (2023-2024)**

***Mamadou Bhoie Keita***

Laboratoire des Virus Respiratoires, Institut National de Santé Publique, Conakry, République de Guinée. Laboratoire de Biologie Moléculaire, Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Gamal Abdel Nasser de Conakry, Conakry, République de Guinée

***Mamadou Aliou Sampou***

Laboratoire des Virus Respiratoires, Institut National de Santé Publique, Conakry, République de Guinée. Laboratoire Pluridisciplinaire, Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université de N'Zérékoré, N'Zérékoré, République de Guinée. Unité de Recherche et de Formation BioHafia, Département de Biologie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Labé, Labé, République de Guinée

***Abdoulaye Oury Barry***

Unité de Recherche et Formation BioHafia, Département de Biologie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Labé, Labé, République de Guinée

***Mamoudou Conde***

***Pierre Felano***

***Mafoudia Soumare***

***Bassala Traore***

***Pepe Tohonamou***

***Kaba Kourouma***

***Fodé Amara Traore***

Le Laboratoire des Virus Respiratoires, Institution National de Santé Publique, Conakry, République de Guinée

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n18p152](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p152)

Submitted: 28 April 2025

Accepted: 19 June 2025

Published: 30 June 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:* Keita, M.B., Sampou, M.A., Barry, A.O., Conde, M., Felano, P., Soumare, M., Traore, B., Tohonamou, P., Kourouma, K. & Traore, F.A. (2025). *Etude de la co-circulation des virus Grippaux et SARSCoV-2 dans les sites sentinelles d'Infection Respiratoire Aigüe Sévère de la Grippe en République de Guinée (2023-2024)*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (18), 152. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p152>

---

## Résumé

Cette étude transversale, menée du 23 juillet 2023 au 23 juillet 2024, a évalué la co-circulation des virus grippaux et du SARS-CoV-2 dans les sites sentinelles d'Infections Respiratoires Aiguës Sévères (IRAS) en Guinée. Sur 639 patients inclus, 8,29 % (53 patients) étaient positifs aux virus recherchés, avec une dominance des virus grippaux (66,03 %) par rapport au SARS-CoV-2 (33,96 %). Parmi les virus grippaux, les sous-types H3N2 (77,77 % des cas de grippe A) et B Victoria (100 % des cas de grippe B) étaient les plus fréquents. La tranche d'âge de 0-2 ans était la plus touchée (54,30 % des cas), suivie des 15-50 ans (18,78 %). Aucune différence significative n'a été observée entre les sexes ou les issues d'hospitalisation. Les résultats ont révélé des périodes distinctes de circulation virale : le SARS-CoV-2 était présent presque toute l'année avec un pic en décembre 2023, tandis que les virus grippaux circulaient principalement durant les saisons pluvieuses. Des co-circulations simultanées des virus grippaux et du SARS-CoV-2 ont été documentées, notamment en juillet, septembre et décembre 2023. Le site de Maférinyah a enregistré le taux de positivité le plus élevé (15,57 %), contre 5,56 % à Ignace Deen. Cette étude confirme la persistance du SARS-CoV-2 et sa co-circulation avec les virus grippaux en Guinée, soulignant l'importance d'une surveillance intégrée pour anticiper les risques épidémiques et guider les politiques de santé publique. Les enfants de moins de 2 ans restent particulièrement vulnérables, justifiant des mesures préventives ciblées.

---

**Mots-clés:** Covid-19, Grippe, Co-circulation, Site Sentinelle, Infection Respiratoire Aiguës sévères (IRAS)

---

## **Study of the co-circulation of influenza and SARSCoV-2 viruses in sentinel sites of severe acute respiratory influenza infection in the Republic of Guinea (2023-2024)**

***Mamadou Bhoie Keita***

Laboratoire des Virus Respiratoires, Institut National de Santé Publique,  
Conakry, République de Guinée. Laboratoire de Biologie Moléculaire,  
Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Gamal Abdel  
Nasser de Conakry, Conakry, République de Guinée

***Mamadou Aliou Sampou***

Laboratoire des Virus Respiratoires, Institut National de Santé Publique,  
Conakry, République de Guinée. Laboratoire Pluridisciplinaire, Département  
de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université de N'Zérékoré,  
N'Zérékoré, République de Guinée. Unité de Recherche et de Formation  
BioHafia, Département de Biologie Appliquée, Faculté des Sciences et  
Techniques, Université de Labé, Labé, République de Guinée

***Abdoulaye Oury Barry***

Unité de Recherche et Formation BioHafia,  
Département de Biologie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques,  
Université de Labé, Labé, République de Guinée

***Mamoudou Conde***

***Pierre Felano***

***Mafoudia Soumare***

***Bassala Traore***

***Pepe Tohonamou***

***Kaba Kourouma***

***Fodé Amara Traore***

Le Laboratoire des Virus Respiratoires, Institution National de Santé  
Publique, Conakry, République de Guinée

---

### **Abstract**

This cross-sectional study, conducted from 23 July 2023 to 23 July 2024, assessed the co-circulation of influenza viruses and SARS-CoV-2 at sentinel sites for Severe Acute Respiratory Infections (SARI) in Guinea. Among the 639 patients included, 8.29% (53 patients) tested positive for respiratory viruses, with a predominance of influenza viruses (66.03%) compared to SARS-CoV-2 (33.96%). Among the influenza viruses, the H3N2 subtype accounted for 77.77% of influenza A cases, and the B Victoria lineage accounted for 100% of influenza B cases. The 0–2-year-old age group was the most affected (54.30% of cases), followed by the 15–50 age group (18.78%).

No significant differences were observed between sexes or in hospitalization outcomes. The results revealed distinct periods of viral circulation: SARS-CoV-2 was present nearly year-round, peaking in December 2023, while influenza viruses mainly circulated during the rainy seasons. Simultaneous co-circulation of influenza viruses and SARS-CoV-2 was documented, notably in July, September, and December 2023. The Maférinyah site recorded the highest positivity rate (15.57%), compared to 5.56% at Ignace Deen. This study confirms the ongoing circulation of SARS-CoV-2 and its co-circulation with influenza viruses in Guinea, highlighting the importance of integrated surveillance to anticipate epidemic risks and inform public health policies. Children under the age of 2 remain particularly vulnerable, justifying targeted preventive measures.

---

**Keywords:** Covid-19, Influenza, Co-circulation, Sentinel site, severe acute respiratory infection (SARS)

## Introduction

Durant ces dernières décennies le monde a connu plusieurs épidémies et pandémies dont entre autres celle de la Covid-19 qui a fait plus de deux millions de décès dans le monde en février 2021 (Dong et al., 2020). Bien que la maladie de covid-19 ne soit plus une urgence mondiale, elle reste quand même un problème de santé publique majeur car les cas d'infections et de réinfections continuent d'être signalées dans plusieurs pays du monde (Ma et al., 2023; Yue et al., 2020).

Depuis la pandémie de la grippe espagnole de 1918-1919, le monde a connu plusieurs autres épidémies et pandémies liées aux virus de la grippe. La grippe cause chaque année 3 à 5 millions de cas graves avec 300 000 à 500 000 décès dans le monde (Krammer et al., 2018; Li et al., 2019).

Suite à la levée de la politique zéro Covid-19 en Chine le 7 décembre 2022, une concomitance des virus de la grippe et du SARS-CoV-2 a été observée (P et al., 2021). Des études ont montré que la co-circulation entraîne une immunité face à ces deux virus par contre, il a été montré que la variabilité de ces virus qui circulent simultanément conduit à l'apparition de nouveaux variants auxquels la population reste sensible ce qui représente un véritable problème (Cong et al., 2022; Stowe et al., 2021).

La circulation simultanée de la grippe et de la covid-19 entraînent une charge économique importante sur le système de santé national et international (Pan et al., 2023). Les co-infections, en parallèle de la co-circulation, ont engendré chez certains patients des formes plus sévères de la maladie, entraînant des hospitalisations et des recours à la ventilation artificielle ou mécanique. Ces co-infections peuvent également entraîner des risques élevés de décès (Cong et al., 2022; K et al., 2023; Stowe et al., 2021).

Juste après la maladie à virus Ebola, qui a permis de renforcer la capacité des laboratoires nationaux, en 2018 le Ministère de la Santé et de l'hygiène Publique de la Guinée en collaboration avec l'OMS a mis en place un système de surveillance sentinelle des maladies à potentiel épidémique. Cette surveillance a permis de caractériser les virus grippaux circulants en Guinée et a aidé les autorités dans une prise de décision plus éclairée (Keita et al., 2021).

C'est grâce à ce système de surveillance que le 1<sup>er</sup> cas de la covid-19 a été notifié (Keita et al., 2021).

En Guinée, l'absence d'études sur la circulation simultanée des virus de la grippe et du COVID-19 a motivé cette recherche. Nous examinons spécifiquement la co-circulation de ces virus dans les sites sentinelles de surveillance des Infections Respiratoires Aiguës Sévères (IRAS).

## **Materiel et Methode**

Il s'agissait d'une étude descriptive de type transversal d'une année allant du 23 juillet 2023 (semaine 29) au 23 juillet 2024 (semaine 28). Les données ont été collectées sur les sites sentinelles d'IRAS. Cette surveillance a été mise en place en se référant au document de l'OMS/AFRO, sur le protocole générique de surveillance intégrée des maladies et de riposte de l'OMS pour la surveillance sentinelle de la grippe (*Protocole de surveillance sentinelle nationale de la grippe | OMS | Bureau régional pour l'Afrique*, 2025). L'étude a concerné trois sites sentinelles dans la capitale Conakry : Le centre hospitalo universitaire de Donka dans la commune de Dixinn, le centre hospitalo universitaire d'Ignace Deen dans la commune de Kaloum et la clinique pédiatrique Tina Guinée dans la commune de Ratoma et deux sites sentinelles dans les préfectures environnantes. L'hôpital préfectoral de Dubréka dans la préfecture de Dubréka et le centre de santé amélioré de Maférinyah dans la préfecture de Forécariah tous d'IRAS.

La population d'étude était composée des patients reçus en consultation dans ces sites sentinelles selon la définition des cas d'infection respiratoire aiguë sévère avec une température élevée  $\geq 38$ , apparition de la toux dans les 10 derniers jours et nécessitant une hospitalisation.

Les patients ont été reçus dans les sites sentinelles par un personnel médical qui les a soumis à une fiche d'enquête préalablement établie afin de recueillir les informations sociodémographiques et cliniques des patients. Les cinq premiers patients qui ont répondu à la définition des cas pour chaque site ont bénéficié d'un prélèvement nasopharyngé ou oropharyngé. Après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un écouvillon placé dans un tube contenant du MTV, l'échantillon a été conservé dans le réfrigérateur (de +4 à 8°C) jusqu'à la fin de la journée. Puis les échantillons sont acheminés au laboratoire des Virus Respiratoires INSP-Nongo par un personnel formé à cet



effet. Les échantillons ont été reçus au laboratoire par le personnel qui ensuite contrôle la conformité des échantillons avant de faire deux aliquots pour chaque échantillon. Le premier a été utilisé pour l'extraction du matériel génétique et le second pour une conservation de longue durée dans les congélateurs de -80°C.

Pour l'extraction du matériel génétique des échantillons, 200 µl de chaque échantillon ont été traités avec le mini kit d'ARN/ADN viral PureLink de marque Invitrogen (ThermoFisher SCIENTIFIC), en suivant les recommandations du fabricant. Le matériel génétique extrait a ensuite été élué dans 100 µl d'eau de biologie moléculaire. Après l'extraction, l'éluât a été transporté dans la salle d'amplification des acides nucléiques. Pour la détection des virus grippaux et de celui de la covid-19, le CDC Influenza SARSCoV-2 Multiplex Assay Primers and Probes kit (RUO), FluSC2PPB-RUO a été utilisé pour la détection du gène de la matrice M (M1 : 252 aa, M2 : 96 aa) pour influenza A ; le gène de la protéine non structurale NS (NS1 : 230 aa, NS2 : 121 aa) pour influenza B et la nucléoprotéine (N : 422 aa) jusqu'à la région 3' non traduite (RNT) pour le SARSCoV-2 par le biais de la technique de RT-PCR en temps réel sur une machine Bio Rad CFX96. Pour le sous-typage des échantillons positifs aux virus de la grippe, nous avons utilisé le kit Influenza A Subtyping kit (VER4) (RUO) et le kit CDC Influenza B Lineage Genotyping Panel (VER1.1) (RUO) pour la grippe B. Le gène de l'hémagglutinine A (HA) spécifique à chaque sous-type et lignée a été amplifié. Le gène de la sous unité P30 de la ribonucléase P humaine a été amplifié dans tous les extraits comme contrôle interne. Les courbes ont été analysées à l'aide du logiciel de détection de séquence Biorad CFX Maestro 1.1 (4.1.2433.1219).

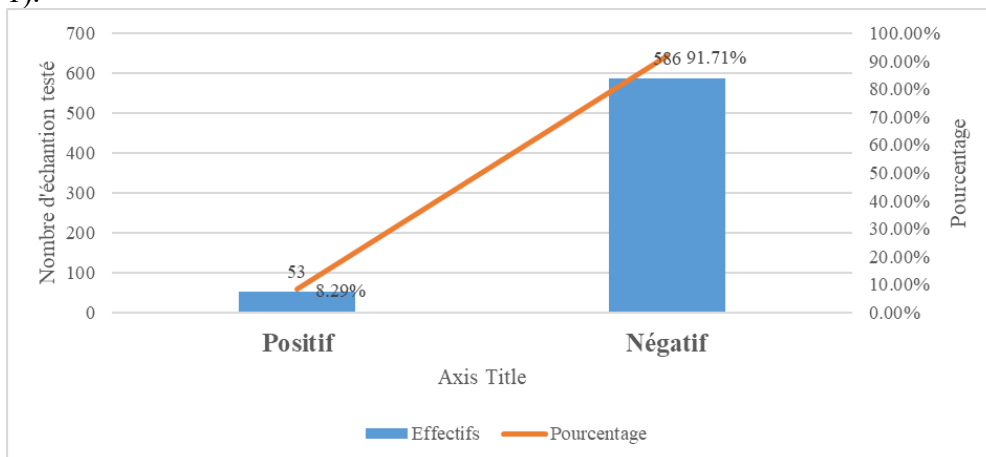
Les données recueillies auprès des patients ont été saisies dans le logiciel Excel 2016 puis exportées dans le logiciel Epi Info version 7. La proportion des catégories sociodémographiques a été calculée en fonction du nombre total de consultations. Nous avons déterminé le taux de positivité de chaque catégorie sociodémographique en fonction du nombre de positif. La proportion des positifs (covid-19/grippe) a été considérée comme la positivité globale. L'intervalle de confiance à 95% de chaque proportion a été calculé. Nous avons évalué la différence entre les catégories sociodémographiques, les types de pathogènes (covid-19/grippe) et les sous-types de la grippe à l'aide du test de Khi carré. Pour comprendre la circulation de ces virus dans l'année, nous avons liés les positifs avec les semaines épidémiologiques.

## Resultats

L'étude, menée auprès de 639 patients consentants, a révélé que 8,29 % IC 95% (6,33% - 10,78%) d'entre eux (53 patients) étaient positifs pour les virus recherchés (Grippe/SARSCoV-2) dans les échantillons nasopharyngés,



et 91,71 % IC 95% (89,22% - 93,67%) 586 patients étaient négatifs (Figure 1).



**Figure 1 : La positivité globale des échantillons testés**

**Tableau 1 : La répartition de la population d'étude en fonction des catégories sociodémographiques**

Caractéristiques sociodémographiques		Effectifs	Pourcentage
<b>AGE</b>			
	<b>0 - 2</b>	347	54,30
	<b>2 - 5</b>	38	5,95
	<b>5 - 15</b>	33	5,16
	<b>15 - 50</b>	120	18,78
	<b>50 - 65</b>	51	7,98
	<b>65 - 100</b>	50	7,82
<b>SEXE</b>			
	<b>F</b>	269	42,10
	<b>M</b>	370	57,90
<b>SITE</b>			
	<b>Hp Dubréka</b>	57	8,92
	<b>Ignace Deen</b>	216	33,80
	<b>Maferinyah</b>	122	19,09
	<b>Service De Pédiatrie Donka</b>	82	12,83
	<b>Tina Guinée</b>	162	25,35
<b>TOTAL</b>		639	100,00

L'étude de la répartition de la population en fonction de la tranche d'âge a été réalisée. Afin de déterminer la tranche d'âge la plus représentée. Ces résultats montrent (Tableau 1) que la tranche d'âge de 0 - 2 ans était la plus représentée soit 54,30% IC à 95% (50,35% - 58,21%). Elle a été suivie par celle de 15 - 50 ans soit 18,78% IC à 95% (15,87% - 22,07%). Les tranches d'âges de 50 - 65 ans et celle de 65 ans et plus avaient respectivement 7,98% IC à 95% (6,05% - 10,43%) et 7,82% IC à 95% (5,92% - 10,26%). Les tranches d'âges ayant enregistré la plus faible proportion étaient celle de 2 - 5 ans et de 5 - 15 ans respectivement 5,95% IC à 95% (4,30% - 8,15%) et 5,16% IC à 95% (3,63% - 7,25%).

Pour déterminer le sexe le plus représenté dans cette étude, nous avons réparti la population d'étude selon le sexe. Il ressort de ces résultats que le sexe masculin était le plus représenté soit 57,90% IC à 95% (53,96 - 61,75) contre 42,10% IC à 95% (38,25 - 46,04) du sexe féminin.

Les résultats présentés dans ce tableaux montrent que les échantillons venant du site sentinelle d'Ignace Deen étaient plus représentés soit 33,80% IC à 95% (30,17% - 37,64%), il était suivi par celui de Tina Guinée soit (25,35%) IC à 95% (22,06% - 28,95%). Les sites ayant enregistré les faibles proportions étaient ceux du service de pédiatrie Donka et l'hôpital préfectoral de Dubréka soient respectivement 12,83% (10,39% - 15,73%) et 8,92% IC à 95% (6,88% - 11,47%).

**Tableau 2 : Répartition des personnes positives selon les catégories sociodémographiques**

Germes (Grippe/SARSCoV-2)				
Caractéristiques sociodémographiques	Négatif	Positif	Total	
AGE				
0 - 2	313 (90,20%)	34 (9,80%)	347 (54,46%)	
2 - 5	32 (86,49%	6 (15,79%)	38 (5,95%)	
5 - 15	33 (100%)	0	33 (5,16%)	
15 - 50	112 (93,33%)	8 (6,67%)	120 (18,78%)	
50 - 65	49 (96,08%)	2 (3,92%)	51 (7,98%)	
> 65	47 (94%)	3 (6%)	50 (7,82%)	
SEXE				
F	246 (91,45%)	23 (8,55%)	269 (42,10%)	
M	340 (91,89%)	30 (8,11%)	370 (57,90%)	
SITE				
HP Dubréka	52 (91,23%)	5 (8,77%)	57 (8,92%)	

<b>Ignace Deen</b>	204 (94,44%)	12 (5,56%)	216 (33,80%)
<b>Maferinyah</b>	103 (84,43%)	19 (15,57%)	122 (19,09%)
<b>Service de Pédiatrie Donka</b>	77 (93,90%)	5 (6,10%)	82 (12,83%)
<b>Tina Guinée</b>	150 (92,59%)	12 (7,41%)	162 (25,35%)
<b>TOTAL</b>	586 (91,71%)	53 (8,29%)	639 (100%)

Sur l'ensemble des échantillons (639) analysés, 53 ont été testés positifs par la présence des virus recherchés soit une positivité globale de 8,29%. La positivité était de 13,51% dans la tranche d'âge de 2 à 5 ans, 10,06% pour celle de 0 à 2 ans, 6,67% chez celle âgée de 15 à 50 ans, 6,00% pour celle  $\geq 65$  ans et 3,92% chez celles âgées de 50 à 65 ans. Le test khi deux ( $P=0,168$  ;  $P>0,05$ ) a montré qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative dans la positivité aux virus (covid-19) selon l'âge.

Nous avons calculé la positivité aux virus en fonction du sexe (Tableau 2). La positivité était de 8,55% chez le sexe féminin et de 8,11% chez le sexe masculin. Le test de khi deux a montré qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative dans la positivité aux virus selon le sexe ( $P=0,956$  ;  $P>0,05$ ). Nous avons également déterminé la positivité aux virus en fonction des sites sentinelles. Le taux de positivité était de 15,57% à Maferinyah, 8,77% pour celui de l'hôpital préfectoral de Dubréka, 7,41 pour celui de la clinique Tina Guinée, 6,10% pour le service de la pédiatrie de Donka et 5,56% pour celui d'Ignace Deen. L'analyse statistique a montré qu'il existe une différence statistiquement significative à la positivité aux virus selon les sites sentinelles ( $P=0,02$  ;  $P<0,05$ ).

**Tableau 3 : Répartition des patients selon l'issue de l'hospitalisation**

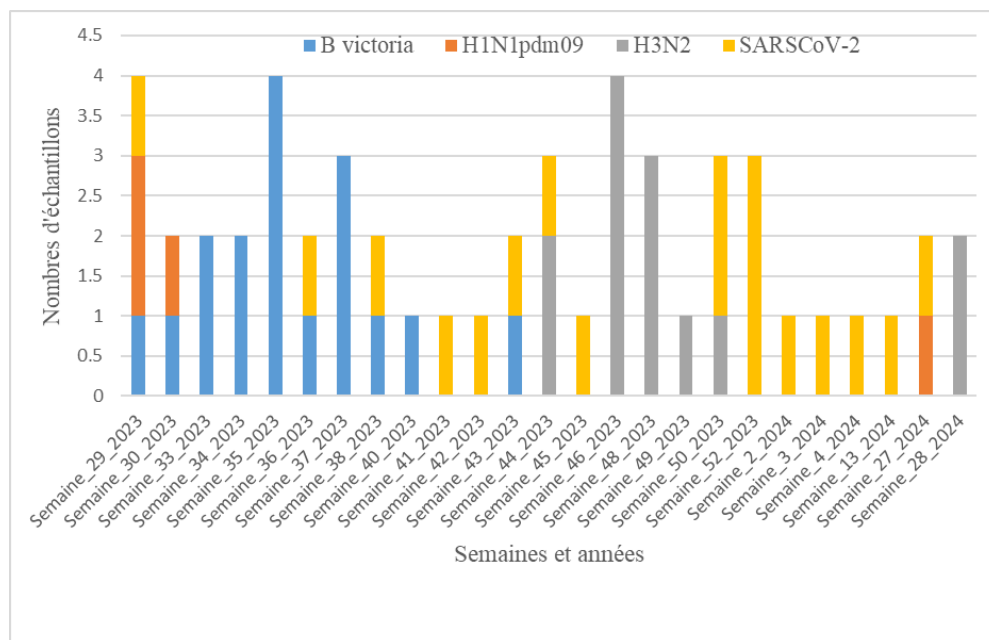
<b>Germes (Grippe/SARSCoV-2)</b>			
<b>ISSUE</b>	<b>Négatif</b>	<b>Positif</b>	<b>Total</b>
<b>Décédé</b>	5 (83,33%)	1 (16,67%)	6 (0,94%)
<b>Vivant</b>	581 (91,79%)	52 (8,21%)	633 (99,06%)
<b>TOTAL</b>	586 (91,71%)	53 (8,29%)	639 (100%)

Nous avons calculé la positivité selon l'issue des patients hospitalisés afin de déterminer les patients qui sont sortis vivants ou décédé (Tableau 3). La positivité était de 16,67% chez les patients décédés et de 8,21% chez les patients sortis vivants. Le test de khi deux a montré qu'il n'existe pas de différence statistiquement significative dans la positivité aux virus selon l'issue des patients ( $P=0,997$  ;  $P>0,05$ ).

**Tableau 4 : Répartition des personnes positives selon la Covid-19 et les sous-types de la grippe**

AGE	Type et sous-type			
	B_Victoria	H1N1pdm09	H3N2	SARSCoV-2
<b>0 - 2</b>	13	2	8	11
<b>2 - 5</b>	1	1	3	1
<b>15 - 50</b>	0	0	1	1
<b>50 - 65</b>	13	2	8	11
<b>&gt; 65</b>	0	0	0	3
<b>SEXE</b>				
<b>F</b>	7	0	7	9
<b>M</b>	10	4	7	9
<b>SITE</b>				
<b>HP Dubréka</b>	2	0	1	2
<b>Ignace Deen</b>	3	1	2	6
<b>Maferinyah</b>	6	2	5	6
<b>Service de Pédiatrie Donka</b>	3	1	0	1
<b>Tina Guinée</b>	3	0	6	3
<b>TOTAL</b>	17 (32,08)	4 (7,55)	14 (26,42)	18 (33,96)

Une répartition des positifs en fonction du SARSCoV-2 et les sous-types de la grippe a été réalisée afin de déterminer la proportion de chaque type et sous-type (Tableau 4). Sur le total des échantillons positifs, 33,96% (18/53) était de la Covid-19 et 66,03% (35/53) aux virus de la grippe. Sur l'ensemble des échantillons positifs à la grippe 51,42% (18/35) était de la grippe A et 48,57% (17/35) de la grippe B. Après le sous-typage des positifs de la grippe A, 77,77% (14/18) était du sous-type H3N2, 22,22% (4/18) du sous-type H1N1pdm09. Nous avons également sous-typés les positifs de la grippe B qui étaient tous de B Victoria aucun cas de la lignée Yamagata et B non sous typé n'a été détecté.



**Figure 2 :** Répartition du SARSCoV-2 et des sous types de la grippe

Nous avons observé la tendance de la circulation du SARSCoV-2 et des virus grippaux durant une année (semaine 29\_2023 à la semaine 28\_2024) afin de voir la période de circulation du virus de la Covid-19 et celui des virus grippaux dans les sites sentinelles d'IRAS de la grippe (Figure 2).

Ces résultats montrent que dans cette étude, le virus SARSCoV-2 a été observé au mois de juillet 2023 (semaine 29) puis a disparu pour réapparaître au mois de septembre de la même année (la semaine 36 et 38). Le virus est resté constant durant tout le mois d'octobre (semaine 41\_2023) jusqu'au début du mois de novembre (semaine 45\_2023) avant de disparaître. Il réapparaît de nouveau à la fin de l'année (semaine 50\_2023) avec un pic à la semaine 52, il continue son activité à la semaine 2 de l'année 2024 jusqu'à la semaine 4 puis disparaît pour réapparaître à la semaine 13. Il disparaît à partir du mois de mars sauf en juin (semaine\_27\_2024) qu'un cas a également été détecté.

Concernant les virus grippaux, deux principaux groupes d'activité ont été identifiés, tous deux appartenant au type influenza A. Le sous-type H1N1 a été observé initialement en juillet (semaines 29 et 30), puis a disparu, avant de réapparaître à la semaine 27 de l'année 2024. Le sous-type H3N2 a quant à lui été détecté à partir d'octobre 2023 (semaines 43 et 44), puis a connu une période d'absence. Il est revenu en novembre (semaine 46), maintenant une présence constante jusqu'à la semaine 50 (décembre), avec un pic notable à la semaine 46, avant de disparaître à nouveau. Enfin, il a été réobservé début juillet 2024 (semaine 28).

La ligné B victoria commence son activité dans cette étude au mois de juillet (semaine\_29) de l'année 2023, puis reste constant jusqu'au début du mois de septembre (semaine\_40) avec un pic observé à la semaine\_35 puis disparaît. Il réapparaît de nouveau à la semaine\_43 puis disparaît.

Ces résultats montrent que ces deux types de virus circulent jusqu'à présent en Guinée avec une domination de celle des virus grippaux. Cette étude montre également une prédominance de circulation de la ligné B Victoria, du sous type N3N2 et celui du SARSCoV-2.

## **Discussion**

Cette étude avait pour but d'évaluer la co-circulation des virus grippaux et celle de la Covid-19 dans les sites sentinelles d'IRAS de la grippe. Selon les critères d'inclusions et de non-inclusions, 639 personnes ont donné leur consentement libre et éclairé pour la participation à l'étude.

### **La co-circulation des virus grippaux et celui du SARSCOV-2 a une positivité globale de 8,29% dans la population étudiée**

Nous avons trouvé une positivité globale de 8,29% IC 95% (6,33% - 10,78%) dans la population étudiée comme le montre la Figure 1. Ces résultats sont inférieurs à ceux trouvés par Keita et al, en 2020, en Guinée. Leur étude intitulée « la première surveillance épidémiologique et virologique de la grippe en République de Guinée a révélé la prédominance des virus grippaux A/H3N2 et B Victoria » a révélé que la positivité globale était de 23,1%. Par contre nos résultats sont supérieurs à ceux trouvés par Tarnaga Z et al en 2014, au Burkina Faso qui ont rapporté dans leur étude que la positivité globale était de 6,6% (Keita et al., 2021; Tarnagda et al., 2014).

Cette différence peut être expliquée par le fait que Keita et al ont réalisé leur étude sur une période de deux ans incluant les sites de syndromes grippaux et d'IRAS avec une taille d'échantillon plus élevée que la nôtre.

### **L'âge médian de la population étudiée est de 1.6 ans**

Dans cette étude de co-circulation des virus grippaux et celui du SARSCOV-2, un âge médian de 1,6 ans (Ecart type 25ans) a été trouvé (voir **Tableau 1**). Ce résultat est inférieur à ceux trouvés par Gideon Loevinsohn et al en 2021 au Zambia qui ont rapporté dans leur étude sur la diversité des agents pathogènes respiratoire et co-infections au Zambia que l'âge médian de leur population d'étude était de 3,2 ans (Loevinsohn et al., 2021). Elle peut également être expliquée par le fait qu'ils ont fait leur étude dans un seul hôpital. Par contre la nôtre concernait plusieurs structures sanitaires et majoritairement les centres de santé.

### **Le sexe masculin était le plus représenté, soit 57,90%**

Nos résultats ont montré que le sexe masculin était majoritaire avec un pourcentage de **57,90%** (voir Tableau 1). Ils sont différents de ceux trouvés par Keita et al qui ont rapporté dans leur étude que le sexe féminin était la plus représentée soit 53,2%. Cette différence peut être expliquée par le fait qu'ils ont fait leur étude sur une durée plus longue que la nôtre. Ils sont différents de ceux trouvés par Gideon Loevinsohn et al qui ont rapporté que le sexe féminin était la plus représentée soit 54% (Keita et al., 2021; Loevinsohn et al., 2021).

### **La tranche d'âge de 0 à 2 ans était la plus représentée**

Nos résultats (voir Tableau 1) montrent que la tranche d'âge de 0 à 2 ans était la plus représentée soit 54,30% IC à 95% (50,35% - 58,21%), elle a été suivie par celle de 15 – 50 ans soit 18,78% IC à 95 (15,87% - 22,07%).

La forte proportion de la tranche d'âge de 0 - 2 ans peut être expliquée par le fait qu'elle est la plus exposée. La faible proportion des tranches d'âges de 2 – 5 ans et de 5 – 15 ans peut s'expliquer par le fait que nous avons réalisé cette étude dans les sites d'IRAS qui sont pour la plupart dans les CHU, les hôpitaux préfectoraux ou dans les centres de santé améliorés. Donc les parents des enfants de ces tranches d'âges envoient leurs enfants plus souvent dans les centres de santé en premier lieu avant de les envoyer dans les structures les mieux équipées pour la prise en charge. Cette faible proportion peut être due également au fait que le personnel des sites sentinelles selon le protocole de surveillance ne prennent que les cinq premiers patients répondant aux critères de définitions de cas d'IRAS.

Nos résultats sont différents de ceux trouvés par Gideon Loevinsohn et al qui ont rapporté que la tranche d'âge la plus représentée était celle de 1 à 4 ans. Keita et al ont également rapporté dans leur étude que la tranche d'âge de 15 à 50 ans était la plus représentée. Ces différences peuvent être expliquées par le fait que les sites sentinelles reçoivent plus des bébés que des adultes (Keita et al., 2021; Loevinsohn et al., 2021).

La positivité de la Covid-19 et de la grippe dans les tranches d'âges, montre que toutes les tranches d'âges sont exposées. La tranche de 0 à 2 ans est la plus touchée par ces deux virus. Cette importante positivité chez les enfants montre qu'ils constituent un groupe à risque pour ces pathogènes respiratoires. Le sous type H3N2, la lignée B Victoria et le SARS-CoV-2 ont été les plus détectés dans cette tranche d'âge. Ces résultats corroborent avec ceux des précédentes études réalisées sur la surveillance de la grippe en Afrique de l'Ouest (Fitzner et al., 2018).

## **Les sites sentinelles d'Ignace Deen et Maférinyah ont enregistré plus de participants**

Nous avons montré dans cette étude que les sites sentinelles d'Ignace Deen et Maférinyah ont enregistré plus de participant. La proportion du site d'Ignace Deen peut s'expliquer par le fait qu'elle le plus grand service de pneumonie en Guinée. Donc elle reçoit la majorité des cas compliqué lié aux maladies respiratoires. Celle de la Clinique Tina Guinée peut s'expliquer par le fait qu'elle représente la seule clinique pédiatrique spécialisée dans la zone de Koloma (quartier de la commune de Ratoma). Les sites de Maférinyah, Tina Guinée et Ignace Deen ont enregistrés plus de cas de positivité. Le SARSCoV-2, le sous type H3N2 et la lignée B Victoria étaient les souches les plus représentées dans ces sites. Le sexe masculin a également été touché par toutes les souches virales. Le SARSCoV-2 et la lignée B Victoria étaient les plus représentés dans cette catégorie. Cette étude a montré qu'il n'existe pas de relation statistiquement significative entre le sexe et la positivité aux virus recherchés.

Durant cette étude un cas de décès pendant l'hospitalisation des patients présentant des signes et symptômes d'IRAS a été enregistré. Le SARSCoV-2 a été la souche détectée pour ce cas de décès et qui montre que ce virus continue à faire des victimes.

## **La co-circulation du virus SARSCoV-2 et les sous types H3N2 et de la lignée B Victoria des virus grippaux était dominante**

Nous avons trouvé (Figure 2) dans cette étude que l'épidémiologie des virus respiratoires recherchés était dominé par la circulation du virus SARSCoV-2 et de deux virus grippaux à savoir : le sous type H3N2 et de la lignée B Victoria. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Keita et al qui rapportent que l'épidémiologie des virus grippaux était dominée par la circulation de la grippe saisonnière A/H3N2 et de la lignée de grippe B Victoria et représentaient toutes deux 94% de tous les virus grippaux. Le SARSCoV-2 a eu une activité presque durant toute l'année car il apparaissait dans la plupart des semaines épidémiologiques. Mais dans son activité il n'a eu qu'un seul pic à la semaine\_52 de l'année 2023. Sa répartition dans plusieurs semaines montre qu'il est important de continuer à le surveiller. Par contre, le sous type H3N2 a eu une activité constante pendant plus de trois semaines de suite avec un pic observé à la semaine\_46 de 2023. Il faut noter qu'après la semaine\_50, il a disparu pour réapparaître après plusieurs mois à la semaine\_28 de 2024. Quant à la lignée B Victoria, elle est apparue au moment des fortes pluies en Guinée (mois de juillet) et est resté jusqu'à la fin du mois de septembre avec un pic observé à la semaine\_35 de 2023. Ces résultats sont similaires à ceux des études précédentes menées en Guinée rapportant que la période de circulation du sous type H3N2 a commencé au



mois d'octobre pour s'étendre jusqu'au mois de décembre 2019. Aussi la même étude rapporte que la lignée B Victoria est apparu au mois d'août et est resté constante jusqu'au mois de novembre. Aucune lignée B Yamagata n'a été détectée dans cette étude contrairement à une étude réalisée au Burkina Faso par Sanou A. M et al en 2018 montrant une proportion égale de la circulation de la lignée B Victoria et B Yamagata respectivement 43,34% et 43,32%. Dans cette étude nous n'avons pas trouvé de la lignée B/non sous-typée. Par contre, une étude précédente a montré une circulation de cette lignée avec 3,5% (Keita et al., 2021; Maman et al., 2014; Manirakiza et al., 2017; Sanou et al., 2018; Tarnagda et al., 2014).

Notre étude a mis en évidence une série de co-circulations virales en 2023 : une première avec le SARS-CoV-2, le H1N1pd09 et la lignée B Victoria (semaine 29), suivie de deux autres avec le SARS-CoV-2 et la lignée B Victoria (semaines 35 et 38), et enfin une quatrième avec le SARS-CoV-2, le H3N2 et la lignée B Victoria (semaine 43). Ces résultats corroborent les études antérieures sur la co-circulation des virus grippaux (Keita et al., 2021; Niang et al., 2012; Tarnagda et al., 2014). Ces résultats montrent qu'il existe une irrégularité dans la circulation des pathogènes mises en cause dans cette étude.

## Conclusion

Cette étude, réalisée dans les sites sentinelles d'IRAS, a montré une positivité globale de 8,29% avec un âge médiane de 1.6 ans. Le sexe masculin était le plus représenté soit 57,90%. La tranche d'âge de 0 à 2 ans était la plus représentée également la plus touchée, les sites de Maférinyah, Tina Guinée et Ignace Deen ont enregistré plus de cas de positivité. Elle a également permis de constater que le SARS-CoV-2, responsable de la pandémie de 2019, est toujours présent en Guinée, avec une prévalence proche de celle des virus grippaux. De plus, nous avons observé une co-circulation des virus grippaux et du SARS-CoV-2. La présence continue du SARS-CoV-2 justifie la poursuite de la surveillance intégrée pour informer les autorités de la circulation de ces agents pathogènes respiratoires.

**Considération éthique :** Cette étude a été réalisée dans le cadre de la surveillance des virus grippaux sous l'autorisation du Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique.

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

**Financement :** Ce travail a été financé par le Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche Scientifique et de l'Innovation.

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

**Contribution des auteurs :** MAS et BT ont réalisé les manips, MBK a supervisé les manips, MAS, MBK et AOB ont participé à la rédaction du manuscrit. FAT, KK, PF et MB l'ont corrigé.

**Remerciement :** Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au **Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de l'Innovation** pour son soutien financier essentiel à la réalisation de ce travail. Mes remerciements vont également à l'endroit de la Direction Générale de l'**Institut National de Santé Publique**, et plus particulièrement au **Laboratoire des Virus Respiratoires**, pour son accueil chaleureux et son appui précieux dans la conduite de cette étude. Je remercie également Dr Eric Ghigo, enseignant-chercheur à l'Université de Labé pour ses conseils et critiques constructives dans le cadre de cette étude. Enfin, je souhaite remercier **l'Université de N'Zérékoré** pour son engagement continu en faveur de la formation postuniversitaire et son soutien indéfectible aux enseignants chercheurs.

#### References:

1. Cong, B., Deng, S., Wang, X., & Li, Y. (2022). The role of respiratory co-infection with influenza or respiratory syncytial virus in the clinical severity of COVID-19 patients: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Global Health*, 12, 05040. <https://doi.org/10.7189/jogh.12.05040>
2. Dong, E., Du, H., & Gardner, L. (2020). An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. *The Lancet. Infectious Diseases*, 20(5), 533-534. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30120-1)
3. Fitzner, J., Qasmieh, S., Mounts, A. W., Alexander, B., Besselaar, T., Briand, S., Brown, C., Clark, S., Dueger, E., Gross, D., Hauge, S., Hirve, S., Jorgensen, P., Katz, M. A., Mafi, A., Malik, M., McCarron, M., Meerhoff, T., Mori, Y., ... Vandemaele, K. (2018). Revision of clinical case definitions: Influenza-like illness and severe acute respiratory infection. *Bulletin of the World Health Organization*, 96(2), 122-128. <https://doi.org/10.2471/BLT.17.194514>
4. K, V., P, P., Ad, M., D, S., Jr, A., & Mq, M. (2023). A systematic review of the clinical characteristics of influenza-COVID-19 co-infection. *Clinical and experimental medicine*, 23(7). <https://doi.org/10.1007/s10238-023-01116-y>
5. Keita, M. B., Pierre, F., Ndjomou, J., Traoré, B., Tohonamou, P., Soumaré, M., Mamadi, S., Keita, M. A., Bile, C. E., Pallawo, R. B.,

- Rajatonirina, S. C., Barry, A., Koivogui, L., Camara, R., & Touré, A. (2021). The first epidemiological and virological influenza surveillance in the Republic of Guinea revealed the predominance of influenza A/H3N2 and B Victoria viruses. *Epidemiology and Infection*, 149, e223. <https://doi.org/10.1017/S0950268821001965>
6. Krammer, F., Smith, G. J. D., Fouchier, R. A. M., Peiris, M., Kedzierska, K., Doherty, P. C., Palese, P., Shaw, M. L., Treanor, J., Webster, R. G., & García-Sastre, A. (2018). Influenza. *Nature Reviews. Disease Primers*, 4(1), 3. <https://doi.org/10.1038/s41572-018-0002-y>
7. Li, Y., Reeves, R. M., Wang, X., Bassat, Q., Brooks, W. A., Cohen, C., Moore, D. P., Nunes, M., Rath, B., Campbell, H., Nair, H., RSV Global Epidemiology Network, & RESCEU investigators. (2019). Global patterns in monthly activity of influenza virus, respiratory syncytial virus, parainfluenza virus, and metapneumovirus: A systematic analysis. *The Lancet. Global Health*, 7(8), e1031-e1045. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30264-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30264-5)
8. Loevinsohn, G., Hardick, J., Sinywimaanzi, P., Fenstermacher, K. Z. J., Shaw-Saliba, K., Monze, M., Gaydos, C. A., Rothman, R. E., Pekosz, A., Thuma, P. E., & Sutcliffe, C. G. (2021). Respiratory pathogen diversity and co-infections in rural Zambia. *International Journal of Infectious Diseases: IJID: Official Publication of the International Society for Infectious Diseases*, 102, 291-298. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.10.054>
9. Ma, K. C., Dorabawila, V., León, T. M., Henry, H., Johnson, A. G., Rosenberg, E., Mansfield, J. A., Midgley, C. M., Plumb, I. D., Aiken, J., Khanani, Q. A., Aucho, S., Bayoumi, N. S., Bennett, S. A., Bernu, C., Chang, C., Como-Sabetti, K. J., Cueto, K., Cunningham, S., ... Scobie, H. M. (2023). Trends in Laboratory-Confirmed SARS-CoV-2 Reinfections and Associated Hospitalizations and Deaths Among Adults Aged ≥18 Years—18 U.S. Jurisdictions, September 2021-December 2022. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*, 72(25), 683-689. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7225a3>
10. Maman, I., Badziklou, K., Landoh, E. D., Halatoko, A. W., Nzussouo, T. N., Defang, G. N., Tamekloe, T. A., Kennedy, P. J., Thelma, W., Kossi, K., Issa, Z., & Kere, A. B. (2014). Implementation of influenza-like illness sentinel surveillance in Togo. *BMC Public Health*, 14, 981. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-981>
11. Manirakiza, A., Ketta, M.-Y. B., Vickos, U., Komoyo, G. F., Garba-Ouangole, S., Bangué, C., Djimbele, E., Pasotti, O., Kanga, E., Mboufoungou, E. N., Yambiyo, B. M., Victoir, K., Gody, J.-C., Kazanji, M., & Nakoune, E. (2017). Sentinel surveillance of influenza-

- like illness in the Central African Republic, 2010-2015. *Archives of Public Health = Archives Belges De Sante Publique*, 75, 61. <https://doi.org/10.1186/s13690-017-0229-1>
12. Niang, M. N., Dosseh, A., Ndiaye, K., Sagna, M., Gregory, V., Goudiaby, D., Hay, A., & Diop, O. M. (2012). Sentinel surveillance for influenza in Senegal, 1996-2009. *The Journal of Infectious Diseases*, 206 Suppl 1, S129-135. <https://doi.org/10.1093/infdis/jis576>
  13. P, S., D, F., S, G., Wc, A., K, B., C, G., M, S., R, S., P, V., & P, K. (2021). Characteristics of patients with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) and seasonal influenza at time of hospital admission : A single center comparative study. *BMC Infectious Diseases*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12879-021-05957-4>
  14. Pan, Q., Tang, Z., Yu, Y., & Zang, G. (2023). Co-circulation and co-infection of COVID-19 and influenza in China : Challenges and implications. *Front. Public Health*. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1295877>
  15. *Protocole de surveillance sentinelle nationale de la grippe | OMS | Bureau régional pour l'Afrique*. (2025, juin 13). <https://www.afro.who.int/publications/protocol-national-influenza-sentinel-surveillance>
  16. Sanou, A. M., Wandaogo, S. C. M., Poda, A., Tamini, L., Kyere, A. E., Sagna, T., Ouedraogo, M. S., Pauly, M., Hübschen, J. M., Muller, C. P., Tarnagda, Z., & Snoeck, C. J. (2018). Epidemiology and molecular characterization of influenza viruses in Burkina Faso, sub-Saharan Africa. *Influenza and Other Respiratory Viruses*, 12(4), 490-496. <https://doi.org/10.1111/irv.12539>
  17. Stowe, J., Tessier, E., Zhao, H., Guy, R., Muller-Pebody, B., Zambon, M., Andrews, N., Ramsay, M., & Lopez Bernal, J. (2021). Interactions between SARS-CoV-2 and influenza, and the impact of coinfection on disease severity : A test-negative design. *International Journal of Epidemiology*, 50(4), 1124-1133. <https://doi.org/10.1093/ije/dyab081>
  18. Tarnagda, Z., Yougbaré, I., Ilboudo, A. K., Kagoné, T., Sanou, A. M., Cissé, A., Médah, I., Yelbéogo, D., & Nzussouo, N. T. (2014). Sentinel surveillance of influenza in Burkina Faso : Identification of circulating strains during 2010-2012. *Influenza and Other Respiratory Viruses*, 8(5), 524-529. <https://doi.org/10.1111/irv.12259>
  19. Yue, H., Zhang, M., Xing, L., Wang, K., Rao, X., Liu, H., Tian, J., Zhou, P., Deng, Y., & Shang, J. (2020). The epidemiology and clinical characteristics of co-infection of SARS-CoV-2 and influenza viruses in patients during COVID-19 outbreak. *Journal of Medical Virology*, 92(11), 2870-2873. <https://doi.org/10.1002/jmv.26163>

## Perceptions des producteurs sur l'importance et les effets de l'agroécologie en maraîchage au Sud du Bénin

***MSc. Rodolphe Hedokingbe, Assistant de Recherche***

École d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts  
(EHAEV)/Université Nationale d'Agriculture (UNA), Bénin

***Dr. Claude Ahouangninou, Maître de Recherche***

Institut International de Recherche pour le Développement Durable (IIRDD),  
Canada. École d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts  
(EHAEV)/Université Nationale d'Agriculture (UNA), Bénin

***Dr. Jules Adé, Maître de Recherche***

Institut International de Recherche pour le Développement Durable (IIRDD),  
USA. École d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts  
(EHAEV)/Université Nationale d'Agriculture (UNA), Bénin

***Dr. Ibrahim El Ghazi, Chargé de Recherche, Chargé de Recherche Senior***

Institut International de Recherche pour le Développement Durable (IIRDD),  
Maroc. Université Moulay Ismail, Meknes, Maroc

***Dr. Yousra Ameziane, Cherheure Associée***

Université Moulay Ismail, Meknes, Maroc

***Dr. Martine Tachin, Professeure***

École d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts (EHAEV)  
Université Nationale d'Agriculture (UNA), Bénin

***Dr. Marie-Paule Kestemont, Professeure Emérite***

Institut de Statistiques, Biostatistiques et Sciences Actuarielles,  
Université Catholique de Louvain (UCLouvain), Belgique

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n18p170](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p170)

Submitted: 17 April 2025

Accepted: 28 May 2025

Published: 30 June 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Hedokingbe, R., Ahouangninou, C., Adé, J., El Ghazi, I., Ameziane, Y., Tachin, M. & Kestemont, M-P. (2025). *Perceptions des producteurs sur l'importance et les effets de l'agroécologie en maraîchage au Sud du Bénin*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (18), 170. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n18p170>

### Résumé

La préservation des ressources naturelles en milieu agricole est devenue un défi dans le contexte où l'agriculture conventionnelle est

dominante dans les systèmes de production. L'objectif de cette étude est d'analyser les perceptions des producteurs sur l'importance et les effets de l'agroécologie en maraîchage au Sud du Bénin. À cet effet, une démarche méthodologique focalisée sur des enquêtes a été réalisée auprès de 130 maraîchers dans les villes de Cotonou, Sèmè-Kpodji et Porto-Novo. L'analyse descriptive des données a permis de caractériser les variables qualitatives relatives aux pratiques agroécologiques. L'analyse des correspondances multiples a fait ressortir les corrélations entre les variables occultées dans l'analyse descriptive. Les résultats de l'étude indiquent que les producteurs ont une bonne appréciation de l'agroécologie et approuvent l'efficacité pour la protection du sol contre l'érosion. Le faible taux d'adoption est dû au manque de formation, l'inexistence de grandes zones dédiées à l'agriculture et l'insécurisation foncière. Les pratiques adoptées sont le choix de variétés résistantes, l'installation de pépinières en hors sols, l'usages de biofertilisants, de système d'irrigation goutte à goutte et de rotation culturale. Sur le court terme, l'agriculture conventionnelle est plus rentable que l'agroécologie compte tenu du : coût de production élevé, longueur du cycle de production et inexistence de marchés plus rémunérateurs. Les enquêtés sont prêts à investir pour une production saine et à dépenser entre 2 000 F. Cfa - 5 000 F. cfa (3,30 USD - 8,25 USD) par repas par jour, pour se nourrir des produits du label agroécologique. Pour mieux valoriser les produits issus de l'agroécologie, il est nécessaire de sécuriser des périmètres agricoles dédiés et d'informer les commerçants et consommateurs sur la qualité sanitaire des produits issus de pratiques agroécologiques.

---

**Mots-clés:** Agroécologie, Pratiques, Maraîchage

---

## **Perceptions of Agroecology and Its Effects in Urban Market Gardening in Southern Benin**

***MSc. Rodolphe Hedokingbe, Assistant de Recherche***

École d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts  
(EHAEV)/Université Nationale d'Agriculture (UNA), Bénin

***Dr. Claude Ahouangninou, Maître de Recherche***

Institut International de Recherche pour le Développement Durable (IIRDD),  
Canada. École d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts  
(EHAEV)/Université Nationale d'Agriculture (UNA), Bénin

***Dr. Jules Adé, Maître de Recherche***

Institut International de Recherche pour le Développement Durable (IIRDD),  
USA. École d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts  
(EHAEV)/Université Nationale d'Agriculture (UNA), Bénin

***Dr. Ibrahim El Ghazi, Chargé de Recherche, Chargé de Recherche Senior***

Institut International de Recherche pour le Développement Durable (IIRDD),  
Maroc. Université Moulay Ismail, Meknes, Maroc

***Dr. Yousra Ameziane, Cherheure Associée***

Université Moulay Ismail, Meknes, Maroc

***Dr. Martine Tachin, Professeure***

École d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts (EHAEV)  
Université Nationale d'Agriculture (UNA), Bénin

***Dr. Marie-Paule Kestemont, Professeure Emérite***

Institut de Statistiques, Biostatistiques et Sciences Actuarielles,  
Université Catholique de Louvain (UCLouvain), Belgique

---

### **Abstract**

The preservation of natural resources in agricultural environments has become a major challenge, especially in a context where conventional agriculture remains dominant within production systems. The objective of this study is to analyze farmers' perceptions regarding the importance and impacts of agroecology in market gardening in southern Benin. To achieve this, a methodology based on field surveys was implemented among 130 market gardeners located in the cities of Cotonou, Sèmè-Kpodji, and Porto-Novo. Descriptive data analysis was carried out to characterize qualitative variables related to agroecological practices. Multiple correspondence analysis (MCA) was used to highlight correlations among variables that were not apparent in the descriptive analysis. The results of the study reveal that farmers hold a positive view of agroecology and recognize its effectiveness in protecting soil from erosion. However, the low adoption rate is primarily due to a lack of training, the absence of large areas dedicated to agriculture, and issues related



to land tenure insecurity. The most common practices adopted include the use of resistant varieties, the Establishment of nurseries using soilless systems, the application of biofertilizers, the use of irrigation systems, and crop rotation. In the short term, conventional agriculture remains more profitable than agroecology due to higher production costs, slightly longer production cycles, and the lack of more lucrative markets. Despite these challenges, the surveyed producers expressed a willingness to invest in healthier production and reported being ready to spend between 2,000 to 5,000 XOF (approximately USD 3.30 to USD 8.25) per meal per day for agroecologically labeled food products. To enhance the value of agroecological products, it would be necessary to secure dedicated agricultural zones and to raise awareness among traders and consumers about the sanitary quality and benefits of agroecological practices.

---

**Keywords:** Agroecology, Practices, Market Gardening

## Introduction

L'Afrique subsaharienne connaît une croissance démographique rapide avec un taux d'accroissement annuel estimé à 3,8 % (World Bank, 2013). Cette dynamique démographique pose un défi majeur en matière de sécurité alimentaire et exige des solutions durables pour répondre aux besoins nutritionnels des populations. L'agriculture et l'agroalimentaire apparaissent comme des secteurs stratégiques pour assurer cette sécurité alimentaire. Au Bénin, pays de l'Afrique de l'Ouest, près de 70 % de la population active est employée dans le secteur agricole (INSAE, 2018). Toutefois, l'urbanisation croissante a entraîné un essor de l'agriculture urbaine et périurbaine, dont le maraîchage constitue une composante essentielle. Ce dernier joue un rôle fondamental dans l'approvisionnement des populations urbaines et périurbaines en légumes et fruits frais (Tokannou et Quenum, 2007).

Cependant, la production est conventionnelle et repose sur l'utilisation d'intrants chimiques de synthèse et de pesticides inappropriés, engendrant des risques pour la santé humaine et pour l'environnement (Ahouangninou et al., 2011 ; 2023). En parallèle, le Bénin fait face à des défis persistants liés à l'insécurité alimentaire et aux effets des changements climatiques (Boko, 2012).

Selon Trabelsi (2017), ces dernières décennies marquées par la domination de l'agriculture conventionnelle ont permis de constater des impacts négatifs importants sur le plan environnemental et écologique. Malgré ces impacts environnementaux négatifs, l'agriculture ne peut pas être interrompue puisque la population sans cesse croissante doit se nourrir. Face à ces menaces, de plus en plus d'initiatives émergent en faveur de la promotion de pratiques maraîchères plus respectueuses de la santé humaine et de



l'environnement. Parmi les solutions de rechange pour remplacer le modèle agricole conventionnel, l'agroécologie occupe une place importante. Les pratiques agroécologiques offrent diverses possibilités de transformation des agroécosystèmes urbains en systèmes durables, équitables socialement et culturellement sensibles ainsi qu'économiquement viables (Gravel, 2016). L'agroécologie contribue à avoir une production juste et plus durable, tout en conservant des rendements suffisants (IPES-Food 2016).

L'agroécologie est l'application des principes écologiques à la gestion des espaces agricoles (Gliessmann, 1998). Altieri (1995) la définit comme la science de la gestion des ressources naturelles. En s'appuyant sur les principes écologiques pour optimiser la gestion des espaces agricoles (Gliessmann, 1998 ; Altieri, 1995), l'agroécologie vise à concilier production agricole, préservation des écosystèmes et amélioration des conditions de vie des agriculteurs. Ces pratiques incluent, notamment la fertilisation organique, la rotation culturale, le contrôle biologique des ravageurs et la diversification des cultures (Traoré et al., 2008 ; Ahouangninou et al., 2021). Toutefois, malgré les avantages théoriques, l'adoption de l'agroécologie demeure limitée en raison de plusieurs contraintes, notamment le manque de formation, l'insécurité foncière et l'absence de débouchés économiques attractifs pour les produits agroécologiques.

Malgré la reconnaissance croissante des bénéfices de l'agroécologie, il subsiste un écart entre la théorie et la pratique. Quels sont les déterminants de l'adoption des pratiques agroécologiques par les maraîchers du Sud du Bénin ? Comment les producteurs perçoivent-ils les effets de l'agroécologie sur la rentabilité, la durabilité de leur production et la qualité de vie ? Quels sont les principaux freins l'adoption de l'agroécologie et quelles stratégies peuvent être mises en place pour favoriser le développement ?

Cette étude vise à analyser les perceptions des producteurs maraîchers sur l'importance et les effets de l'agroécologie au Sud du Bénin. Plus précisément, elle cherche à : i) Identifier les pratiques agroécologiques adoptées par les maraîchers et leurs motivations ; ii) Évaluer les bénéfices perçus de l'agroécologie en termes de durabilité, de productivité et de rentabilité ; iii) Identifier les principales contraintes limitant l'adoption des pratiques agroécologiques ; iv) Proposer des recommandations pour une meilleure intégration de l'agroécologie dans le maraîchage urbain et périurbain.

En apportant une compréhension approfondie des perceptions et des obstacles à l'adoption de l'agroécologie, cette recherche contribue aux débats sur la transition vers des systèmes agricoles plus durables et inclusifs.

## **Méthodes**

### **Caractérisation de la zone d'étude**

#### **La zone d'étude inclue les villes de Cotonou, Porto-Novo et Sème-Kpodji.**

Le choix est porté sur ces villes en raison du même type de climat (subéquatorial) qui règne et leur appartenance à différentes zones agroécologiques : Cotonou (zone côtière et urbaine), Sème-Kpodji (zone côtière et périurbaine) et Porto-Novo (zone de terre de barre et urbaine).

La ville de Cotonou est située dans le Sud-Est de la République du Bénin entre 6°20 et 6°24 de latitude Nord et 2°20 et 2°29 de longitude Est. Elle couvre une superficie de 79 km<sup>2</sup> et est constituée d'un sol sableux généralement pauvre en matières organiques (PDC2, 2017). Le sol est essentiellement sablonneux avec la présence d'éléments argileux et organiques par endroit. Le climat qui règne à Cotonou est de type subéquatorial avec deux saisons pluvieuses et de deux saisons sèches qui s'alternent. La pluviométrie moyenne de la ville varie entre 900 et 1 200 mm (Gbèdo, 2002).

La commune de Sème-Kpodji est située entre les parallèles 6°22' et 6°28' de latitude Nord et les méridiens 2°28' et 2°43' de longitude Est au Sud Bénin. Elle couvre une superficie de 250 km<sup>2</sup> et dispose essentiellement des sols résultant du lessivage ou de la sédimentation (Kora, 2006). La commune baigne dans un climat subéquatorial caractérisé par deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses. Les précipitations sont relativement élevées. Elles atteignent en moyenne 1 200 mm par an (Totin, 2010).

La ville de Porto- Novo est située dans le Sud-Bénin et couvre une superficie de 52 km<sup>2</sup>. Elle est localisée entre 6°20' et 6°35' de latitude Nord et 2°32' et 2°41' de longitude Est et couverte par trois types de sols des plateaux : les sols ferralitiques, les sols de bas de pente à texture sableuse et faciles à travailler et les hydromorphes argileux, riches en matières organiques, situés dans les zones inondables (PDM,2015). Un climat de type subéquatorial chaud et humide avec deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses règne dans cette commune.

### **Collecte des données**

Les enquêtes ont été effectuées dans les villes de Cotonou et de Porto-Novo et dans la commune de Sème- Kpodji respectivement auprès de 60, 30 et 40 maraîchers. Les informations recueillies sont relatives aux : i) caractéristiques socio-démographiques des producteurs, ii) pratiques agroécologiques adoptées ; iii) perceptions des producteurs des impacts sur la rentabilité et la durabilité de la production, iv) freins à l'adoption de l'agroécologie, et v) préférences et dispositions des producteurs vis-à-vis de l'investissement dans une agriculture plus écologique et durable. Concernant ce dernier point, le questionnaire a pris en compte le prix à payer

mensuellement par le producteur pour engager quelqu'un en cas de production agroécologique ainsi que le montant à dépenser de façon journalière pour se nourrir sainement grâce aux produits du label agroéco pour le bien-être.

### **Analyses statistiques**

Une analyse descriptive effectuée avec le logiciel SPSS 20 a permis de déterminer les valeurs moyennes des variables quantitatives et leurs écarts-types. L'analyse descriptive a également concerné les tris à plat, la réalisation de tableaux de fréquences destinés à caractériser les variables qualitatives relatives aux pratiques agroécologiques. Ensuite, l'Analyse des Correspondances Multiples (ACM) a été utilisée au moyen du logiciel R.401 afin d'illustrer graphiquement les principales oppositions et associations de caractères décrivant les exploitations maraîchères. L'ACM retenue pour analyser les relations entre les différentes variables est pertinente dans cette étude où la plupart des réponses sont de nature qualitative (pratiques adoptées, motivations, perceptions). L'ACM permet de : i) Détecter des associations entre les différentes modalités de réponse et mettre en évidence des profils types de producteurs, ii) Réduire la dimensionnalité des données en condensant les informations essentielles dans un espace factoriel, iii) Explorer visuellement les structures sous-jacentes des perceptions et pratiques agroécologiques.

Enfin des tests Anova et de Kruskal-Wallis ont été réalisés afin de comparer les modalités de variables catégorielles selon les variables quantitatives de l'étude.

### **Résultats**

#### **Caractéristiques socio-économiques des exploitants**

Les producteurs enquêtés sont majoritairement de sexe masculin (80 %) et âgés de 25 à 55 ans. L'âge moyen des producteurs est significativement plus élevé à Porto Novo comparativement à Cotonou et Sèmè-Kpodji ( $p$ -value=0,0425). La grande partie est mariée (93,1 %). Parmi eux, 40 % n'ont jamais fréquenté l'école ; 31,5 % ont atteint le niveau d'éducation primaire et 23,1 % ont atteint le niveau secondaire d'éducation. Seuls 5,4 % d'entre eux ont fait des études supérieures. Les sites sont exploités par 76,9 % des producteurs depuis 3 à 10 ans tandis que 22,3 % l'exploitent depuis 11 à 20 ans et 0,8 % depuis 21 ans. La durée moyenne en année d'exploitation du site est de 8,95 ans. L'âge moyen d'exploitation des sites est de 12-13 ans à Porto-Novo; 8,57 ans à Sèmè-Kpodji et à 7,61 ans Cotonou. Le nombre d'années d'exploitation des sites à Porto-Novo est plus élevé que ceux de Sèmè-Kpodji et de Cotonou ( $p$ -value=0,000004). En ce qui concerne le type d'emplois, sur 58,5 % des exploitations, il n'y a pas d'employés permanents. On dénombre

1 à 2 employés permanents sur 40,7 % des exploitations et 3 à 4 employés sur 0,8 % des exploitations (tableau 1).

**Tableau 1 : Caractéristiques socio-démographiques**

Variables	Nombre	Pourcentage (%)	Moyenne	Ecart-type	p-value
<b>Âges</b>			37,2	6,66	0,0425
[25,30)	16	12,3			
[30,35)	34	26,1			
[35,40)	37	28,5			
[40,45)	22	17			
[45,50)	15	11,5			
[50,55]	6	4,6			
<b>Sexe</b>					
Masculin	94	80,0			
Féminin	26	20,0			
<b>Statut</b>					
Célibataire	121	93,1			
Marié	9	6,9			
<b>Niveau d'instruction</b>					
Non instruit	52	40,0			
Primaire	41	31,5			
Secondaire	30	23,1			
Supérieure	7	5,4			
<b>Durée exploitation</b>			8,95	4,26	0,000004
1- 10	100	76,9			
11- 20	29	22,3			
21 – 30	1	0,8			
<b>Nombre permanent</b>			7,83	0,96	
[0,1)	76	58,5			
[1,2)	45	34,6			
[2,3)	8	6,1			
[3,4 ]	1	0,8			

### Caractéristiques des exploitations

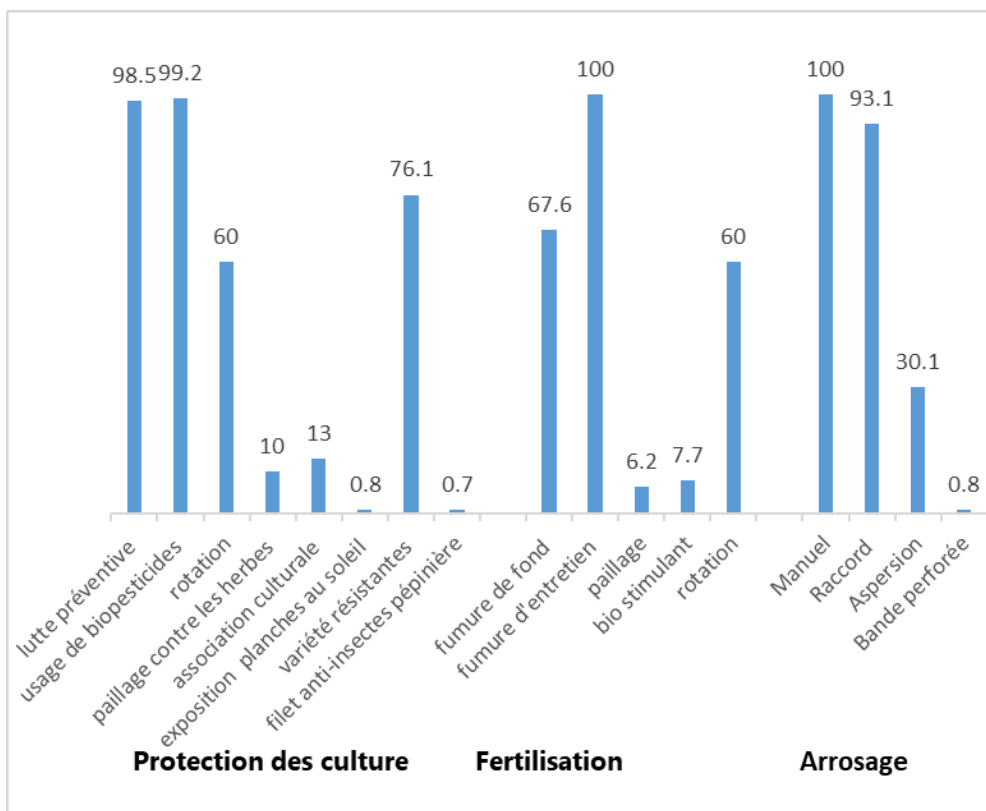
Les producteurs enquêtés exploitent de petites parcelles. 73,9 % possèdent un domaine ayant une superficie de comprise entre 0,01 et 0,1 ha. La moyenne de la superficie qu'exploitent ces producteurs est de 0,08 ha (Tableau 2). Elle est plus élevée à Porto-Novo (0,13 ha) qu'à Sèmè-Kpodji (0,095 ha) et Cotonou (0,04 ha) (p-value=0,00002). Certains maraîchers ont reçu une formation sur les pratiques agroécologiques ; ainsi 40,0 % des producteurs enquêtés sont formés aux pratiques agroécologiques, tandis que les 60,0 % sont informés mais sans formation. 88,5 % des producteurs mettent en pratique certaines techniques de l'agroécologie et 11,5 % appliquent par moment les pratiques agroécologiques (tableau2).

**Tableau 2 : Caractéristiques des exploitations**

Variables	Nombre	Pourcentage	Moyenne	Ecart type	p-value
<b>Superficie emblavée (ha)</b>			0.08	0.1	0,00002
[0.01,0.05)	62	47.7			
[0.05,0.1)	34	26.2			
[0.1,0.5)	28	21.5			
[0.5,1)	6	4.6			
<b>Formation</b>					
Oui	52	40			
Informé	78	60			
<b>Pratique de l'agroécologie</b>					
Oui	115	88.5			
Non	15	11.5			

### **Application des pratiques agroécologiques (la protection des cultures, la fertilisation et l'irrigation)**

Pour lutter contre les nuisibles des cultures en agroécologie 98,5 % ; 99,2 % ; 60% adoptent respectivement la lutte préventive ; l'usage de biopesticides et le respect de la rotation des cultures. Le paillage contre les herbes indésirables ; l'association culturale ; l'exposition des planches au soleil ; l'utilisation des variétés résistantes et l'usage des filets anti-insectes à la pépinière sont respectivement pratiqués par 10% ; 13% ; 0,8% ; 76,1% et 0,7% des enquêtés. Quant à la fertilisation des sols 67,6% ; 100% ; 6,2% ; 7,7% et 60% des maraîchers appliquent respectivement la fumure de fond, la fumure d'entretien, le paillage, les bio stimulants et la rotation culturale. Pour apporter de l'eau aux plantes 100% ; 93,1% ; 30,1% et 0,8% ont estimé respectivement qu'ils utilisent les arrosoirs manuels ; les raccords ; l'aspersion ; et la bande perforée ou goutte à goutte (figure 1).



**Figure 1 :** Application des pratiques agroécologiques

### Difficultés d'application des pratiques agroécologiques

Le problème majeur relatif à l'arrosage est la perte d'eau selon 100% des enquêtés. Le déploiement d'assez d'efforts physiques et le coût d'arrosage élevé ont été les problèmes soulevés par respectivement 93,8 % et 85,4 %. À cela s'ajoute l'entretien des groupes électrogènes et l'amortissement des raccords rapportés par 86,9 %. Pour l'exécution des diverses pratiques de lutte, ils sont confrontés à des difficultés telles que : le manque de formation et d'encadrement pour 66,9 % des maraîchers ; le prix élevé des bio pesticides et le manque d'espaces pour respecter convenablement les rotations culturales respectivement selon 42,3% et 10,7 % des producteurs (figure 2).

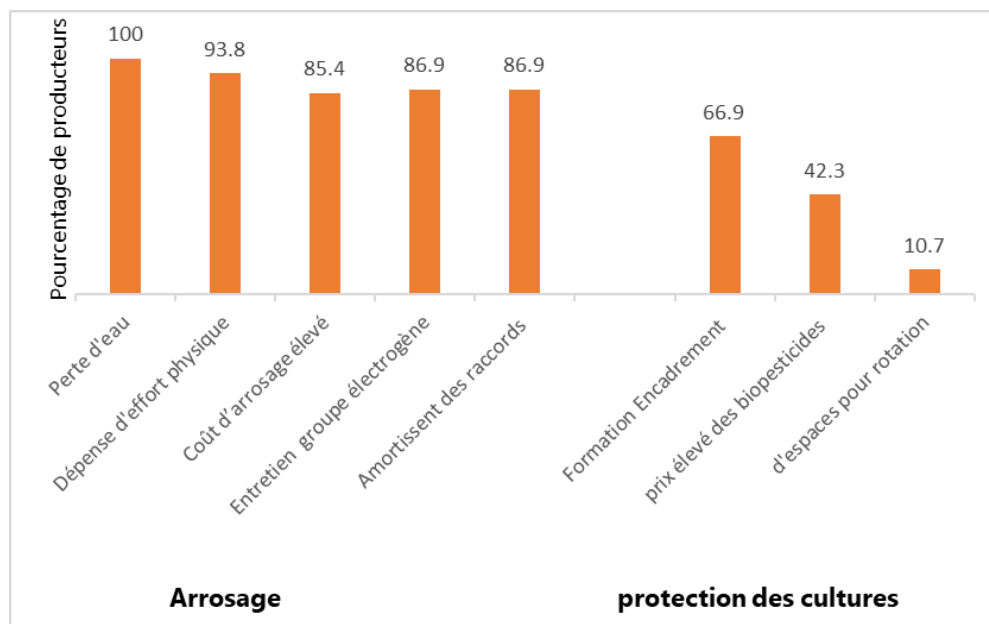
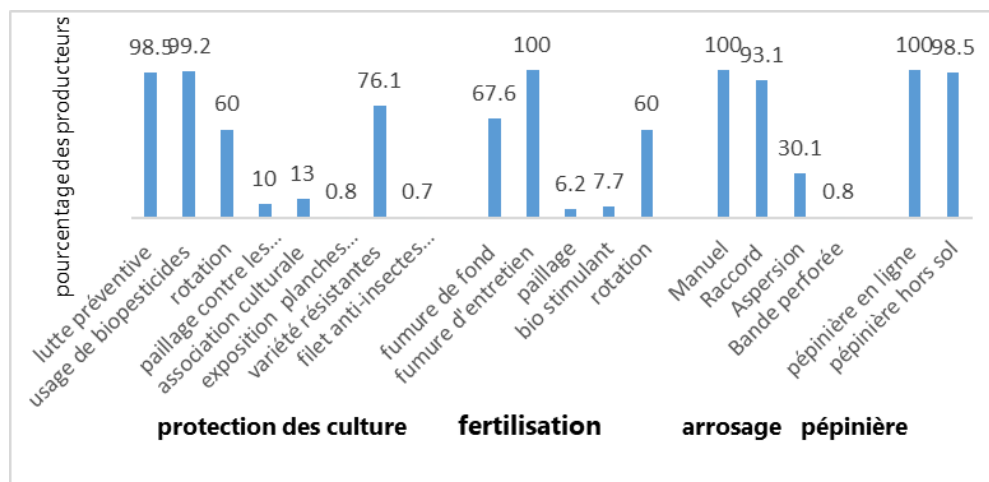


Figure 2 : Difficultés d'application des pratiques agroécologiques

### Pratiques de minimisation d'intrants en agroécologie (pesticide, eau, fertilisant et semence)

Afin de minimiser l'usage des pesticides, la lutte préventive, la rotation culturale, la disponibilité des plantes répulsives sur le site, l'usage des filets anti-insectes à la pépinière ou la protection de la pépinière, la préparation du substrat de la pépinière et le choix des variétés résistantes pour la production constituent des alternatives pour respectivement 99,2% ; 93,8% ; 81,5% ; 100% ; 24,6% et 100% des enquêtés. De plus, pour tous les producteurs enquêtés, la technique de pépinière en ligne est l'une des pratiques de minimisation de quantité de semences et pour 98,5% d'eux. La pépinière en hors sols évite la perte de semences. Concernant l'eau, l'installation de mare pour rendre l'eau disponible sur les sites dans les zones marécageuses, l'usage de gaz et l'usage de panneaux solaires comme source d'énergie pour aspirer l'eau sont les alternatives indiquées par respectivement 9% ; 85,2% et 32,% des enquêtés pour minimiser l'énergie utilisée au cours de l'arrosage. À cela s'ajoute les techniques de fumure de fond et la rotation qui ont été désignées par 100% des enquêtés comme étant les pratiques de minimisation et 80,7% d'entre eux ont évoqué le paillage pour minimiser l'usage de fertilisants en agroécologie (figure 3).



**Figure 3 : Pratiques de minimisation d'intrants en agroécologie**

### **Liens entre l'agroécologie et la protection du sol contre l'érosion, les gaz à effets de serre et la rentabilité**

L'agroécologie est efficace pour la protection du sol contre l'érosion d'après tous les enquêtés. En matière de réduction de gaz à effet de serre, environ 70% des producteurs rapportent que l'agroécologie ne joue aucun rôle. Pour ce qui est de la rentabilité, 93,8 % des enquêtés ont avoué que l'agroécologie n'est pas aussi rentable que l'agriculture conventionnelle pour les raisons de coût de production élevé. Pour ces derniers, l'inexistence de marché d'écoulement spécifique et la durée de production est longue selon respectivement 100% et 87 % (tableau 3).

### **Agroécologie et Santé**

Pour qu'on puisse produire en pratiquant les techniques de l'agroécologie ; 9,2% ; 63,8% et 27,0% des enquêtés sont prêts à payer respectivement un montant qui varie entre 10 000 FCFA- 20 000 FCFA ; 20 000 FCFA- 50 000 FCFA et 50 000 FCFA- 100 000 FCFA. Quant au coût pour se nourrir des produits du label agroécologique ; 7,7% ; 60,7% ; 22,3% et 9,3% sont favorables à dépenser respectivement entre 1 000 FCFA- 2 000 FCFA ; 2 000 FCFA- 5 000 FCFA ; 5 000 FCFA- 10 000 FCFA et 10 000 FCFA- 20 000 FCFA en une journée (tableau 3).



**Tableau 3** : Perception des liens entre l'agroécologie et la protection du sol contre l'érosion, les gaz à effets de serre et coût à payer

Variables	Nombre	Pourcentage
<b>Agroécologie contre érosion</b>		
Oui	130	100
Non	0	0
<b>Agroécologie réduction gaz à effet de serre</b>		
Oui	38	29,2
Non	62	70,8
<b>Agroécologie rentable que conventionnelle</b>		
Oui	8	6,2
Non	122	93,8
coût de production élevé	122	100
pas de marché d'écoulement	107	87
durée de production longue	122	100
<b>Coût à consentir pour qu'on produise agroécologique</b>		
10000F CFA (16,50 USD) - 20000F CFA (33 USD)	12	9,2
20000FCFA (33 USD) - 50000 F CFA (82,52USD)	83	63,8
50000F CFA (82,52USD) - 100000F CFA (165,04 USD)	35	27
<b>Coût à payer pour manger produits agroécologique</b>		
1000F CFA (16,50 USD) - 2000F CFA (3,30 USD)	10	7,69
2000F CFA (3,30 USD) - 5000F CFA (8,26 USD)	79	60,7
5000F CFA (8,25 USD) - 10000F CFA (16,50 USD)	29	22,3
10000F CFA(16,50 USD) - 20000F CFA (33 USD)	12	9,2

### Relations entre les modalités de variables

De la figure 4, on note que les deux premiers axes n'expriment que 18,6% de la variabilité observée au sein du jeu de données. Certaines variables expriment une faible contribution à la construction des deux premiers axes. Par ailleurs, on note de fortes associations entre certaines variables et entre ces variables et les deux premières dimensions comme les associations éducation, statut; entre difficulté d'application des intrants et superficie emblavée. Ceci stipule que la difficulté éprouvée est fonction de la superficie emblavée. Il y a une association entre le fait que le producteur ait reçu une formation en agroécologie et la rentabilité de l'agroécologie. Les paysans ayant reçu une formation et appliquant les pratiques agro-éco arrivent à rentabiliser leur système de production contrairement à ceux qui ont été informés ou n'ayant reçu aucune formation en agroécologie mais le pratiquant. Les associations entre modalités indiquent que la rentabilité est bien fonction de plusieurs facteurs, en l'occurrence « avoir reçu une formation relative, avoir acquis une expérience dans la production ».

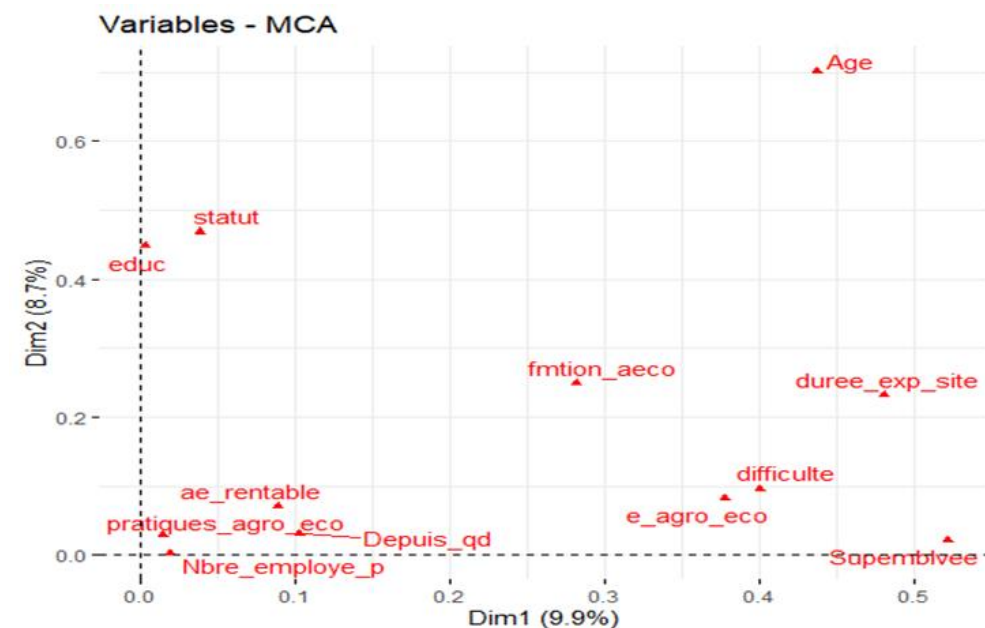


Figure 4 : Plan factoriel

## Discussion

Dans la zone d'étude, le maraîchage est conduit par une population à dominance masculine par rapport aux femmes (20%) et ayant un âge moyen est de 37,2 ans. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Ahouangninou *et al.* (2023) qui ont trouvé que l'âge moyen des producteurs maraîchers au Sud du Bénin est de 36,99 ans et ceux de Simeni *et al.* (2009) qui ont trouvé que les maraîchers des zones urbaine et péri-urbaine de la ville de Djougou au Nord-Ouest du Bénin étaient des jeunes adultes dont l'âge moyen est de 35 ans. Les producteurs enquêtés pour cette étude exploitent en moyenne une superficie de 0,08 ha pour leurs activités et la grande proportion n'a pas un niveau d'instruction élevé. Les résultats de Ahouangninou (2013) au Sud du Bénin sont similaires à ceux obtenus au cours de cette étude. Les domaines de production des maraîchers de cette étude sont mis en exploitation depuis 8,95 ans en moyenne. Ceci est dû au fait qu'un grand nombre de producteurs de la ville de Cotonou a abandonné leurs anciens sites pour se réinstaller sur de nouveaux domaines parce que les domaines ne les appartenaient pas. Les sites de production étaient plus anciens à Porto-Novo avec une durée moyenne en année d'exploitation de 12,13 ans. Le nombre d'années d'exploitation des sites à Porto-Novo est plus élevé que ceux de Sèmè-Kpodji et de Cotonou ( $p\text{-value}=0,000004$ ).

Concernant la main d'œuvre employée, beaucoup de promoteurs n'aiment pas engager les employés permanents sur les exploitations. Ils

estiment qu'ils constituent pour eux une charge non rentable compte tenu de l'échelle de production.

Le niveau de connaissance et d'adoption de certaines pratiques agroécologiques en production maraîchère au Sud du Bénin est relativement faible à cause d'un certain nombre de contraintes comme le manque de formation et d'encadrement ainsi que l'inexistence de grands espaces à cultiver qui empêche le respect des pratiques culturales. Les résultats de l'étude révèlent que, l'installation de pépinières en ligne et en hors sols sont les meilleures techniques de production des jeunes plants vigoureux tout en minimisant la perte de semence d'après les producteurs. Pour la lutte contre les nuisibles en agroécologie, le choix des variétés résistantes est la pratique la plus adoptée par les producteurs enquêtés. Ce résultat est dû au fait que les autres méthodes nécessitent une certaine formation et assez de travail. Pour ce qui concerne les biopesticides et les extraits aqueux de plantes, les producteurs qui ne les adoptent pas estiment qu'ils sont moins efficaces contre les ravageurs, chers et indisponibles. Presque le même constat a été fait par Adetonah *et al.* (2011) au Bénin et au Ghana qui ont estimé que la non-maîtrise du processus de fabrication, la pénibilité de la fabrication et l'indisponibilité de la matière première en saison sèche sont les raisons pour lesquelles le taux d'adoption des extraits aqueux de feuilles de neem ou de papayer est faible. Les maraîchers utilisent les variétés résistantes parce qu'ils estiment qu'elles permettent de réduire les attaques de nuisibles. Des résultats pareils ont été trouvés par Camara *et al.* (2013) au Sénégal qui ont révélé que l'utilisation des variétés résistantes par les producteurs peuvent être une solution intéressante aux ravageurs. Par rapport à la fertilisation, les maraîchers font usage des biofertilisants en fumure de fond et d'entretien pour amender les sols. Une autre pratique culturale qui est la rotation culturale est également adoptée pour maintenir les sols fertiles. Étant donné que l'agroécologie ne se limite pas uniquement à l'usage des intrants biologiques, les systèmes de production sont également basés sur l'application simultanée des techniques culturales tels que la lutte préventive, la rotation culturale, l'association des cultures, l'installation des plantes répulsives sur les sites, la protection des pépinières, et l'usage des variétés résistantes. Ces systèmes de production sont capables de maintenir la fertilité, d'assurer la régulation des parasites et des maladies et de générer une forte productivité. Selon Kremen *et al.* (2012) l'association culturale augmente la diversité spatiale dans l'agroécosystème, et la rotation des cultures augmente la diversité temporelle. Elles augmentent donc la diversité globale de l'agroécosystème, et maximise ainsi les interactions bénéfiques et les complémentarités entre les plantes. Une méta-analyse sur les associations de cultures en Afrique effectuée par Himmelstein *et al.* (2017) a révélé qu'en moyenne les rendements sont élevés à plus de 23% et que les revenus bruts augmentent de 172 USD/ha/an (100 000 FCFA/ha/an)

comparativement aux monocultures dans des conditions semblables. Ces techniques permettent de diminuer les coûts de production (irrigation, engrais, etc...) et contribuent à l'apport de matière organique et d'autres macronutriments importants dans le sol.

Les maraîchers pour la plupart n'adoptent pas de bonnes pratiques qui permettent d'optimiser la production tout en économisant l'eau. Ils utilisent généralement les arrosoirs manuels et les raccords pour apporter de l'eau aux plantes. En effet, ils sont confrontés aux problèmes de : perte d'eau, déploiement d'assez d'efforts physiques, coût élevé d'arrosage. De même, les producteurs qui disposent des mares sur leurs exploitations sont contraints au problème de déploiement d'effort physique malgré qu'ils aient l'eau en abondance. La faible proportion ayant sur leurs exploitations un système d'irrigation tel que les système goutte à goutte et les bandes perforées les trouvent efficaces. Ces systèmes d'irrigation permettent de réduire la main d'œuvre. Selon Atidéglà (2006) le système de forage et d'arrosage motorisé permet une application plus efficace de l'eau d'irrigation et contribue à réduire sensiblement le gaspillage des ressources en eau. Ahouangninou (2013) a trouvé également que ce système permet d'assurer la durabilité sociale en réduisant la pénibilité du travail, et la durabilité environnementale en limitant les créations de gîtes larvaires de culicidés, vecteurs de maladies transmissibles. L'usage de l'énergie électrique, pour aspirer l'eau d'arrosage, revient cher et amène les producteurs à faire recours aux panneaux solaires couplés aux groupes électrogènes. Cela permet aux producteurs d'avoir non seulement de l'eau en abondance, permanemment, et à faible coût mais ces sources d'énergies sont économes en main d'œuvre. Ces résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par l'ONG Edna Pronat qui a révélé après une expérimentation avec un groupe de producteurs de Mbawane au Sénégal entre 2011 et 2012, sur un système éolien/pompage électrique/micro irrigation ; que sur le long terme (10 ans) les résultats agronomiques et économiques ont montré que l'investissement peut être rentable, et qu'en association avec des pratiques agroécologiques, les performances des exploitations familiales peuvent être améliorées considérablement et durablement (Brun, 2017).

Au Sud du Bénin, les maraîchers ont un avis favorable sur le fait que l'agroécologie est efficace pour la protection du sol contre l'érosion, mais en termes de réduction de gaz à effet de serre, certains des enquêtés ne reconnaissent pas le rôle que joue l'agroécologie alors que pour d'autres l'agroécologie permet de réduire les gaz à effet de serre. Les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture en Afrique de l'Ouest peuvent être atténuées par l'agroécologie (Mathy, 2021). D'après une étude réalisée par l'ONG GRAIN en 2009, l'utilisation des principes agroécologiques peut permettre de séquestrer 20 à 35 % des émissions actuelles de gaz à effet de serre, et reconstruire ainsi la matière organique des sols perdue du fait de l'agriculture

industrielle (Burger *et al.*, 2013). À travers les diverses techniques de fertilisation tels que l'emploi des matières organiques (compost, engrais verts, fientes), les sols sont à l'abri de l'érosion. Cette remarque est conforme à celle de (Bio Savane - Guyane, 2015 cité par Mathy (2021) qui a révélé d'une part que les engrais verts fertilisent le sol, diminuent les érosions hydriques et combattent les ravageurs et les maladies et d'autre part que le compost est une matière qui améliore la fertilité du sol, augmente la productivité des plants, améliore la structure du sol, améliore le pH, diminue l'érosion et permet le recyclage des déchets. Concernant la productivité, comparativement à l'agriculture conventionnelle, la majorité des producteurs estime que l'agroécologie n'est pas rentable pour les raisons de coût de production élevé, longue durée de production et l'inexistence d'un nombre importants de clients spécifiques pour la vente en masse. Soltoft *et al.* (2010) ont aussi trouvé au cours de leurs études que les rendements plus élevés sont obtenus en agriculture conventionnelle par rapport à l'agriculture écologique. Pour Abrina *et al.* (2002) et Alaphillipe *et al.* (2014), malgré que les rendements dans l'agriculture conventionnelle semblent être plus élevés, il n'y a aucune différence significative entre les types d'agriculture. Par contre, les études effectuées par Sardana *et al.* (2013) et Bruelle *et al.* (2014) ont montré qu'il y a une augmentation significative du rendement en agriculture écologique par rapport à l'agriculture conventionnelle. Les résultats de méta-analyse réalisée par Ahouangninou *et al.* (2022) indiquent que l'agriculture écologique affiche des rendements supérieurs à ceux de l'agriculture conventionnelle.

Les producteurs, pour qui l'agroécologie est rentable, vendent leurs productions aux consommateurs finaux sans intermédiaires. Les mêmes constats ont été faits par IPES-Food (2016) et Shuman (2012) qui ont estimé que grâce aux circuits courts, l'agroécologie et l'agriculture biologique sont plus bénéfiques à l'économie locale et créatrices d'emplois que leurs contreparties conventionnelles. De plus en matière de santé, les producteurs qui pratiquent l'agriculture conventionnelle ignorent les risques auxquels ils sont exposés. Ahouangninou *et al.* (2023) ont montré qu'il y a une association entre l'utilisation des pesticides chimiques et des dépenses en santé plus élevées puisque les maraîchers du Sud-Bénin ne comprennent pas la signification des pictogrammes et code couleurs présents sur les flacons de pesticides et ignorent les dangers liés à la manipulation et à l'utilisation des emballages.

Pour produire en pratiquant les techniques de l'agroécologie, une grande partie des enquêtés sont prêts à investir davantage. Ils soulignent l'importance de mieux valoriser les produits alimentaires issus de pratiques agroécologiques et révèlent le besoin d'informer les commerçants et les consommateurs sur la qualité des produits (moins de pesticide, durée conservation allongée, meilleur goût). En Afrique, des consommateurs aiment

acheter des produits agroécologiques sains, mais par manque de sensibilisation, d'informations et de communication, ils n'arrivent pas à les différencier des produits agricoles conventionnels (Houngbo, 2016). De même pour se nourrir des produits du label agro écologique, ils sont favorables à dépenser entre 2 000 F CFA (3,30 \$UD) et 5 000 F CFA (8,26 \$UD) par repas par jour ce qui est en accord avec les résultats de Bai *et al.* (2023) qui ont trouvé que pour avoir une alimentation saine en Afrique l'Ouest, il faut un montant minimum compris entre 2,19 USD (1 327 F CFA) et 4,02 USD (2437 F CFA) par jour.

Ces constats mettent en évidence la nécessité de renforcer les stratégies de valorisation des produits agroécologiques, notamment à travers la certification, l'étiquetage clair, la traçabilité, et des campagnes de sensibilisation ciblées. L'implication des acteurs de la chaîne de valeur, depuis la production jusqu'à la commercialisation, est essentielle pour construire une relation de confiance entre producteurs et consommateurs. Par ailleurs, l'intégration de l'éducation à la consommation durable dans les politiques publiques et les programmes scolaires peut favoriser une transition vers des régimes alimentaires plus sains et respectueux de l'environnement.

Enfin, ces résultats invitent à repenser les systèmes alimentaires locaux en soutenant les circuits courts, les marchés de proximité et les politiques d'achats publics responsables, afin de stimuler la demande pour des produits issus de l'agroécologie. Cela suppose aussi un soutien économique aux producteurs, via des subventions, des formations, et des incitations fiscales, pour rendre les produits accessibles au plus grand nombre. La consolidation de ces dynamiques peut contribuer à une transformation durable des systèmes alimentaires en Afrique de l'Ouest, conciliant santé publique, justice sociale et préservation des ressources naturelles.

## Conclusion

L'étude sur les perceptions des maraîchers de Porto-Novo, Sèmè-Kpodji et Cotonou révèle qu'une majorité d'entre eux reconnaît l'agroécologie comme une alternative crédible pour améliorer la durabilité des systèmes de production maraîchère. En plus des effets positifs sur la santé des producteurs et des consommateurs, l'agroécologie est perçue comme économiquement viable à condition que les producteurs disposent d'une expérience suffisante et d'une formation adaptée. Toutefois, l'adoption effective de ces pratiques reste limitée par des contraintes structurelles telles que la taille des parcelles, le manque de formation technique, l'insuffisance du suivi sur le terrain et l'absence de débouchés spécifiques pour les produits agroécologiques.

Pour améliorer l'adoption de l'agroécologie, il est nécessaire de mettre en place des programmes de formation continue axés sur les techniques agroécologiques adaptées aux contextes locaux. Des incitations financières

ciblées (subventions, crédits verts, aides à la conversion) peuvent encourager les producteurs à franchir le cap. Il est également essentiel de développer des circuits courts et des marchés de niche permettant de valoriser les produits issus de l'agroécologie, à travers des labels, des plateformes logistiques locales et des campagnes de sensibilisation des consommateurs. Enfin, le renforcement des politiques publiques locales en faveur de la transition agroécologique, à travers un accompagnement technique et institutionnel, apparaît comme un levier clé pour une transformation durable des systèmes alimentaires.

**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.

### **Remerciements**

Nos remerciements vont à l'endroit de l'Institut International de Recherche pour le Développement Durable (IIRDD) du Québec (Canada), et à l'Université Catholique de Louvain (Belgique) pour leurs assistance et contribution à la réalisation de cette étude. Nous adressons également nos sincères remerciements à Dr.Thibaud MARTIN, Directeur de Recherche au CIRAD/France, pour sa contribution et ses observations.

### **References:**

1. Abrina, S., Lutap, L., Remolacio, M., & Abigay, L. (2002). Bioorganic farming for sustained crop production in the Ilocos (Philippines). PCARRD, 38-42.
2. Adetonah, S., Koffi-Tessio, E., Coulibaly, O., Sessou, E., & Mensah, A. (2011). Perceptions et adoption des méthodes alternatives de lutte contre les insectes des cultures maraîchères en zone urbaine et périurbaine au Bénin et au Ghana. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin Numéro 69.
3. Ahouangninou, C., Fayomi, B. E., Martin, T. (2011). Évaluation des risques sanitaires et environnementaux des pratiques phytosanitaires des producteurs maraîchers dans la commune rurale de Tori-Bossito (Sud-Bénin). *Cahiers Agricultures*, 20 (3), 216–222. <https://doi.org/10.1684/agr.2011.0485>.



4. Ahouangninou, C. (2013). Durabilité de la production maraîchère au sud-Bénin : un essai de l'approche écosystémique. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, p.333.
5. Ahouangninou, C., Nassi, K., Hounkpatin F., Aguemon, B., Martin, T., Kestemont, MP., & Edoth, P. Connaissance des pictogrammes présents sur les flacons de pesticides au sein des maraîchers au sud du Bénin. *Environ Risque Sante* 2023 ; 22 : 197-204. doi : 10.1684/ers.2023.1726
6. Ahouangninou, C., Wari Aboubakar, Adé, J., Meniodem Deliota, K., Cledjo, P., Kestemont, M-P. (2021). Effets des pratiques agroécologiques sur l'efficacité du système productif des producteurs maraîchers au sud du Bénin. *European Scientific Journal*, 17 (17), 267-286.
7. Ahouangninou, C., Achigan-Dako, E. G., Tapsoba, P. K., & Kestemont, M. (2022). *What are the indicators for assessing and monitoring the agroecological transition at the territorial level?* *International Journal of Sustainable Crop Production*, 17 (1), 1–12. <https://ggfjournals.com/assets/uploads/MIN-829.pdf>
8. Alaphillipe, A., Simon, S., & Hayer, F. (2014). Using Life Cycle Analysis to Analyse the Environmental Performances of Organic and Non-organic Apple Orchards. *Organic Farming, Prototype for Sustainable Agriculture* p.221-238.
9. Altieri, M.A. (1995). *Agroecology: The science of Sustainable Agriculture* (2nd ed.), Westview press.
10. Atidéglà, C. (2006). Atouts et contraintes des modes d'irrigation dans les exploitations urbaines et péri urbaines de la Commune de Grand-Popo. Mémoire de DEA, EDP/FLASH, Université d'Abomey- Calavi (UAC), Bénin, 78 p.
11. Bai, Y., Bouscarat, P., Heinrigs, P., Sokourenko K., & K. Zougbedé (2023), « Alimentation saine, coûts et politiques alimentaires au Sahel et en Afrique de l'Ouest », Notes ouest-africaines, N° 39, Éditions OCDE, Paris.
12. Bruelle, G., Naudin, K., Scopel, E., Domas, R., Rabeharisoa, L., & Tittonel, P. (2014). Short- to mid-term impact of conservation agriculture on yield variability of upland rice: Evidence from farmer's fields in Madagascar. *Experimental Agriculture* 51 (1), 66-84.
13. Brun, L. (2017). Promotion de l'agriculture biologique au Sénégal : Enda patronat montre la voie.
14. Boko, M., & Kosmowski, F. (2012). Les enjeux du changement climatique au Bénin, édition Konrad Adenauer Stiftung.



15. Burger, P., Berton, S., Billaz, R., & Lebreton, A. (2013). Agroécologie, une transition vers des modes de vie et de développement viables-Paroles d'acteurs.
16. Camara, M., Mbaye, A.A., Samba, S.A., Gueye, T., Noba; K., Diao, S., & Cilas, C. (2013). Etude de la productivité et de la sensibilité de diverses variétés de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) à la virose du jaunissement et de l'enroulement en cuillère des feuilles au Sénégal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(6), 2504-2512.
17. Gbédo, V. (2002). Etude des pratiques endogènes de valorisation des déchets solides ménagers à Cotonou : approche pour une gestion durable des déchets solides ménagers. Mémoire de DEA, FLASH/UAC, 122 p.
18. Gliessman, SR. (1998). Agroécologie : processus écologiques dans l'agriculture durable. Chelsea, MI : Ann Arbor Press.
19. Gravel, A. (2016). Les pratiques agroécologiques dans les exploitations agricoles urbaines et périurbaines pour la sécurité alimentaire des villes d'Afrique subsaharienne. Essai présenté au Département de biologie en vue de l'obtention du grade de maître en écologie internationale. Faculté des sciences, Université de Sherbrooke, Québec, Canada, p.104.
20. Hilou, K. T. R., & Kaboré, R. (2022). L'agroécologie à l'épreuve des perceptions paysannes : cas des agriculteurs membres de l'USCCPA/bm1 (Burkina-Faso). *Djiboul* 004(2), 402-415.
21. Hounbo, E. (2016). Agroécologie, la solution à l'insécurité alimentaire face au changement climatique en Afrique.
22. IPES-Food. (2016). « From uniformity to diversity: a paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems. International Panel of Experts on Sustainable Food systems ».
23. Kremen, C., Iles, A., & Bacon, C. (2012). Diversified farming systems: an agroecological, systems-based alternative to modern industrial agriculture. *Ecology and Society* 17 (4).
24. Mathy, S. (2021). Comment et dans quelle mesure l'agroécologie peut-elle contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre en Afrique de l'Ouest ? Perception d'acteurs locaux du Bénin et du Burkina-Faso., Université catholique de Louvain,.
25. Morin-Kasprzyk, M., Sankara, R., & Garnotel, JL. (2015). Quel accompagnement des producteurs sur la voie de l'agro écologie ? de la pratique à une démarche.35p.
26. Plan de Développement Communal de la ville de Cotonou (2017). Deuxième Génération 2018-2022.
27. Plan de développement Municipal de la ville de Porto-Novo (2015).

28. Sardana, H., Bhat, M., & Sehgal, M. (2013). Evaluation and validation of non-chemical IPM and IMN technology for bell pepper (*Capsicum annum* var. *Frutescens* L.) through farmers' participatory approach. *International Journal of Entomology* 75 (2), 127-131.
29. Shuman, M. (2012). *Local dollars, local sense: how to shift your money from wall street to main street and achieve real prosperity*. Chelsea Green Publishing.
30. Simeni, G. T., Adeoti, L.R., Abiassi, E., Kodjo, M.K., & Coulibaly, O. ( 2009). Caractérisation des systèmes de cultures maraîchères des zones urbaine et périurbaine dans la ville de Djougou au Nord-Ouest du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 64:34-49.
31. Soltoft, M., Nielsen, J., Laursen, K., Husted, S., Halekoh, U., & Knuthsen, P. (2010). Effects of Organic and Conventional Growth Systems on the Content of Flavonoids in Onions and Phenolic Acids in Carrots and Potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(11), 3827-3831.
32. Tokannou, R., & Quenum, R. (2007). Etude sur le sous-secteur maraîchage au sud Bénin, Rapport final, AD consult, PAIMAF, 122 p.
33. Totin, V.S.H., (2010) : Sensibilité des eaux souterraines du bassin sédimentaire côtier du Bénin à l'évolution du climat et aux modes d'exploitation : Stratégies de gestion durable. Thèse de Doctorat, Université d'AbomeyCalavi, Cotonou, Bénin, 283 p.
34. Trabelsi, M. (2017). Comment mesurer la performance agroécologique d'une exploitation agricole pour l'accompagner dans son processus de transition ? Thèse pour l'obtention du grade de Docteur. École Doctorale ED60 Temps, Territoires, Sociétés, Développement Et de l'unité de recherche UMR GRED : Gouvernance, Risque, Environnement, Développement, Université Paul-Valéry Montpellier 3 – France, p.372. 77.
35. Traoré, K, Toé AM. (2008). Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au Burkina Faso. Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques, 99 p.
36. World Bank (2013). *World Development Indicators 2013*. Washington DC, United States, International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank, 126 p.